

分枝期 3 个紫花苜蓿品种光合蒸腾日变化与相关因子的关系分析

高景慧,张 颖,郭 维,高春起

(西北农林科技大学 动物科技学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 在自然条件下,利用 CF340 便携式光合系统,对分枝期 WL-232、WL-323 和 WL-525 3 个紫花苜蓿品种(3 龄 1 茬)的净光合速率、蒸腾速率及相关的生理因子(叶温、气孔导度、胞间 CO_2 浓度)和生态因子(光合有效辐射、大气 CO_2 浓度、气温、大气相对湿度)的日变化进行了测定,通过相关性及途径分析,探讨了分枝期各生理、生态因子对 3 个紫花苜蓿品种光合蒸腾日变化的影响。结果表明,WL-232 是高光合、高水分利用和低蒸腾品种;3 个紫花苜蓿品种的净光合速率(P_n)日变化均呈双峰曲线(光合“午休”现象),这是由非气孔因素所致;影响紫花苜蓿光合蒸腾的主要生态因子为大气温度,大气相对湿度为 P_n 的主要限制因子,大气 CO_2 浓度为品种 WL-232 蒸腾速率(T_r)的主要限制因子,光合有效辐射为品种 WL-323 和 WL-525 T_r 的主要限制因子;胞间 CO_2 浓度是影响紫花苜蓿品种叶片 P_n 的主要生理因子,气孔导度是限制因子;叶温为影响紫花苜蓿叶片 T_r 的主要生理因子。

[关键词] 紫花苜蓿;光合速率;蒸腾速率;分枝期;生理因子;生态因子

[中图分类号] S551⁺.7

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)10-0029-06

Analysis on relationship between diurnal changes of photosynthetic and transpiration rate of three alfalfa varieties and related factors during the branching stage

GAO Jing-hui, ZHANG Ying, GUO Wei, GAO Chun-qi

(College of Animal Sciences and Technology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Under natural conditions, the diurnal changes of photosynthetic and transpiration rate of three alfalfa varieties (WL-232, WL-323, WL-525) and related physiological and ecological factors during the branching stage of the first harvest in the third year were measured by using CF340 portable photosynthesis system. The ecological factors included photosynthetic available radiation (PAR), air temperature (T_a), CO_2 concentration in field (C_a), temperature and relative humidity (RH). The physiological factors included leaf temperature (T_l), stomatal conductance (C_s) and internal CO_2 concentration. Relative analysis and path coefficient analysis were used to discuss how related factors influenced diurnal changes of photosynthetic and transpiration rate. The results showed that WL-232 was high photosynthetic, high water using and low transpiration variety. The net photosynthetic rate of the three varieties appeared to vary in a double-peak curve, and the midday depression mainly resulted from non-stomatal factors. Path coefficient analysis showed that T_a was the primary ecological determining factor for the characteristics of photosynthesis and transpiration; RH was the main limiting factor for the characteristic of photosynthesis; C_a was

†收稿日期] 2006-04-30

[基金项目] 教育部重点项目(105167);陕西省重大科技专项(STXY-01-2);西北农林科技大学校青年基金(08080266)

[作者简介] 高景慧(1970-),女,辽宁沈阳人,讲师,博士,主要从事牧草生理生态及育种研究。E-mail: nicol1234@126.com

the main limiting factor for the characteristic of transpiration of WL-232, and PAR was the main limiting factor for the characteristic of transpiration of WL-323 and WL-525. The main physiological factor affecting the characteristic of photosynthesis of alfalfa was C_i , C_s was the main limiting factor, and T_l was the main physiological factor affecting the characteristic of transpiration of alfalfa.

Key words: *Medicago Sativa*; net photosynthetic rate; transpiration rate; branching stage; physiological factors; ecological factors

光合作用的强弱是作物能否高产的重要影响因素之一,高光效育种一直是全世界共同关注的问题。为了探寻植物光合作用与相关影响因子之间的关系,改良作物品质、提高作物产量,研究人员已在小麦、玉米、大豆、苜、蔬菜、苹果等农作物及花卉上做了大量研究^[1-8]。紫花苜蓿(*Medicago sativa*)是目前世界上广泛栽培和利用的豆科多年生优质牧草,在畜牧生产及生态方面具有特殊价值。为了提高紫花苜蓿的产量、改善其品质或适应性,各国科学家进行了深入、细致的研究^[9-11]。有关苜蓿光合特性方面的研究已有相应报道。王建丽等^[12]对杂花苜蓿叶片光合生理生态特性进行了研究;赵金梅等^[13]探讨了水分胁迫对分枝期紫花苜蓿光合性能的影响;刘玉华等^[14-15]在旱作条件下研究了初花期紫花苜蓿光合作用日变化和光合蒸腾日变化与环境因子的关系。紫花苜蓿的产量因品种^[16]和栽培管理措施的不同而异,有研究表明,苜蓿生长及单株干物质产量累积的高峰期在 3 龄 1 茬^[9],且分枝是影响其产量的关键因素之一,因此研究分枝期不同紫花苜蓿品种的光合蒸腾日变化及其与相关生理生态因子的关系研究尚未见报道。本试验以从美国引进的 3 个紫花苜蓿品种为材料,研究了 3 个高产紫花苜蓿品种在分枝期光合蒸腾日变化及其与相关生理、生态因子之间的关系,以期对紫花苜蓿的开发利用及新品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为从美国引进的 3 个紫花苜蓿品种 WL-232、WL-323 和 WL-525。试验在西北农林科技大学牧草标本园区内进行,2005-10-10 播种,播深 2 cm,行距 30 cm,重复 3 次,试验小区面积 9 m × 3 m,播种及田间管理同大田生产。土壤为黑垆土, pH 7.50,含水量 13.29%,有机质 18.9 g/kg,有效氮含量 323.9 mg/kg,有效磷含量 42.85 mg/kg,有

效钾含量 357.85 mg/kg。

1.2 试验方法

2007-03-29 ~ 2007-04-02,选择晴朗无风天气,从 9:00 ~ 17:00 每隔 1 h,用美国产 CF-340 光合测定系统的开路系统在田间测定 3 个紫花苜蓿品种(3 龄 1 茬)的光合蒸腾指标及相关生理、生态指标。测定时,选生长健康、代表性强的植株为对象,以自然光为光源,测其离地面 2/3 高度处健康无病、成熟的三出复叶叶片,每株测定 10 片,每片叶读数 5 次,连续测定 5 d,结果取平均值。测定指标包括叶片净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r);生态因子指标有光合有效辐射(PAR)、大气 CO_2 浓度(C_a)、气温(T_a)和大气相对湿度(RH);生理因子指标包括叶温(T_l)、气孔导度(C_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)。

叶片瞬时水分利用效率(WUE)、光能利用率(LUE)和气孔限制值(L_s)分别由下式计算:

$$WUE = P_n / T_r; LUE = P_n / PAR; L_s = 1 - C_i / C_a.$$

1.3 数据处理与分析方法

试验数据用 Excel 2003 和 SAS(V8.1) 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 主要生态因子的日变化特点

植物光合作用受外界各种生态因子的影响,而这些因素时刻都在发生着变化,使光合作用呈现出复杂的日变化规律。图 1 为 2007-03-29 ~ 2007-04-02 紫花苜蓿分枝期主要环境因子的日变化趋势。由图 1 可知,光合有效辐射(PAR)的日变化呈单峰曲线,峰值出现在 13:00 左右,此时 PAR 值达到 $1\,097.50\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;大气温度 T_a 呈先上升后下降的单峰曲线,也于 13:00 时达到峰值 $33.05\ ^\circ\text{C}$;相对湿度(RH)的日变化为早、晚较高,中午较低,14:00 时到达低谷值 25.88%,呈先下降后上升的趋势。

2.2 3 个紫花苜蓿品种的光合蒸腾指标日变化

图 2 显示,3 个紫花苜蓿品种的 P_n 日变化均为双峰曲线,与刘东焕等^[17]的研究结果一致,WL-232

和 WL-525 在 11:00 达到第一高峰, P_n 值分别为 20.70 和 17.60 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; WL-323 在 12:00 达到第 1 高峰, P_n 值为 20.50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。WL-232、WL-323 和 WL-525 在 13:00~14:00 出现低谷, P_n 值分别为 6.79、10.50 和 12.73 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 分别较第 1 峰值低 13.91、10.00 和 4.87 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。WL-232、WL-323 和 WL-525 在 14:00~16:00 出现第 2 峰值, P_n 分别为 16.28、

18.45 和 17.50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 分别为第一峰值的 78.65%、90.00% 和 99.43%。

随一日外界主要生态因子的变化, 3 个紫花苜蓿品种的 T_r 发生相应变化且均呈单峰曲线(图 3)。在 13:00 PAR 和 T_a 达到全天顶峰时(图 1), WL-232 和 WL-525 的 T_r 分别为 7.31 和 7.89 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 是全天最大值; WL-323 的 T_r 为 7.66 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 接近全天最大值。

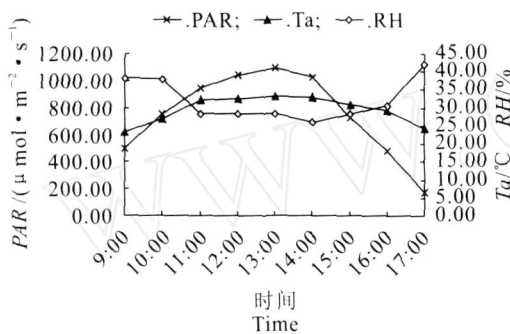


图 1 光合有效辐射、气温和相对湿度的日变化
Fig.1 Diurnal changes of photosynthetic available radiation and air temperature and relative humidity

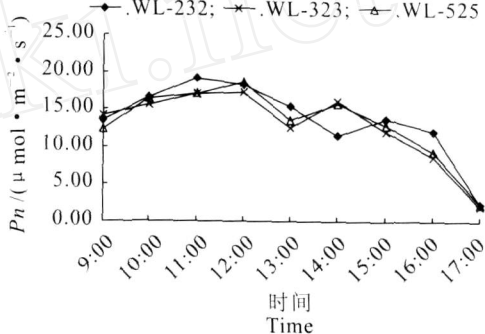


图 2 3 个紫花苜蓿品种光合蒸腾指标的日变化
Fig.2 Diurnal changes of transpiration rate in leaves of three different alfalfa varieties

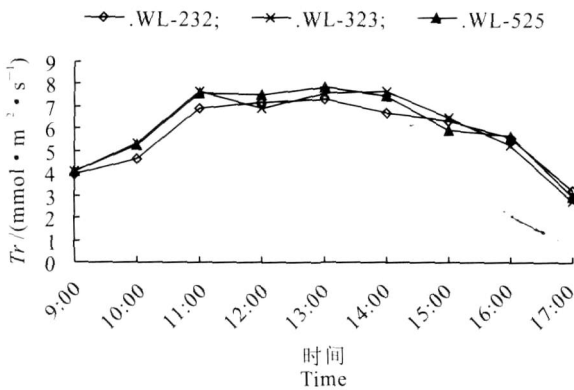


图 3 3 个紫花苜蓿品种光合蒸腾指标的日变化
Fig.3 Diurnal changes of transpiration rate in leaves of three different alfalfa varieties

2.3 3 个紫花苜蓿品种 P_n 日变化与胞间 CO_2 浓度及气孔限制值的相关分析

引起叶片 P_n 降低的原因有气孔因素和非气孔因素^[17], 分析叶片 P_n 降低的原因要根据 C_i 和 L_s 的变化来进行, 若 C_i 降低时 L_s 增加, 则表明 P_n 的降低主要是由于 PAR 、 T_a 和 RH 等因子变化而使气孔关闭引起的气孔因素; 若 C_i 增加时 L_s 降低, 则表明 P_n 的降低主要是叶肉细胞自身羧化酶活性下降所致的(非气孔因素)^[18]。由图 2 和图 4 可知, 紫花苜蓿品种 WL-232 在 11:00~14:00、WL-323 在 12:00~13:00、WL-525 在 11:00~13:00, P_n 与 L_s 均同时降低, 而 C_i 升高, 说明引起 3 个紫花苜蓿品种 P_n 下降的原因是非气孔因素。

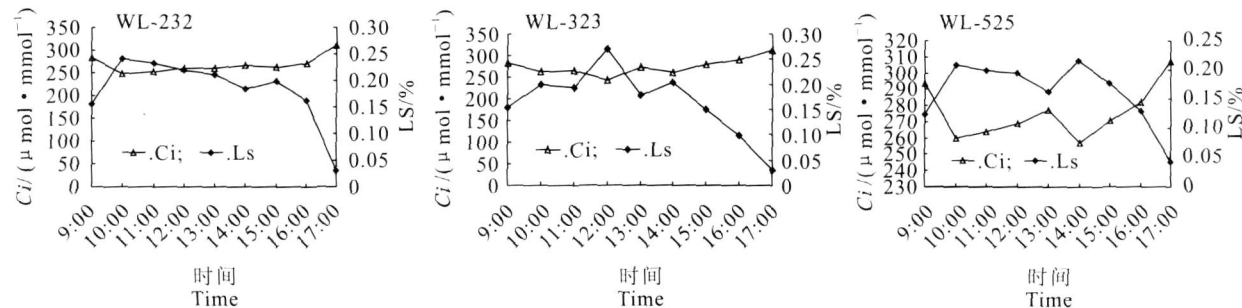


图 4 3 个紫花苜蓿品种 C_i 和 L_s 的日变化

Fig.4 Diurnal changes of C_i and L_s in leaves of three different alfalfa varieties

2.4 3 个紫花苜蓿品种 P_n 、 Tr 、 WUE 和 LUE 日均值的比较

从表 1 可以看出, WL-232 的 P_n 、 WUE 和 LUE 日均值均显著高于 WL-323 和 WL-525 ($P < 0.05$); WL-525 的 Tr 日均值最高, 且显著高于 WL-232

($P < 0.05$), WL-323 与 WL-232 的 Tr 日均值无显著差异。结果表明, 与 WL-323 和 WL-525(类紫花苜蓿)相比, WL-232(类紫花苜蓿)是高光合、高水分利用率和低蒸腾类型的紫花苜蓿品种。

表 1 3 个紫花苜蓿品种 P_n 、 Tr 、 WUE 和 LUE 日均值的比较

Table 1 Comparison of P_n , Tr , WUE and LUE of three different alfalfa varieties

品种 Varieties	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$Tr/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$WUE/(\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1})$	LUE
WL-232	14.22 a	5.67 b	2.52 a	0.019 a
WL-323	12.14 b	5.95 ab	2.04 b	0.016 b
WL-525	12.25 b	6.16 a	1.96 b	0.016 b

注: 同列数据后标不同字母者表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same column mean significant difference at $P = 0.05$.

2.5 紫花苜蓿 P_n 和 Tr 与相关生理生态因子的关系

2.5.1 与相关生理、生态因子间的相关分析 3 个紫花苜蓿品种 P_n 和 Tr 与主要生理生态指标的相关分析结果(表 2)表明, 类紫花苜蓿(WL-232) P_n 和 Tr 与 PAR 、 T_a 、 C_a 、 TI 均显著或极显著正相关, 与 RH 和 C_i 呈显著或极显著负相关, 与 C_s 的相关性不显著。类紫花苜蓿(WL-323 和 WL-525) P_n

和 Tr 与 PAR 、 T_a 、 TI 、 C_s 均呈显著或极显著正相关, 与 RH 和 C_i 均呈极显著负相关; P_n 与 C_a 呈极显著正相关, 但与 Tr 的相关性不显著。3 个紫花苜蓿品种的 Tr 均与 T_a 和 PAR 呈极显著正相关, 与 RH 呈极显著负相关, 与 T_a 相关性最强, 其次为 PAR 。由上述结果可知, 3 个紫花苜蓿品种叶片 Tr 日变化主要受 T_a 和 PAR 的影响, 且变化趋势与 PAR 和 T_a 日变化趋势相同。

表 2 不同类型紫花苜蓿 P_n 和 Tr 与生理生态因子的相关系数

Table 2 Correlative coefficients between P_n and Tr in leaves of different types of alfalfa and environmental factors

类型 Types	项目 Item	生态因子 Ecological factors			生理因子 Physiological factors			
		PAR	T_a	C_a	RH	TI	C_s	C_i
	P_n	0.706 **	0.414 *	0.615 **	- 0.452 *	0.502 *	0.303	- 0.825 **
	Tr	0.857 **	0.947 **	0.411 *	- 0.925 **	0.950 **	0.138	- 0.517 **
	P_n	0.775 **	0.522 **	0.547 **	- 0.527 **	0.582 **	0.448 **	- 0.701 **
	Tr	0.915 **	0.926 **	0.229	- 0.888 **	0.932 **	0.320 *	- 0.528 **

注: 类型 表示高光合、高水分利用效率 and 低蒸腾紫花苜蓿品种 WL-232; 类型 包括低光合、低水分效率和高蒸腾的两个紫花苜蓿品种 WL-323 和 WL-525; * 和 ** 分别代表在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上显著。

Note: Type represents WL-232 alfalfa with high photosynthetic rate, high water use efficiency and low transpiration rate; Type includes WL-323 and WL-525 alfalfa with low photosynthetic rate, low water use efficiency and high transpiration rate; * and ** mean significance at 0.05 and 0.01 level, respectively.

2.5.2 与相关生态因子的通径分析 由表 3 可知, 类和 类紫花苜蓿叶片 P_n 均受生态因子 T_a 的直接影响最大, 其次为 RH 、 C_a 和 PAR , 其中 C_a 和 PAR 为正作用, RH 和 T_a 为负作用; RH 、 C_a 、 PAR 的直接通径系数均小于各自通过 T_a 的间接通径系数, 由此可见, T_a 在紫花苜蓿 P_n 日变化中起主要作用。生态因子的决策系数顺序为 $R^2_{(Ta)} > R^2_{(Ca)} > R^2_{(PAR)} > R^2_{(RH)}$, 其中 $R^2_{(PAR)}$ 和 $R^2_{(RH)}$ 均小于 0。所以对 P_n 而言, T_a 和 C_a 为决定因子, T_a 为主要决定因子; RH 和 PAR 为限制因子, RH 为主要限制因子。

由表 3 还可知, 生态因子对 类紫花苜蓿 Tr 的决策系数顺序为 $R^2_{(Ta)} > R^2_{(RH)} > R^2_{(PAR)} > R^2_{(Ca)}$, 其中 $R^2_{(Ca)}$ 小于 0, C_a 为主要限制因子; 生态因子对 类

紫花苜蓿 Tr 的决策系数顺序为 $R^2_{(Ta)} > R^2_{(RH)} > R^2_{(Ca)} > R^2_{(PAR)}$, 其中 $R^2_{(PAR)}$ 小于 0, PAR 为主要限制因子; 类紫花苜蓿 Tr 日变化最大的直接影响因子是 T_a , 类紫花苜蓿 Tr 日变化直接影响最大的因子是 RH , 但最终决策系数均为 $R^2_{(Ta)}$ 最大, 这是由于 类紫花苜蓿 RH 通过 T_a 的间接作用为 - 0.053, T_a 扩大了 RH 对 Tr 的负影响, 所以 T_a 是影响紫花苜蓿叶片 Tr 的主要决定因子。

2.5.3 与相关生理因子的通径分析 表 4 表明, 类和 类紫花苜蓿 P_n 受 C_i 的直接影响最大, 其次为 TI , C_s 最小, 其中 C_i 为负作用; 决策系数大小顺序为 $R^2_{(Ci)} > R^2_{(TI)} > R^2_{(Cs)}$, $R^2_{(Cs)}$ 小于 0。所以对 P_n 而言, C_s 为主要限制因子, C_i 为主要决定因子。

由表 4 还可知,生理因子对 类和 类苜蓿 Tr 对 类和 类苜蓿 Tr 日变化直接影响最大的因子是 Tl ,决策系数均为 $R^2_{(Tl)}$ 最大,所以 Tl 是影响紫花苜蓿叶片 Tr 的主要决定因子。

表 3 不同类型紫花苜蓿 Pn 和 Tr 与生态因子的通径系数

Table 3 Path coefficients between Pn and Tr of different types of alfalfa and environmental factors								
类型 Types	项目 Item	变量 Variable	直接通径系数 Direct effect	间接通径系数 Indirect effect			总作用 Total effect	$R^2_{(j)}$
	Pn	PAR	0.017	- 0.772	0.062	- 0.125	- 0.818	- 0.029
		Ta	- 1.092	0.012	- 0.064	0.305	- 0.839	0.640
		Ca	0.131	0.008	0.537	0.137	0.813	0.196
		RH	- 0.355	0.006	0.938	- 0.051	0.539	- 0.508
	Tr	PAR	0.001	0.120	0.022	- 0.019	0.123	0.001
		Ta	0.267	0.001	- 0.025	0.031	0.273	0.074
		Ca	0.039	0.001	- 0.171	0.017	- 0.115	- 0.010
		RH	- 0.059	0.001	- 0.139	- 0.011	- 0.209	0.021
	Pn	PAR	0.018	- 0.931	- 0.192	0.038	- 1.067	- 0.038
		Ta	- 1.251	0.013	0.396	- 0.038	- 0.880	0.636
		Ca	0.079	0.009	0.591	0.129	0.808	0.122
		RH	- 0.453	0.008	1.092	- 0.023	0.623	- 0.771
	Tr	PAR	0.003	0.031	- 0.040	- 0.020	- 0.025	- 0.001
		Ta	0.069	0.002	0.068	0.015	0.153	0.016
		Ca	- 0.030	0.002	- 0.034	0.034	- 0.029	0.001
		RH	- 0.088	0.002	- 0.053	0.012	- 0.128	0.015

表 4 不同类型紫花苜蓿 Pn 和 Tr 与生理因子的通径系数

Table 4 Path coefficients between Pn and Tr of different types of alfalfa and physiological factors								
类型 Types	项目 Item	变量 Variable	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect			总作用 Total effect	$R^2_{(j)}$
	Pn	Tl	0.053	- 0.004	0.027	0.076	0.005	
		Cs	0.031	- 0.006	- 0.183	- 0.158	- 0.011	
		Ci	- 0.223	- 0.006	0.025	- 0.204	0.041	
	Tr	Tl	0.399	- 0.005	- 0.001	0.393	0.155	
		Cs	0.005	- 0.371	0.000	- 0.366	- 0.004	
		Ci	0.002	- 0.115	- 0.001	- 0.114	- 0.001	
	Pn	Tl	0.098	- 0.001	0.043	0.140	0.018	
		Cs	0.023	- 0.005	- 0.142	- 0.124	- 0.006	
		Ci	- 0.181	- 0.023	0.018	- 0.186	0.035	
	Tr	Tl	0.417	- 0.004	- 0.002	0.411	0.169	
		Cs	0.004	- 0.393	- 0.001	- 0.390	- 0.003	
		Ci	0.005	- 0.194	- 0.001	- 0.191	- 0.002	

3 讨 论

光合能力的强弱因物种的遗传特性不同而有很大差异,日均 Pn 能够反映植物光合能力的大小^[19]。本试验结果显示,紫花苜蓿品种 WL-232 日均 Pn 为 $14.22 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,显著高于 WL-323 ($12.14 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)和 WL-525 ($12.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),同时结合对 3 个品种 LUE 、 WUE 和 Tr 的分析认为,WL-232 为高光合、高水分利用率和低蒸腾的紫花苜蓿品种。

刘玉华等^[15]认为,旱作条件下初花期紫花苜蓿的光合“午休”主要受气孔因素限制;赵金梅^[13]报

道,分枝期紫花苜蓿在轻度和中度水分胁迫下 Pn 下降的原因是气孔因素,重度水分胁迫下是非气孔因素。本试验发现,分枝期的 3 个紫花苜蓿品种(3 龄 1 茬) Pn 日变化均呈双峰曲线,有明显“午休现象”,根据 Farquhar 等^[18]的理论判断, Pn 下降原因为非气孔因素。 Tr 与 Ta 、 PAR 相关性最密切,且变化趋势一致,在 13:00 左右为气温最高、光照最强的时段,叶温迅速增高, Tr 加快,但此时 3 个品种的 Pn 均有不同程度下降。此时间段温度升高、蒸腾加快,致使紫花苜蓿叶片水分丧失严重,叶片含水量迅速减少,导致叶片内与光合相关的酶活性下降,这可能是 Pn 降低的原因。由此说明,分枝期的紫花苜

苜蓿对水分变化很敏感,因此应在栽培管理中注重水分供应,以提高紫花苜蓿的光合能力,增加产量。

植物光合蒸腾指标的变化是各主要生理生态因子综合作用的结果^[20]。阎秀峰等^[21]研究认为,土壤供水状况和大气相对湿度是调节光合蒸腾的关键因素。黄春燕等^[22]发现,光量子通量密度(PFD)和 Ca 是影响鱼腥草 P_n 的主要因子。邵玺文等^[20]研究表明,大气 CO_2 浓度是影响黄芩 P_n 的主要环境因子。刘玉华等^[14]认为,旱作条件下对紫花苜蓿光合蒸腾特性起主要决定作用的因子是 PAR , 主要限制因子是 Ta ; 王建丽等^[12]认为,不同时期对杂花苜蓿叶片 P_n 和 T_r 起主导作用的环境因子不同,同一环境因子在不同时间对 P_n 和 T_r 的影响程度不同。本研究结果表明,春季影响紫花苜蓿 P_n 和 T_r 的主要决定生态因子为 Ta , 主要限制因子为 RH , Ca 为影响 WL-232 T_r 的主要限制因子, PAR 为影响 WL-323 和 WL-525 T_r 的主要限制因子; 生理因子因环境因子的变化而变化,影响紫花苜蓿品种叶片 P_n 的直接生理因子为 C_i , T_r 的主要决定生理因子为 Tl 。本研究结果与刘玉华等^[14]、王建丽等^[12]的研究结果不尽一致,这可能是由于光合蒸腾的限制因子因品种、生育时期的不同而不同造成的,而与郭天财等^[23]关于不同穗型小麦品种、不同生育时期旗叶光合速率限制因素的研究结论相一致。

[参考文献]

- [1] 彭远英,彭正松,宋会兴. 小麦中国春背景下长穗偃麦草光合作用相关基因的染色体定位[J]. 中国农业科学, 2005, 38(11): 2182-2188.
- [2] 陈玉香,周道玮,张玉芬. 玉米、苜蓿间作的产草量及光合作用[J]. 草地学报, 2004, 12(2): 107-112.
- [3] 陶汉之. 茶树光合日变化的研究[J]. 作物学报, 1991, 17: 444-452.
- [4] 张治安,杨 福. 茄叶片净光合速率日变化及其与环境因子的相互关系[J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 502-509.
- [5] 杨江山,常永义,种培芳. 3个樱桃品种光合特性比较研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(5): 773-777.
- [6] 张国芳,王北洪,孟 林,等. 4种偃麦草光合特性日变化分析[J]. 草地学报, 2005, 13(4): 344-348.
- [7] 刘飞虎,梁雪妮,刘小莉. 4种野生报春花光合作用特性的比较[J]. 园艺学报, 2004, 31(4): 482-486.
- [8] 黄 俊,郭世荣,吴 震,等. 6个不结球白菜品种光合作用特性的研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(6): 1183-1189.
- [9] 孙建华,王彦荣,余 玲. 紫花苜蓿生长特性及产量性状相关性研究[J]. 草业学报, 2004, 13(4): 80-86.
- [10] 耿华珠. 中国苜蓿[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [11] 曹致中. 优质苜蓿栽培与利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [12] 王建丽,张永亮. 杂花苜蓿叶片光合生理生态特征[J]. 草地学报, 2006, 14(6): 138-141.
- [13] 赵金梅,周 禾. 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(3): 41-44.
- [14] 刘玉华,史纪安. 在旱作条件下紫花苜蓿光合蒸腾日变化与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1181-1184.
- [15] 刘玉华,贾志宽,史纪安,等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1468-1477.
- [16] 吴 勤,宋 杰,牛芳英. 紫花苜蓿草地地上生物量动态规律的研究[J]. 中国草地, 1997(6): 21-24.
- [17] 刘东焕,赵世伟,高荣孚,等. 植物光合作用对高温的响应[J]. 植物研究, 2002, 22(2): 205-210.
- [18] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Ann Rev Plant Physiology, 1982, 33: 317-345.
- [19] 傅松玲,黄成林,曹恒生,等. 黄山松更新特性与光因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 801-804.
- [20] 邵玺文,韩 梅,韩忠明,等. 黄芩光合作用日变化及其与环境因子关系的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(6): 634-638.
- [21] 阎秀峰,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.
- [22] 黄春燕,吴 卫,郑有良,等. 鱼腥草光合蒸腾特性及影响因素的分析[J]. 西北植物学报, 2006, 26(5): 989-994.
- [23] 郭天财,王之杰,王永华. 不同穗型小麦品种旗叶光合作用日变化的研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(3): 554-560.