

# 黄土高原沟壑区人工草地生产力研究

——以长武王东沟试验区首蓿地为例

聂庆华 宋桂琴

中国科学院  
西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

## 提 要

该文以长武王东试验区首蓿为例,根据草地生产力形成机制,结合一系列试验数据,探讨了人工草地生产潜力及其载畜量的估算方法。通过剖析人工草地生产力形成过程,量化了各种生态因子的产量效应,指明了提高草地生产力及其载畜量的有效途径。

关键词: 长武王东试验区 草地生产潜力 载畜量 首蓿

## The Study on the Potential Productivity of the Artificial Sown Pastures in the Loess Plateau—Gully Topography Area

——With Alfalfa Planted at Changwu Agri—Ecology  
Experimental Station as an Example

Nie Qinghua Song Guiqin

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and  
Ministry of Water Resources, Yangling Shaanxi, 712100)

## Abstract

In this paper, with alfalfa planted at changwu agri—ecology experimental station as an example, according to the formative mechanism of the pasture yield, the potential productivity of the artificial sown pasture and the livestock carrying capacity have been calculated on the basis of a series of experimental datum. And the effective coefficient of each ecological factors which effect pasture yield is quantified. Then the measures are pointed out for improving the pasture yield and livestock carrying capacity.

**Key words** the potential productivity of pasture land the livestock carrying capacity alfalfa Changwu  
agrieology expermental station

草地生产潜力是指具有一定面积规模草地的产草量。目前,国内外对草地生产力研究仍处于实测产量或产量——生态因子相关分析阶段。其中以 H, Lieth 等<sup>(1)</sup>人根据草地实测产量所建立的 Miami 模型和 Montreal 模型最为著名,该模型常被其他学者所采用。但从草地产草机制出发,来估算草地生产潜力则进展不大。

作为“机制法”研究牧草生产力的开始,田国良<sup>(2)</sup>曾用黄秉维光合生产潜力计算公式,讨论呼伦贝尔盟草原生产潜力。然而,由于草场种群组成复杂,各种牧草生长季节和生态要求不尽相同,田国良的工作仅限于光因子对草地生产力影响的研究。

草地产草量除与组成的草种及群落结构有关外,主要受制于气候和养分供应。它是牧草群体与

光、温、水、肥等生态因子综合作用的结果。考虑到天然草场种群组成有一定的地域性,可以针对每个具体种类,讨论生产潜力参数的取值,估算各个种类在各自生长期内的产草能力。再按种群结构比例,统计整个草场生产潜力。人工草地因其草种单一,各潜力参数取值在同一类草地上一致,故以人工草地为研究对象,开展草地生产力形成机制及产量的研究,具有探索性意义。为此,我们选择长武王东试区苜蓿(塬地)为例,采用先估算光能生产潜力,再估算温光生产潜力、水温光生产潜力、土壤—气候生产潜力和草地生产潜力的技术路线,进行草地生产潜力和载畜量估算。并在此基础上,提出了挖掘草地生产潜力、发展畜牧业生产的关键问题和对策。值得指出的是,试验表明:苜蓿一般在3~7年生长阶段,其产量比较稳定。故本文潜力参数的取值以此为立足点。

### 一、人工草地生产潜力的估算模型

人工草地生产力的形成,是在人类劳动干预下,牧草种群与环境因子相互作用的结果。牧草摄取太阳能、CO<sub>2</sub>、水等,制造干物质,并最终形成经济产量。其产量高低主要取决于牧草自身特征(G)(种类、群体、生长年限)、环境条件(E)和管理水平(M)等三个因素。

$$\text{即} \quad y=f(G, E, M) \quad (1)$$

其中管理水平是一个时间函数,它与一定的社会生产力水平有关。本文仅讨论现行生产条件下,人工草地生产潜力的估算。

在一定管理水平下,只有当牧草种群与环境条件充分协调时,才可能达到最高产草量。由于环境条件并不常满足牧草的最适生长要求,故式(1)可展开为

$$y=y_0 \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(S) \cdot f(d) \quad (2)$$

式中  $y_0$  为光能生产潜力;  $f(T)$ 、 $f(W)$ 、 $f(S)$  和  $f(d)$  分别代表温度、水分、土肥及其它突发性因子对产量的效应函数。

(一)光能生产潜力 一个较理想的光能生产潜力估算模型,应能够全面地考虑影响光合潜力的主要因子,有较广泛的适用范围。既可以估算牧草全生育期光合潜力,又能反映牧草各生育阶段(含割草)生长状况。式中参数取值也应尽可能有可靠的理论依据和翔实的试验资料。基于此,并考虑苜蓿为 C<sub>3</sub> 植物,当光强超过一定限度时,有光饱和现象。人工草地光合潜力计算模型为

$$y_0=K \cdot C(1+W_1) \cdot (1+N) \cdot h^{-1} \sum_{i=1}^n \{Q_{PARI} \cdot (1-\alpha) \cdot \varphi \cdot a_i \cdot (1-a_i) \cdot [\beta_i+R(1-\beta_i)] \cdot (1-R_{ti}) \cdot (1-g_i)\} \quad (3)$$

式中:  $y_0$  为光能生产潜力(干草值 t/ha);  $K$  为经济系数,对苜蓿取 0.75;  $c$  为换算系数( $c=100\ 005\text{t/ha} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ );  $w_1$  为牧草含水量,苜蓿青干草标准含水量 14%~17%,本文取  $W_1=15\%$ ;  $N$  是干草中灰分含量( $N=8\%$ );  $h$  是每形成 1000g 干物质所需热量( $h=17\ 765\text{kJ/kg}$ );  $a$  是牧草反射率(苜蓿  $a=0.25$ );  $\varphi$  为量子转换系数( $\varphi=0.224$ );

$a_i$ 、 $a_i'$  分别代表群体受光率和非光合器官受光率,两者均可经实测获得。 $R$  为群体对超过饱和光强部分的光能利用率( $R=0.34$ );  $g_i$  为茎叶死亡率。 $\beta_i$  是由牧草光饱和强度所决定的光能利用率;<sup>(3)</sup>

$$\beta_i=1.166e^{-0.55662Q_{PARI}} \quad (4)$$

式(4)中,  $Q_{PARI}$  是  $i$  生长阶段内日均光合有效辐射  $\text{kJ}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$ 。

$R_{ti}$  为呼吸损耗系数。M. D. 卓玛斯和 G. R. 希尔<sup>(4)</sup>通过紫花苜蓿试验,得到以下关系式:

$$R_{ti}=(7.825+1.145T_i)/100 \quad (5)$$

式(5)中,  $T_i$  是生长阶段平均气温( $^{\circ}\text{C}$ );  $Q_{PARI}$  是光合有效辐射  $\text{KJ}/\text{cm}^2$ 。

(二)温度效应系数 在光合潜力基础上,考虑热量条件对牧草生产力的影响,进行温度效应订

正,求得温光生产潜力。温度效应函数可分两种形式,一种是分段函数式;另一种则以连续函数表达。本文采用 В.π. дмитренко<sup>[6]</sup>温度与光合速率模式进行计算:

$$f(T) = e^{-a \left( \frac{T_i - T_0}{10} \right)^2} \quad (6)$$

式中: $T_i$ 和 $T_0$ 分别是生长阶段平均气温和牧草最适生长温度。苜蓿最适生长温度 20~25℃,取 4 月、10 月, $T_0=20^\circ\text{C}$ ; 5 月至 9 月, $T_0=25^\circ\text{C}$ 。 $a$  为参数,当  $T_i \leq T_0$ , $a=1$ ;当  $T_i > T_0$ , $a=2$ 。该式正确地反映了从生物学下限温度到最适温度,温度—光合速率曲线缓慢上升;从最适温度到生物学上限温度,曲线急剧下降这一生物学规律。在 0~36℃ 温度范围内,它适合于全生育期的任一时段。且在  $T \in [T_0-6, T_0+6]$  时,效果最好。

根据  $f(T)$  值,即可求得温光生产潜力:

$$y_T = y_0 \cdot f(T) \quad (7)$$

(三)水分效应系数 引入水分效应订正后的水温光生产潜力,可认为是旱作条件下人工草地产量上限。水分效应系数的计算也有两种方法,一是降水量与需水量之比的函数,其结果用于描述气候生产潜力;二是实际蒸散量与需水量之比的函数,实际蒸散量是大气—植物—土壤综合作用的结果,它反映水与产量的关系。对此, J. I. Stewart<sup>[6]</sup>得到了关系式:

$$f(w) = 1 - k_y \left( 1 - \frac{ET}{ET_m} \right) \quad (8)$$

式中: $k_y$  是作物反应系数。不同作物及同一作物不同生育阶段, $k_y$  值不同。苜蓿全生育期  $k_y=0.9$ 。 $ET$ 、 $ET_m$  分别是实际蒸散量和需水量。

在黄土高原旱塬环境下,根据水分平衡方程式,可以近似为:

$$ET = P + \Delta W \quad (9)$$

式中:  $P$  为生育阶段降水量;  $\Delta W$  是生育阶段前后土壤含水量的变化。

$ET_m$  的值则由式:

$$ET_m = k_c \cdot ET_0 \quad (10)$$

给出。式中:  $k_c$  是作物水分系数,它与气候条件、作物种类和生育阶段有关。在干燥,微风或轻风条件下,苜蓿全生育期平均  $k_c=0.95$ ;割草前  $k_c$  最大,为 1.15;割草后最小,为 0.40。 $ET_0$  是潜在蒸发量,可据 Penman<sup>[7]</sup>公式求算。

温光生产潜力与式(10)求出的  $f(w)$  之积,即为水温光生产潜力

$$y_w = y_T \cdot f(T) \quad (11)$$

(四)土肥效应系数 确定土肥效应系数仍没有较理想的方法。现有的处理方法均不足以反映土壤肥力这一综合指标。本文通过苜蓿生长要求与土壤肥力因素配比,用因子加权评分和法,确定土肥效应系数。

$$f(S) = \sum_{j=1}^n A_j W_j \quad (12)$$

式中: $A_j$ 、 $W_j$  分别为被选因子评分和对土壤肥力的贡献度。

根据苜蓿对土壤的要求,以及苜蓿是豆科植物,有根瘤固氮之特点。选取土壤质地、土层厚度、土体构型、有机质含量、碱解氮、速效磷、阳离子交换量和土壤 pH 值等 8 个因子,进行土壤肥力评估。借助层次分析法(AHP),确定上述因子在“肥力”水平下排序,权重分别为:0.12,0.13,0.05,0.26,0.10,0.20,0.11,0.03。再将苜蓿地土壤诸肥力因子实测值与苜蓿生长的最适要求或肥土值相比较,确定  $A_j$ 。由此即可求出  $f(S)$ 。

则 
$$y_i = y_w \cdot f(S) \tag{13}$$

即代表土壤—气候生产潜力。

(五) 突发性因子效应系数 影响人工草场生产力的突发性因子主要有病虫害、牲畜践踏及人为破坏等。在没有长期统计资料时,很难进行定量分析,也就更难以建立起函数关系。故暂时假定  $f(d)=10\%$ ,以完善草地生产潜力估算模型。

### 二、长武王东试区苜蓿地生产潜力估算

长武王东试区地处陕西省长武县西部,位于北纬  $35^{\circ}14'$ ,东经  $107^{\circ}41'$ 。系渭北黄土高原沟壑区,北部塬地海拔为  $1\ 220\pm 5m$ 。试区属暖温带半湿润大陆性季风气候区,光热资源充足。但降水分配不均,年际变化大,影响苜蓿产量的稳定性。王东试区苜蓿主要种植在塬面和塬边埝地上,土壤以黑垆土为主。平均鲜草产量  $1\ 640kg/亩$ ,低于长武其它地区苜蓿抽样平均值( $2\ 730kg/亩$ ),所以其生产上仍有较大的潜力。

苜蓿 (*Medicago sativa* L.)是多年生深根豆科植物。原产于干燥少雨、蒸发大、日照充足、温度变幅大的中亚地区。从其开始生长到开花,需要  $\geq 10^{\circ}C$  积温  $800\sim 850^{\circ}C$ 。长武  $\geq 10^{\circ}C$  积温为  $3\ 025^{\circ}C$ ,若以开花期收割,则从热量上,足以满足每年收割 3 次的要求,且 3 次收割时间大致为 6 月上旬,7 月中旬和 8 月底。但收割次数也受水肥等因子影响。据调查,王东试区苜蓿 4 月开始恢复生长,10 月底地上部分枯萎。通常割草时间是 5 月底至 6 月上旬和 7 月中旬至 7 月底各一次,故其光合潜力计算分为三个阶段。各阶段光合潜力参数见表 1。

王东试区光合有效辐射,可由下列一组公式确定:<sup>[8]</sup>

$$Q = Q_0(0.164\ 5 + 0.558\ 3)$$

$$S = Q_0(-0.030\ 9 + 0.482)$$

$$D = Q - S$$

$$Q_{PAR} = 0.43S + 0.57D \tag{14}$$

式中:  $Q_0$ 、 $Q$ 、 $S$ 、 $D$  和  $s$  分别是天文辐射总辐射、直接辐射、散射辐射和日照百分率。

由式(14)可得出各生育阶段  $Q_{PAR}$  把  $Q_{PAR}$  和各阶段光能利用参数代入式(3),即得各生育阶段光合潜力(表 1)。其加和值即是全生育期光能生产潜力,  $y_0 = 59.463t/ha$ 。

同样,把试区各生育阶段温度平均值代入式(7),算出  $f(T)$ 。由此得出长武王东试区苜蓿温光生产潜力。其全生育期  $y_T = 37.385t/ha$ 。

表 1 苜蓿光合潜力,温光生产潜力及其参数

割草次数	月 份 (月)	$Q_{PAR}$ ( $kJ/cm^2$ )	$a_i$	$a_i$	$\beta_i$	$R_{ii}$	$g_i$	$y_0$ ( $t/ha$ )	$f(T)$	$y_T$ ( $t/ha$ )
第 1 次	04	23.418	0.60	0.02	0.755	0.20	0.02	23.037	0.44	10.136
	05 06 上	37.762	0.95	0.15	0.689	0.26	0.05			
第 2 次	06 中、下	19.718	0.60	0.05	0.674	0.32	0.02	18.866	0.92	17.357
	07	28.396	0.95	0.15	0.700	0.33	0.05			
第 3 次	08	26.660	0.4	0.05	0.711	0.32	0.04	17.560	0.56	9.892
	09	19.058	0.8	0.10	0.819	0.25	0.05			
	10	16.679	0.6	0.20	0.864	0.19	0.10			

从表1可见,苜蓿光合潜力以第一阶段最大。但4~6月上旬和9月、10月由于低温,苜蓿的生长受到强烈限制。

水分效应尚难作分段讨论,因为缺乏各生育阶段土壤水分实测资料,通常土壤水分观测也难以达到根深的土层,故只按苜蓿全生育期估算。据Penman公式,长武王东试区4~10月苜蓿潜在蒸散量,即需水量为774.3mm。以全年降水量585.8mm,均被土壤拦蓄并转化为苜蓿实际耗水量,则据式(8),得 $f(W)=0.78$ 。当然,这里未考虑被耗去的深层土壤水。把 $f(W)$ 代入式(11),得苜蓿水湿光生产潜力 $y_w=29.194t/ha$ 。它是长武苜蓿的产量上限。

王东试区苜蓿种植在黑垆土上,质地中壤,土层深厚。但有机质含量低,仅为1.11%,速效磷10.95mg/kg,碱解氮43.56mg/kg,阳离子交换量11.23me/100g土pH值8.05。与苜蓿生长要求比较,得 $f(W)=0.66$ 。即土壤—气候生产潜力 $y_c=19.268t/ha$ 。从计算中,长武塬面土壤物理性状利于苜蓿生长,但磷、氮不足,增施一定氮磷,特别是磷,将有较好的增产效果。

考虑 $f(d)=10\%$ 这一突发性因子衰减,则苜蓿生产潜力 $y=17.341t/ha$ 。样方测定,苜蓿干草与鲜草重量之比约为1:3.484(青鲜苜蓿中平均水分含量75.6%),折合青鲜苜蓿产量60.409t/ha这一产量是实际生产中可能达到的产量水平。

### 三、长武王东试区苜蓿地载畜量分析

草地第二性生产力是指单位时段、单位面积所生产的蓄产品数量。其值可以用草食动物对饲草的转化效率来衡量。牧草转化效率与投入多少、管理水平有关。在一些畜牧业较发达的国家,转化效率可以达到2%~10%,高者达15%~16%。目前我国转化效率仅为0.5%~1%<sup>(8)</sup>。

实测结果表明,长武及陇东地区每个羊单位日食鲜草量为2~2.5kg。取其平均值2.25kg,折合每公顷载畜量73.6个羊单位。以每个羊单位胴体重12kg计,<sup>(9)</sup>折合蓄肉产量为882.6kg/ha。转化效率为1.46%。

假若转化效率提高到5%,则在现行苜蓿生产潜力上,其载畜量将是251.7个羊单位/ha。当然,若要达到这个结果,仍要经过相当时间的工作,挖掘提高载畜量的潜力。

### 四、几点建议

从上述计算结果表明:长武王东试区苜蓿产量仅达到其潜力的40.7%。提高草地生产力的措施是:

(一)建立合理的群体结构,提高光能利用率 王东试区苜蓿光能利用率仅为1.28%(按鲜草产量折算)。提高光能利用率的农业措施有补足缺苗,维持苜蓿合理密度,提高群体受光率等。

(二)充分利用热量条件 每次割草后,适当耙松土地并结合以肥调水等措施,促进割草后苜蓿再生,这是提高苜蓿单产的关键措施。从长武王东试区温度条件分析,除苜蓿生长初期和后期日均温度较低,限制苜蓿生长外,其 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温足可以满足3次割草需要。但水肥不足,限制了第2次割草后苜蓿的再生。以第2次割草过程为例,这一阶段苜蓿潜在蒸散量(需水量)为240.8mm,而实际降水量仅为147.8mm,亏缺100.2mm水分。这种亏缺势必严重影响土壤墒情和苜蓿生长。

(三)加强管理,增施一定数量氮磷肥有明显的增产效果 据测定,每千斤苜蓿干草中,含N 12.5kg、 $\text{P}_2\text{O}_5$  3.5kg和 $\text{K}_2\text{O}$  7.5kg。苜蓿在其生育期中,所摄取的养分比一般禾谷类作物高。及时补充土壤中养分不足,是增产的重要手段。

(四)提高牧草转化效率,扩大载畜量,是有效利用草场,提高经济效益的重要环节。目前王东试区人工草场转化率仅有1.46%,低于畜牧业发达国家2%的低转化率水平。故在转化率上,大有潜力可挖。

## 参 考 文 献

- [1]H.Lieth. 等. 生物圈的第一性生产力. 北京:科学出版社,1985年
- [2]田国良. 呼伦贝尔草原的太阳分光辐射和光合潜力.《地理学报》,1980年,第一期
- [3]龙斯玉. 气候生产力的研究之一——气候生产力模式.《农业气象》,1980年,第3期
- [4]陈明荣等. 中国气候生产潜力区划的探讨.《自然资源》,1984年,第3期
- [5]В.п.дмиргренко 根据水文气象因子计算作物产量模式.《作物气象生态译丛》,北京:农业出版社,1984年
- [6]J. I. Stewart, et al, Optimizing Crop Production through Control of water and Salinity levels in the soil. Utah, water lab pub No PRWG 151-1, Logan P. 191, 1977.
- [7]H. L. Penman, Evaporation over the British isles, Quart, J. Roy Meteo. Soc, Vol. 76, No. 330.
- [8]聂庆华. 陕西省洛川县土地生产潜力及人口容量研究.《自然资源》,1992年,第3期
- [9]黄文秀. 我国草地资源开发和草食家畜的发展.《自然资源》,1990年,第5期