

半干旱半湿润地区红豆草气候 生产力的研究*

邓振镛 余优森 仇化民 林日暖 刘养信

(甘肃省气象局, 兰州)

摘 要

本文对红豆草的干物重、青干比、生长率、叶面积系数、净同化率和光能利用率等生物量特征值作了分析研究, 从其内在的变化规律和它们之间的相互关系以及气象条件对其影响的结果中, 得出盛花期为刈草最佳阶段, 并提出了提高刈草量的关键措施。这对指导生产, 提高产量和质量将起重要作用。

关键词: 净同化率, 光能利用率, 红豆草, 气候生产力。

红豆草(*Onobrychis viciaefolia*)是一种多年生豆科植物, 能改变半干旱半湿润地区的农业生态条件。本文使用1985—1987年在西峰、通渭、定西和华家岭等地的试验资料进行研究。从农业气候区划分, 西峰属温和半湿润区; 通渭和定西属温凉半干旱区; 华家岭属温寒半湿润区。海拔分别为1422、1765、1897和2451米。

一、干物重(W)

1. W 的积累过程

W 是表示单株的净光合生产量。它的累积过程是时间的函数, 拟合方程为:

$$\text{西峰: } W = 10.012 / (1 + e^{3.789 - 0.062t}) \quad (1)$$

$$\text{通渭: } W = 15.673 / (1 + e^{4.333 - 0.072t}) \quad (2)$$

$$\text{通渭(第一茬草): } W = 9.8 / (1 + e^{4.601 - 0.062t}) \quad (3)$$

$$\text{通渭(第二茬草): } W = 5.981 / (1 + e^{2.725 - 0.075t}) \quad (4)$$

上式经检验均显著。式中 W 为某日每茎的干物重, 单位为克/茎, t 为距返青的天数。

W 曲线呈“S”型(图1), 其变化特点是前期缓慢, 中期最快, 后期平缓。但各曲线的最大值和斜率差异较大。(1)和(2)式比较, 春季西峰回暖较通渭早, 1986年西峰比通渭早7天返青, W 前期生长快; 6月上旬以后的开花至成熟期 W 增长显著下降, 此时西峰气温为17—20℃, 通渭为15—17℃。通渭最大 W 比西峰高5—6克/茎。(3)和(4)式表现同样结果。第一、二茬草的气温为14℃和17℃, 后者比前者生长慢, W 少3克/茎。所以, 在气候偏凉的地区有利 W 积累。

* 本文经白肇烨、王素香、冯秀燕、欧阳海等人指导, 王斌、史学贵、李怀德参加研究工作, 在此一并致谢。
本文于1990年1月19日收到。

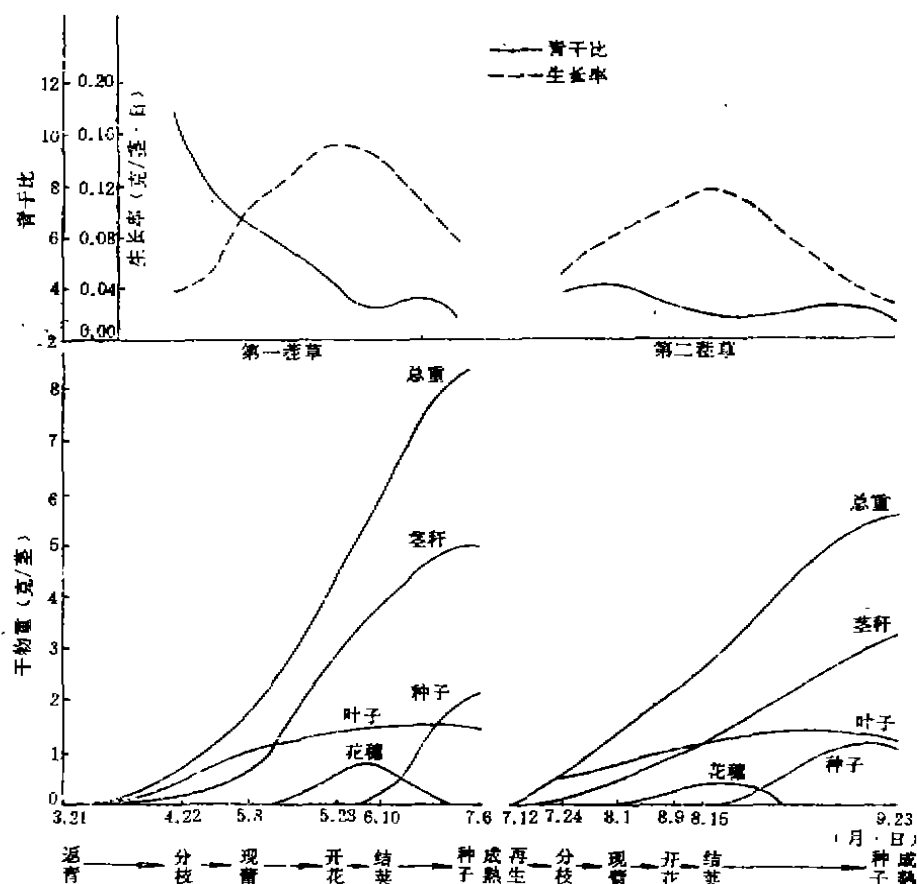


图1 红豆草干物重、生长率、青干比变化曲线(通渭, 1987年)

Fig.1 The change curves of the weight of dry matter, growth rate and the ratio of green to dry on *Onobrychis viciifolia* (Tongwei, 1987)

红豆草各器官在不同时期 W 差异较大(图1)。现蕾前叶子 W 比茎多, 叶-茎比最大为 7—8:3—2; 现蕾后则茎 W 迅速超过叶子, 叶-茎比最大为 3—4:7—6。花穗形成后光合产物除消耗一小部分于生殖器官外, 营养器官的 W 增长仍占主导地位, 营养与生殖器官 W 比, 最大为 7—8:3—2。这是红豆草生理特性所决定。从整个生长周期, 茎 W 的增长最为显著, 曲线呈明显的“S”型, 相比之下, 叶子 W 的增长是缓慢的, 在现蕾以前略有增长, 现蕾后增长甚慢直至停止。花穗形成与叶子增长停止基本是同步的。花穗种子的 W 始终低于茎叶, 表现出是以收获茎秆为主的牧草。

2. W 与气象条件

在旱作区, 红豆草不但与光、热的依赖关系密切, 也受降水量制约。经统计, W 与积温、累积日照和累积降水量之间的关系呈极显著线性相关, 系数都大于 0.97。其中第一茬草 W 与积温相关性最高, 为 0.995; 其次是累积降水量, 为 0.992; 最后是累积日照, 为 0.974。第二茬草 W 与积温和累积日照的相关性最高, 均为 0.994, 与累积降水量关系稍差, 为 0.988。这可能是第一茬草时日照较充足、第二茬草时降水量较多的原因, 致使它们之间的相关性下降。看来, 积温是 W 较为稳定的重要农业气候指标。

3. 青干比的变化特点与气象条件

从青干比动态曲线分析(图1), 第一茬草呈直线下降趋势, 但在果穗形成时, 有所回升。第二茬草较第一茬草变化平缓, 在果穗形成时同样有回升。看来, 青干比在结荚期出现最小值, 含水量最低, 干物质和营养物质质量达到最大值。所以, 在盛花期刈青草最佳。此外, 随海拔增加, 青干比下降。生长期愈短、气候愈冷凉, 愈有利于减小青干比(见表1)。

二、生长率(CGR)

1. CGR的表达式与变化特征

CGR是生产力的反映, 其大小表示生长的快慢。将 W 求一阶导数, 便得CGR表达式。

$$CGR = \frac{10.012 \times 0.062 e^{4.789 - 0.062 t}}{(1 + e^{4.789 - 0.062 t})^2} \quad (5)$$

$$CGR = \frac{15.673 \times 0.072 e^{4.333 - 0.072 t}}{(1 + e^{4.333 - 0.072 t})^2} \quad (6)$$

$$CGR = \frac{9.8 \times 0.062 e^{4.601 - 0.062 t}}{(1 + e^{4.601 - 0.062 t})^2} \quad (7)$$

$$CGR = \frac{5.981 \times 0.075 e^{2.725 - 0.075 t}}{(1 + e^{2.725 - 0.075 t})^2} \quad (8)$$

1986年西峰第一茬草CGR(5)式和通渭(6)式的曲线变化规律基本相同, 详见表2。通渭的气候条件对CGR更有利。(7)和(8)式是通渭1987年第一和第二茬草的CGR, 两曲线的波谷差异明显(图1)。第一茬较第二茬草的CGR为快, 极大值高出0.04克/茎·日, 使距返青的时间延长1倍。

表2 红豆草干物量增长的最大时段和生产力

Table 2 Maximum-growing period of dry matter and productivity of *Onobrychis viciaefolia*

年 份	地 点	茬 次	总干重 (克/茎)	极 大 值				最大生产力阶段(30天)			
				时间 (日/月)	距返青期 时间(天)	发育期	生长率 克/ (茎·日)	时 段 (日/月)	发育阶段	干物重 (克/茎)	占总干重 (%)
1986	西峰	1	8.7	9/6	81	盛花后11天	0.155	25/5—24/6	始花至结荚后8天	4.35	50.0
	通渭	1	13.8	15/6	81	盛花后14天	0.262	31/5—30/6	始花至结荚后8天	7.73	58.0
1987	通渭	1	8.5	4/6	75	盛花后7天	0.152	19/5—18/6	始花至结荚后8天	4.25	50.0
		2	5.5	17/8	37	盛花后8天	0.112	2/6—1/9	盛青至结荚后15天	3.05	55.4

2. 最大生长率时段及生产力

对CGR方程继续求导, 并作滑动积分, 求得最大生产力时段(30天)以及这一时段的 W 。通渭最大时段比西峰延迟6天, 占总 W 高6%(表2)。就发育期而言, 第一茬草最大时段一

般出现在始花期至结荚后8天。而第二比第一茬草要落后,但占总 W 比第一茬草高5.4%。最大时段有适宜的光、热条件,充足的水分和一定的农业投入,将会发挥更大的生产潜力。

3. CGR与气象条件

气象条件对CGR的影响是显著的。旱作区的水分供应主要来源于降水,经统计,其量(R)与CGR呈极显著正相关,表达式为: $CGR = 0.0371 + 0.0047R$, $r = 0.0852$ 。热量条件(日平均气温 $\bar{T}$)与CGR呈曲线变化(图2),CGR适宜的温度指标为14—16℃,宜温凉的气候类型。

三、叶面积系数(LAI)

1. LAI曲线的特征与气象条件

用正交多项式处理,便得西峰1986年的表达式:

$$\begin{aligned} \text{第一茬草 } LAI = & 2.6601 - 0.2628t + \\ & 0.01503t^2 - 2.306 \times 10^{-4}t^3 \\ & + 1.09 \times 10^{-6}t^4 \quad (t \geq 22) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{第二茬草 } LAI = & 0.8953 - 0.033322t + 3.4792 \\ & \times 10^{-3}t^2 - 8.424 \times 10^{-5}t^3 \\ & + 4.4 \times 10^{-7}t^4 \quad (t \geq 9) \end{aligned} \quad (10)$$

(9)和(10)式经检验显著。式中 t 是返青后的天数。

LAI 曲线变化规律见图3。第一较第二茬草前期增长慢,返青后20—40天内第一茬草增长迅速并超过第二茬草,现蕾期最快。这种增长特点与本身的生理特性和所处的气候条件有关。叶子生长适宜气温为15—17℃,低于或高于这个温度,其生长速度减慢,尤其高温影响更甚。

2. LAI与产草量的关系

红豆草的 LAI 与CGR增长速度基本同步。计算1986年西峰第一茬草 LAI 极大值为5.32,出现在6月7日;而CGR极大值为0.155克/茎·日,出现在6月9日。两者出现时间亦基本一致。说明 LAI 并不是CGR的先决条件,这与禾本科的研究结果不同^[1]。

在合理的植物群体结构下,足够大的 LAI 才能制造更多的干物质。据统计,红豆草盛花期前, LAI 与 W 存在明显的正相关。 LAI 与总重、茎重和叶重的相关系数分别为0.988、0.981和0.858,前两者达极显著水准。最大和平均的 LAI 与刈草量也存在显著相关,前者为0.998,后者为0.949。可见, W 的增长或刈草量除了土肥水的必备条件外,一定 LAI 的光合

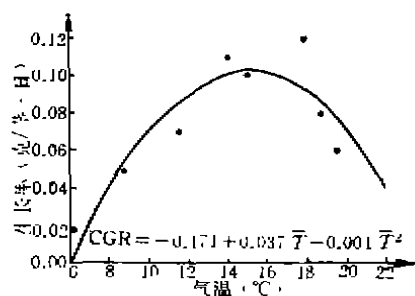


图2 红豆草生长率与温度关系
Fig.2 The relationship between the growth rate and temperature of *Onobrychis Viciaefolia* (1986—1987)

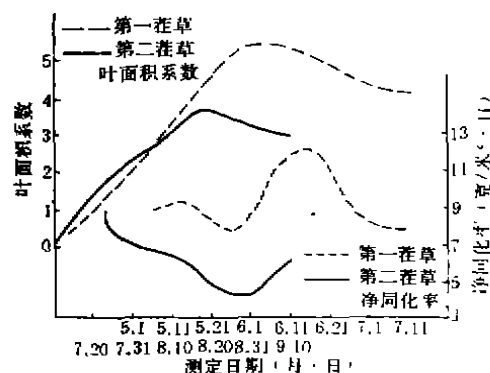


图3 红豆草叶面积系数、净同化率变化曲线
(西峰, 1986年)

Fig.3 The change curves of the leaf area index and the rate of net assimilation about *Onobrychis Viciaefolia* (Xifeng, 1986, two years old grass)

作用对有机质的制造、积累也是非常重要的。

四、净同化率(NAR)

NAR 是表示光合作用净生产干物质的速度和能力。其影响的因子主要有光能和叶面积以及叶片的光合能力。

1. NAR 的曲线特征

红豆草第一茬草 NAR 曲线变化呈两高一低型(图3)。返青后初期,由于叶子小,群体密度较小,光能较好,叶片光合能力较强,所以 NAR 较高。盛花期叶面积最大, NAR 出现低值。此后,光能和叶面积都较适宜,有利于群体光合作用进行,故 NAR 出现最大值。第二茬比第一茬草明显偏低,是因温度偏高,光能减弱, LAI 偏小所致。

2. 提高 NAR 的措施

本地太阳辐射一般在6月最强,如果这时 LAI 出现极大值,可加强透射和散射,改善株间的郁闭状况,有利于 NAR 增大。如果 LAI 极大值出现在辐射已明显减弱的时期,则是十分不利的。因此,要调整两者同步出现。

在半干旱半湿润区,要提高红豆草刈草量,尤其重要的是有一个合理的群体结构,初步分析得出第一茬草适宜的 LAI 指标为:分枝2,现蕾3—4,开花4—5,结荚4,成熟3—4。第二茬草指标为:分枝2,现蕾3,开花3—4,结荚至成熟3。为此,应通过调整播期和播量,控制密度,使之有一个良好的小气候环境。要提高第二、三茬草的刈草量,必须增大 LAI ,才能提高叶片光合能力。因此,前茬草收后要及时做好肥水供应。

五、光能利用率(Eu)

干物质生产,实际上是通过光合作用将光能转化为化学能的过程,其转化效率用 Eu 表示。

1. Eu 的变化特征

从图4看出两地 Eu 曲线变化规律基本一致。 Eu 最高时期一般在营养生长转入生殖生长阶段。

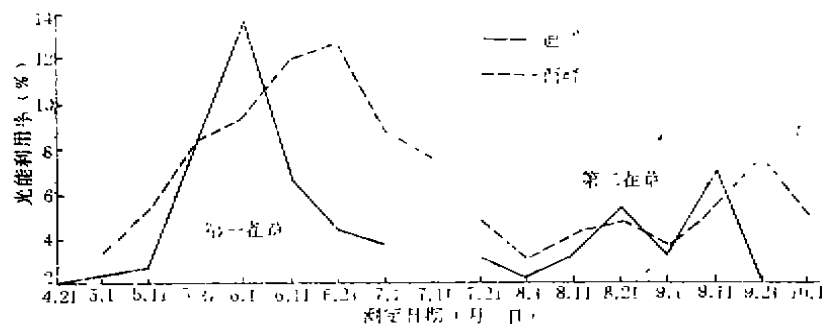


图4 红豆草光能利用率变化曲线(通渭, 1987年; 西峰, 1986年)

Fig.4 The change curve of the efficiency for solar energy utilization in *Onobrychis viciifolia* (Tongwei, 1987, three years old grass, Xifeng, 1986, two years old grass)

不同地区不同茬草 Eu 值不同(表3)。不同气候型的 Eu 值差异并不大,说明红豆草的适

应性较强尤其是耐寒性。

2. E_u 与其它生物量的关系

经统计, E_u 与CGR相关最好, 为0.914, 其次是LAI, 为0.883, 与NAR的相关较低, 为0.792。由于红豆草本身的形态特性和生理特点与禾本科作物有差异, 使得直接影响 E_u 提高的首先是CGR, 而不是LAI, 这与日本人村田吉男研究的结果有所不同^[2]。所以从播种开始就要重视水肥供给。

表3 1987年红豆草和小麦光能利用率(%)比较

Table 3 The comparison of efficiency for solar energy utilization (%) between *Onobrychis viciifolia* and wheat in 1987

项目 地点	红 豆 草				小麦
	第一茬	第二茬	第三茬	全年	
西 峰	1.72	1.92	0.35	1.27	冬小麦 0.29
通 渭	1.54	1.08	0.51	1.13	冬小麦 0.27
定 西	1.87	1.66	0.75	1.40	春小麦 0.26
华家岭	1.07	0.98	—	1.03	春小麦 0.15

六、结 论

1. 从生物量特征值分析得出: 红豆草最佳刈草期为盛花期。其理由是: (1) 在盛花后10天左右CGR出现极大值; (2) LAI在盛花后9天出现极大值; (3) 青干比在盛花后结荚前出现最小值; (4) 盛花期NAR开始出现低值; (5) 盛花期是营养转入生殖生长阶段的时期, E_u 达最高。

2. 生物量有以下几个特征点: (1) 红豆草是以收获营养器官为主的人工牧草。茎秆W增长始终大于叶子, 营养器官W增长占主导地位, 始终大于生殖器官。(2) CGR最大时段(30天)出现在始花期至结荚后8天左右, 占总W的50—60%。(3) 提高NAR的措施, 必须调整播期和播量, 使LAI极大值出现在太阳辐射量最强的6月; 调整各发育期的LAI指标, 使群体结构发挥最佳效益; 要增加第二、三茬草水肥的供应。

3. 生物量之间的相互关系。(1) LAI与W之间呈显著正相关, 刈草量的高低除肥水的供给外, 还有一定的LAI加以保证。(2) LAI与CGR的极大值基本同步出现, LAI并不是CGR的先决条件。(3) 从植物本身来说, 直接影响红豆草 E_u 提高的首先是CGR, 然后才是LAI, 干物质的增长量将起重要作用, 所以从播种开始就要重视水肥的有效供给。

4. 红豆草对气候条件的要求。(1) 适宜种植地带较广, 海拔较高, 在温和、温凉和温寒气候区均能种植, 尤其在温凉区更有利于W积累和CGR增长。(2) W与积温相关性最高, 积温是W较为稳定的重要农业气候指标。(3) CGR与降水量呈极显著的正相关; 与温度呈二次曲线关系, 当日平均气温为14—16℃时最快。

参 考 文 献

- [1] 董宏儒、邓振镛, 1988年, 《带田农业气候资源的利用》, 第249—250页, 气象出版社。
- [2] 村田吉男, 1981年, 太阳光能利用率和光合作用, 候光良译, 《农业气候资源译丛》, 农业出版社。

STUDY ON CLIMATIC PRODUCTIVITY OF *ONOBRYCHIS* *VICIAEFOLIA* IN SEMI-ARID AND SEMI-HUMID REGION

Deng Zhen-Yong Yu You-Sen Qiu Hua-Min

Lin Ri-Nuan Liu Yang-Xin

(Meteorological Bureau of Gansu Province, Lanzhou)

An analysis has been made on the characteristic values of biomass of *Onobrychis viciaefolia*, including weight of dry matter, ratio of green mass to dry mass, growth rate, leaf area index, rate of net assimilation, and efficiency for solar energy utilization. Based on the dynamics of various, their relationships with each other, and the effects of climatic conditions on them, it is concluded that the peak flowering period would be the best season of the grass harvest, and the key measures have been suggested to increase the grass yield.

Key words: *Onobrychis viciaefolia*, weight of dry matter, ratio of green mass to dry mass, growth rate, leaf area index, rate of net assimilation, efficiency for solar energy utilization, biological yield, characteristic value, peak flowering, grass yield.