

渭北旱塬紫花苜蓿的蒸腾强度 与水量平衡研究

陈一鸮 刘康

(西北植物研究所)

提 要

本文对渭北旱塬主要栽培牧草——紫花苜蓿的水分消耗、平衡和利用率进行了研究。紫花苜蓿是耗水量较高的一种豆科牧草，进入生长发育盛期的人工草地，年耗水量可达800~1000mm，为当地年均降水量(584.1mm)的1.4~1.7倍。影响蒸腾强度的主要气候因子是光照强度、湿度与温度，并与一定深度的土壤湿度紧密相关。3m深土层内的水量收支是不平衡的，为了维持平衡，紫花苜蓿的根系必须从更深土层中吸取水分，丰水年也不例外。紫花苜蓿的高耗水是与生物量的高产出成正比的，因此水分利用率并不低。

关键词：紫花苜蓿 蒸腾强度 水分利用率 生物量

植物的蒸腾状况是其内在生理生态特性的反映，也是植物需水量的重要指标，其强度除取决于本身的生物学特性外，还受外界环境因子所制约。在半湿润、半干旱地区估量植物群体的蒸腾耗水及其在水量平衡中的地位对于了解植物群体的水分利用率，水分生态类型和潜在生产力等均具有十分重要的意义。

紫花苜蓿在渭北旱塬栽培历史悠久，是当地主要的栽培牧草品种，和已引进的其他栽培牧草品种相比，其产量、品质和适应性均居首位。然而一段时期以来，由于农村所有制的变革和畜牧业内部结构的调整，紫花苜蓿的栽种面积不断减少，令人忧虑。为了充分发挥紫花苜蓿这一“牧草之王”在畜牧业生产中的优势，1988年以来，我们在长武县王东沟黄土高原综合治理试验区对紫花苜蓿的水分利用与水量平衡的特点进行了研究。

一、试验区的自然概况

试验区位于长武县西部的洪家乡，辖王东、丈六两个自然村，流域总面积8.3km²。地处黄土高原沟壑区，海拔995~1225m，土壤以黑垆土与黄壤土为主。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候，年平均气温9.1℃，总辐射量115.3kcal/cm²，年平均≥10℃的积温3029.8℃，年平均降水量584.1mm，干燥度1.13，年平均无霜期171天。

二、试验研究方法

植物蒸腾强度的测定采用离体叶片快速称重法，在生长季节内(5~10月)每月月初与月中各测定一次，每天的测定时间为早7时至晚7时，测定时间间隔2小时，两次重复。土壤湿度的测定用重量法，取土深度3m，分11个层次。植物蒸腾强度和土壤水分的测定一般在同一天内进行，

以未耕作的草地作对照。同时测定地上部分生物量，取样面积 1 m²，重复 3 次。

三、结果与讨论

(一) 紫花苜蓿的蒸腾强度及其与气候等环境因子之间的关系

多年生豆科牧草紫花苜蓿主根发达，根系分布深度 8~10m，两年来的连续测定表明，进入生长盛期的苜蓿叶子，其蒸腾值很高，日最大蒸腾耗水量达 14~24mm/m²。而且在生长季

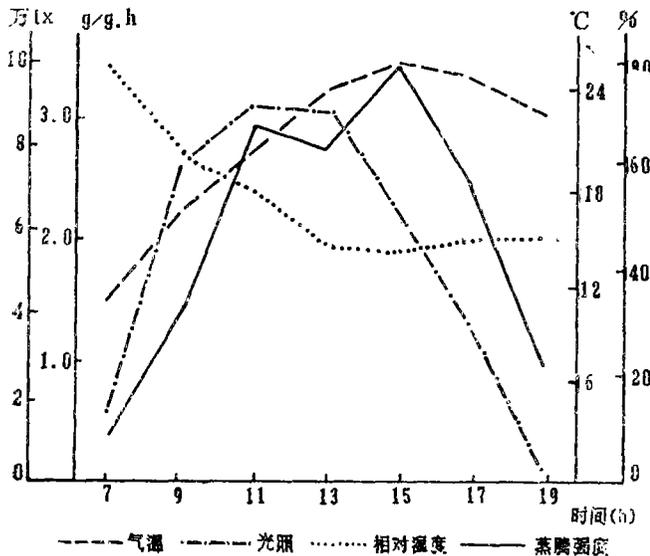


图1 紫花苜蓿蒸腾强度和主要气候指标的日进程曲线

曲线的差异(图2)只能归结为种间生物学特性的不同。

在生长季节中同一苜蓿品种，不同时期的蒸腾强度水平有明显的差异(图3)。5月中旬的蒸腾强度明显高于其他各月，6~7月的蒸腾强度亦较高，其余各月依次下降，9月与10月中旬的蒸腾强度日进程曲线十分相似。

不同生长年限，不同品种的紫花苜蓿在不同年份生长季节中按月平均的蒸腾强度见表1。不同生长年限紫花苜蓿在不同年份的蒸腾强度差异较大，4年生本地紫花苜蓿1989年蒸腾强度的年均值仅为5年生同种苜蓿1988年蒸腾强度年均值的36%，而1989年在毗邻地块测定的两个苜蓿品种，虽然生长年限相差1倍，但由于气候与环境条件基本一致，其蒸腾值除5月份外，其余各月十分接近，说明气候对蒸腾强度的影响优于品种和生长年限。

我们用多元回归分析的方法对影响植物蒸腾的气候和水分因子的相关性作了比较。

1989年本地紫花苜蓿的蒸腾强度与光照强度(X₁)、气温(X₂)、5cm地温(X₃)和相对湿度(X₄)等气候因子的回归方程为

$$\hat{Y} = 0.9727 \cdot X_1^{0.1777} \cdot X_2^{-0.29} \cdot X_3^{0.5018} \cdot X_4^{-0.1088}$$

$$r = 0.49 \quad F = 6.356 > F_{0.01}$$

F测验总体相关达极显著水平，单个气候因子的显著性测定同样全部 > 1%。

同年测定的人工混播草地中新疆大叶苜蓿及红豆草的蒸腾强度与上述气候因子的多元回归分析结果与本地紫花苜蓿的回归方程十分相似，总体与单因子相关性的F测验全都达到显著或极显

内，蒸腾强度的日变化差异很大，一般以双峰曲线的形式呈现，即在上午9~11时和下午15~17时各出现一次峰值，尤以花期前较为常见(图1)。但受环境、气候和生长年限的影响，这种蒸腾强度日进程的典型模式并不是一成不变的，例如在降水较多的1988年，蒸腾强度的日进程曲线以单峰为主(占60%)，而降水略少于多年平均值的1989年双峰曲线占83%，无单峰曲线。

在完全一致的环境条件下，混播人工草地中新疆大叶苜蓿与红豆草蒸腾强度日进程

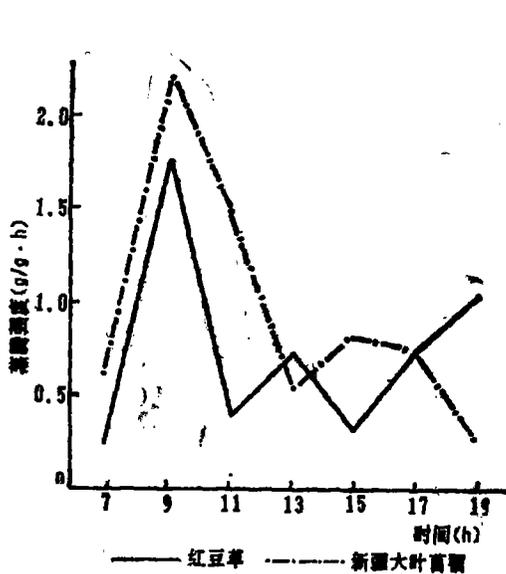


图2 混播人工草地的蒸腾日进程曲线

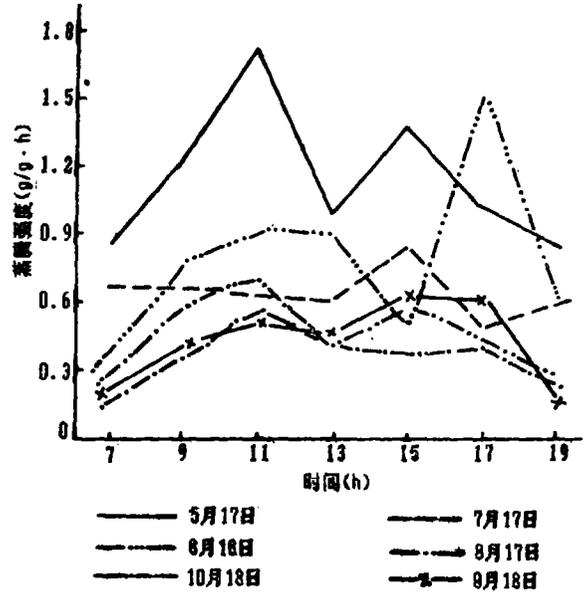


图3 不同季节紫花苜蓿蒸腾强度的日进程曲线

表1 不同品种、不同生长年限紫花苜蓿在不同季节内的蒸腾强度与耗水量

苜蓿品种	生长年限	生长季节内的月平均蒸腾强度与耗水量 (蒸腾强度: g/g·h 耗水量: mm)													
		5月		6月		7月		8月		9月		10月		全年	
		蒸腾强度	耗水量	蒸腾强度	耗水量	蒸腾强度	耗水量	蒸腾强度	耗水量	蒸腾强度	耗水量	蒸腾强度	耗水量	蒸腾强度	耗水量
本地紫花苜蓿	5	23.10	569.5	23.32	257.6	25.31	97.5	20.55	131.1	23.52	71.9	21.48	24.3	21.48	951.9
本地紫花苜蓿	4	14.29	338.5	10.49	182.5	7.78	115.2	5.43	129.6	4.74	20.8	7.81	15.8	7.81	802.4
新疆大叶苜蓿	2	8.83	87.3	9.94	62.8	8.48	41.4	5.76	40.2	4.35	21.1	—	7.5	7.47	260.3

著水平。

1988年试区的降水偏多，年降水量达737.6mm，5年生本地紫花苜蓿的蒸腾强度与光照、气温、地温(5~10cm)，和湿度间的多元回归方程为

$$\hat{y} = 0.000\ 031\ 4 \cdot X_1^{0.4757} \cdot X_2^{0.3571} \cdot X_3^{0.6715} \cdot X_4^{0.1234}$$

$$r = 0.82 \quad F = 33.929 > F_{0.01}$$

此回归方程虽然在总体上F值达到了1%的极显著水平，但就单个气候因子而言，除光照强度外(F=67.28>F_{0.01})，其余各因子的F值均<F_{0.05}，相关不显著。其原因可能是生长季节中过多的降水掩盖其他气候因子与紫花苜蓿蒸腾强度间的紧密联系。

根据不同回归方程中F测验值的大小，各气候因子对不同苜蓿品种蒸腾强度的影响程度依次为光照强度>相对湿度>表层地温>气温，其中光照强度的F平均值约为其他因子的3~5倍，它表明光照强度对不同品种、不同生长年限紫花苜蓿的蒸腾强度有强烈影响。

水分供给对植物蒸腾强度的影响是显而易见的，尤其在半干旱、干旱地区。相关分析表明：

紫花苜蓿的蒸腾强度与测定前一段时期(5~30天)内的降水量相关不显著,仅与一定深度内的土壤贮水量有关。1989年新疆大叶苜蓿与本地紫花苜蓿的蒸腾强度与0~120cm(土壤湿度变化活跃层)土层贮水量的r值分别为0.94、-50.86, t测验分别达到1%与5%的显著水平。后者与0~60cm, 0~200cm和0~300cm土层贮水量的r值分别为0.52、0.55、-50.48, t测验均未达显著水平。

(二) 水量平衡

人工草地的水量平衡是指草地第一性生产过程中系统的水分收支状况,可以用下列等式来表示:

收入量 - 支出量 = 平衡量

收入项一般应包括大气降水、地下水补给和凝结水;支出项一般应包括群落蒸散耗水(即蒸腾耗水与蒸发耗水之和),水分渗漏、地表和地下径流等。

在收入项中,试区的地下水埋藏很深(40~80m),故无地下水补给,而凝结水在半湿润地区相对于年降水量而言是微不足道的。在支出项中,由于观测点设置于平坦的塬面上,而深厚的黄土持水力又很强,故水分渗漏和地表、地下径流在无特大暴雨的情况下均可视作零。

这样水分平衡方程可改变为

$$SW_1 + R - SW_2 = E + T$$

式中: SW_1 —生长季开始时的土壤贮水量; SW_2 —次年同期的土壤贮水量;

R —降水量; E —地面蒸发量; T —植物蒸腾量。

土壤水分贮存量的计算公式为 $W = hs \cdot Ps \cdot B\% \times 10$

式中: hs 是以cm表示的土层厚度; Ps 是土壤容重(g/cm^3),乘以10将cm化作mm; $B\%$ 为土壤含水量。

紫花苜蓿人工草地生长季节中按月累加的蒸腾耗水量如表1所示,根据土壤贮水量(3m)在年周期内的变动,加上同期的降水量即可算出水量的收支平衡。

本地紫花苜蓿1988年与1989年水量收支状况如下式所示:

$$[567.3mm(SW_1) + 703.5mm(R) - 499.4mm(SW_2)] - [E + 951.9mm(T)] \\ = -180.5mm + E$$

$$[499.4mm(SW_1) + 511.6mm(R) - 460.9mm(SW_2)] - [E + 802.4mm(T)] \\ = -252.3mm + E$$

上述两式计算的结果均为负值,说明紫花苜蓿人工草地的蒸散量很大,2m深土层内的贮水量难于满足其蒸腾耗水的需要,为了实现平衡,必须消耗更深土层贮存的水分,即使在丰水年也不例外。多年生的紫花苜蓿具有庞大的根系,分布深度至少4~6m,因此它完全有能力来吸取深层土壤中的水分。

二年生新疆大叶苜蓿与红豆草的人工混播草地其水量收支是平衡的。

$$[432.4mm(SW_1) + 495.6mm(R) - 548.6mm(SW_2)] - [E + 337.5mm(T)] \\ = 41.9mm + E$$

这是由于它们的根系扎得还不深(2m左右)以及群体生物量较低的缘故。

地面蒸发量我们没有直接测定,但可以根据 $E = SW_1 + R - SW_2 - T$ 求出。但当水量平衡中支出量 > 收入量时,如1988年或1989年本地紫花苜蓿水量平衡中所出现的负值,地面蒸发量就难于估算,但在盖度 > 0.8的人工草地中相对于蒸腾蒸发量而言,其值并不大。

(三) 水分利用率

每 1 mm 降水生产的干物质是衡量植物利用水分的一个重要指标。

水分利用率的公式为 $\text{水分利用率} = \frac{\text{年净初级生产量}}{\text{单位面积水分总蒸散量}} \times 100\%$

4~5 年生的紫花苜蓿已进入生长与发育的盛期, 产草量较高, 在每年刈割 2 次的条件下, 1988 年紫花苜蓿的净初级生产量为 984.7 kg/亩·年, 1989 年为 985.3 kg/亩·年, 二者几乎相等。以紫花苜蓿两年地上部分生物量的平均值 985 kg/亩以及总蒸散量的平均值 877.15 mm 代入上式得 1.12, 即为 4~5 年生紫花苜蓿在水量不平衡条件下的水分利用率。

四、结 论

1. 在渭北旱塬西部夏绿阔叶林带北缘的气候条件下, 紫花苜蓿蒸腾强度的日变化进程一般以双峰态的形式出现, 即在上午 9~11h 和下午 15~17h 各有一峰值。但峰值的高低和数量并不是一成不变的, 如 1988 年降水较多, 紫花苜蓿蒸腾强度的日变化进程就以单峰态为主。

2. 相关和多元回归分析表明, 紫花苜蓿的蒸腾强度与光照、湿度、温度及土壤贮水量之间存在着显著的相关关系, 其中以光照强度的相关性最显著, 其次为 0~120 cm 土层的贮水量, 并与相对湿度、地温、气温等气候因子紧密相关。

3. 蒸腾强度随植物种类、生长年限和生育期的不同而异, 本地紫花苜蓿 > 新疆大叶苜蓿 > 红豆草, 这种差异既是种间的, 又因生长年限不同而别, 即使是同一种紫花苜蓿, 年际间蒸腾强度的差异还反映了气候条件的变异。不论何种苜蓿, 一般均以花前营养期和初花期的蒸腾强度最大, 然后随季节的推移而下降, 以落叶前的蒸腾强度最低。

4. 紫花苜蓿人工草地在渭北旱塬适宜的气候条件下具有生物产量与耗水量双高的特点, 4~5 年生紫花苜蓿的蒸腾耗水高达 200~1 000 mm, 为年均降水量的 1.4~1.7 倍。因此在被测土层 (3 m) 范围内水量支出大于收入, 为了实现水量平衡, 紫花苜蓿的根系必须从更深的土层中吸取水分, 从而形成了深层土壤的旱化, 即使在丰水年亦得不到补偿。

5. 紫花苜蓿的生物量较高, 虽然蒸散量大, 但水分利用率并不低, 若能增施磷、钾肥, 以肥调水, 则紫花苜蓿的水分利用率还将进一步提高。

新书征购启事

《黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究》(上、下册, 70 万字) 一书系据多年实验成果选写的专题论文。书中详细地介绍并论述了水土保持型生态农业的结构模式与实践, 土地资源评价与利用优化模式试验, 水保措施优化配置与效益。降雨、地形与坡地水土流失关系等内容。本书可供水保科技人员, 农林院校师生和农业领导干部参考使用。每套 17.5 元, 购书者请于中国科学院西北水土保持研究所杨万鹏联系。