

红豆草和苜蓿的光合效率比较研究

A COMPARATIVE STUDY OF PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY
IN SAINFOIN AND ALFALFA

红豆草, 又名驴食草, 是甘肃省近年广泛种植的豆科牧草。为了深入认识它的生长发育规律, 揭示其光合生产的限制因素, 我们于1986—1988连续三年在甘肃省陇中南部黄土丘陵区通渭县申家山试验场开展了红豆草光能利用率的研究。

一、材料和方法

1. 材料 在申家山试验场田间种植的红豆草、苜蓿和春小麦。红豆草(*Onobrychis* spp)是杂交后的复合体, 没有种名。紫花苜蓿(*Medicago sativa*)属地方品种。小麦(*Triticum aestivum*)为当地品种。3年研究中3种植物始终用同一品种。牧草的株行距为 $5 \times 20\text{cm}$ (1年生, 苗龄2个月)、 $20 \times 40\text{cm}$ (2年生, 苗龄11个月), 小麦株行距为 $2 \times 20\text{cm}$ 。

2. 测定方法 用便携式ADC气体分析系统测定叶片气体交换, 空气取自地面以上4米处, 使用Delta-T型棒式太阳辐射计, 记录每天到达地面的太阳辐射量。把实验期间每天测量值累加起来得到太阳总辐射输入量; 先测定单叶的表现光合量子需要量, 然后按光合有效辐射(PAR)占总太阳辐射的43%、1 mol 光子平均含能量209 kJ和1 mol CH_2O 含能量468 kJ计算单叶的光能利用率。群体光能利用率的测定和计算: 先从 1m^2 土地上挖取植株(尽量减少根系损失)洗净, 放入 105°C 烘箱中, 迅速停止植物材料的生命活动, 以减少呼吸消耗, 1小时后将烘箱温度调至 80°C 过夜烘至恒重, 称其干重。10或12天后再挖取一次植株, 烘干称重。两次干重之差即为实验期间增加的生物量, 作为光能利用率计算的基础。参照上海植物生理研究所固氮研究方法测定离体根瘤使乙炔还原成乙烯的速率。

与生物量测定的同时, 用画纸称重法测定叶面积, 并摘取根瘤测定鲜重和固氮活性。然后, 按 $1\text{C}_2\text{H}_4$ 相当于 $1/3\text{N}_2$ 、每固定 1gN_2 消耗20g葡萄糖和每摩尔葡萄糖含能量2809 kJ计算出根瘤固氮的能量消耗。

从上面得到的干重增加值减去10%的灰分得到净光合生产值。净光合生产值加呼吸消耗部分得到粗光合生产值。呼吸损失约为光合生产的1/3。本文测定表明, 在相同条件下3种植物叶片的暗呼吸速率都在 $1\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 左右, 一天中进行暗呼吸的时间大体上是光合作用时间的2倍。

粗光合干物质所含能量加上根瘤固氮的能量损失量便得到测定期间 1m^2 土地上的能量输出值。由它与这段时间内这块土地上总的太阳能输入值之比求得群体光能利用率。

二、结果和讨论

1. 红豆草和苜蓿叶片的光合效率及水分利用率 对同期播种的2年生(苗龄11个月)牧草的对比测定表明, 红豆草的光合速率略高于苜蓿。苜蓿的光合速率低不是由于其气孔导度低, 因为其细胞间隙的 CO_2 浓度并不比红豆草的低(表1)。红豆草单叶光能利用率高于苜蓿。这与其叶片较厚(分别为245、218 μm)、叶绿素含量较高、光能吸收较多有关(表2)。与表1净光合速率测定同时进行的叶片蒸腾速率测定结果表明, 红豆草叶片的蒸腾速率略高于苜蓿, 这与红豆草的气孔导度较大有关。然而, 红豆草的蒸腾系数(E/P_n)却低于苜蓿, 表明红豆草叶片的水分利用率高于苜蓿。红豆草叶片的水分利用率高完全是由于其叶片的净光合速率高的原因(见表1)。

本文于1989年12月23日收到。

表 1 红豆草和苜蓿叶片的净光合速率与蒸腾速率
Table 1 Net photosynthetic and transpiration rates of sainfoin and alfalfa leaves

植物名	项目	C_a	C_i	PFD	P_n	G_s	E	E/P_n
红豆草		272.4	181.9	1324	18.97	0.644	11.80	829.18
		± 7.0	± 11.9	± 273	± 3.68	± 0.358	± 1.58	± 59.89
苜蓿		270.8	199.1	1263	10.25	0.425	8.81	904.76
		± 5.9	± 6.9	± 236	± 4.45	± 0.210	± 3.15	± 149.30

牧草为二年生, 苗龄11月。测定在25℃下进行。表中数值是10片叶的平均值 $\pm$ 标准差。两种牧草的 P_n 、 C_i 差异未达显著水平。 C_a ——空气 CO_2 浓度, ($\mu l CO_2 L^{-1}$); PFD——光子通量密度 ($\mu mol photons m^{-2} s^{-1}$); P_n ——净光合速率 ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$); C_i ——细胞间隙 CO_2 浓度 ($\mu l CO_2 L^{-1}$); G_s ——气孔导度 ($mol H_2O m^{-2} s^{-1}$); E——蒸腾速率 ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$); E/P_n ——蒸腾系数 ($mol H_2O mol^{-1}$ 固定的 CO_2)。两种牧草之间 G_s 、E和 E/P_n 差异都未达到显著水平。

表 2 红豆草、苜蓿和春小麦叶片的光合效率
Table 2 Photosynthetic efficiency in the leaves of sainfoin, alfalfa and spring wheat

项目	植物名	红豆草	苜蓿	小麦	注
AQR(PAR) ($n=4$)		33.95 $\pm$ 5.88	40.15 $\pm$ 6.18	45.55 $\pm$ 8.22	
按总太阳辐射计的AQR		79	93	107	按PAR占总太阳辐射的43%计
能量输入(kJ)		16511	19437	22363	按1摩尔光子含能量209kJ计
能量输出(kJ)		468	468	468	按1摩尔 CH_2O 含能量468kJ计
效率(%)		2.8	2.4	2.1	

AQR——表观量子需要量, mol 入射的 $photons mol^{-1}$ 固定的 CO_2 ;

PAR——光合有效辐射(400—700nm)。

表中按PAR计的表观量子需要量的值是4片叶的平均值 $\pm$ 标准差。3种植物之间的AQR差异未达显著水平。

牧草为2年生, 苗龄11个月。小麦苗龄2个月。

2. 红豆草和苜蓿的群体光合效率

为较准确地估价豆科植物的群体光能利用率, 有必要对其根瘤固氮情况和固氮的能量消耗进行研究。测定结果表明, 虽然红豆草根瘤固氮的比活性只是苜蓿的1/3左右, 可是由于红豆草单株和单位土地面积($1m^2$)上的根瘤量比苜蓿高得多, 所以它的总固氮量和总固氮的能量损失($1m^2$, 10天)还是比苜蓿高得多(表3)。从表3中固氮的能量损失和表4中能量输出值计算得知, 苗龄11个月个的红豆草固氮的能量消耗占光合生产的10.4%, 接近15%的实测值。

根据先后两次生物量测定结果计算的2年生(苗龄11个月)红豆草和苜蓿及春小麦(苗龄2个月)的群体光能利用率分别为1.1%、0.3%和1.9%(表4), 以小麦为最高。这主要是由小麦叶面积系数最高的缘故。群体的光能利用率比单叶的低, 可能有多种原因: 一是单叶的光能利用率是在弱光(PFD在 $200\mu mol photons m^{-2} s^{-1}$ 以下)下测定计算的, 而群体光能利用率测定期间常常遇到强光; 二是群体的叶面积系数不够大, 有不少光能因辐射到地面而损失; 三是群体可能存在着光合产物运输的能量损失和根泌溢损失等。红豆草的光能利用率高于苜蓿, 主要是由于红豆草的叶面积系数大, 叶片的净光合速率较高(表1)。从4表还可以看出, 苗越小, 红豆草比苜蓿的光能利用优势越大。这可以由苜蓿苗期叶面积太小, 生长过于缓慢, 光能漏失地面较多来解释。苗龄2个月的牧草光能利用率比11个月龄的牧草低得多, 叶面积系数太小和测定期间入射的光能较多(见表4)可能是两个重要的原因。

从上述比较可以看出, 在叶片净光合速率、单叶与群体光能利用率、根瘤固氮量和叶片用水效率等方面, 红豆草均略优于苜蓿。因此, 应该在荒山坡地上进一步推广种植红豆草, 充分发挥其光能利用潜力。

表 3 红豆草和苜蓿根瘤固氮的能量消耗
Table 3 The energy consumption for nitrogen fixation by the nodules of sainfoin and alfalfa

项 目	植 物 名	红 豆 草	苜 蓿	注
根瘤量(g鲜重/m ²)		32.2	0.27	
根瘤活性 (nmol C ₂ H ₄ mg ⁻¹ 鲜瘤min ⁻¹)		0.117	0.369	
总固氮量(mol C ₂ H ₄)		5.425 × 10 ⁻³	1.435 × 10 ⁻³	10天, 1m ² 土地
(mol N ₂)		1.808 × 10 ⁻³	0.478 × 10 ⁻³	1C ₂ H ₄ 相当于1/3N ₂
(g N ₂)		0.506	0.013	N ₂ 分子量28
固氮的葡萄糖消耗(g)		10.12	0.26	按每固定1gN ₂ 消耗20g葡萄糖计
固氮的能量消耗(kJ)		158.0	4.1	按每摩尔葡萄糖含能量2809kJ计

根瘤取自苗龄11个月的2年生牧草。

表 4 红豆草和苜蓿的群体光合效率
Table 4 Photosynthetic efficiency in the canopies of sainfoin and alfalfa

植 物 名	红 豆 草	苜 蓿	春 小 麦	红 豆 草	苜 蓿
苗 龄 (月)	11	11	2	2	2
能量输入 (kJ/m ² /10 or 12 d)	139211	134659	122762	229825	228646
干重增加 (g)	64.65	18.95	113.0	34.0	4.4
净光合生产 (g)	58.2	17.1	101.7	30.6	4.0
粗光合生产 (g)	87.3	25.7	152.6	45.9	5.9
干物质含能 (kJ)	1362	401	2381	716	92
固氮耗能 (kJ)	158	4.1	0	2.1	0.5
能量输出 (kJ)	1520	405.1	2381	718.1	92.5
效 率 (%)	1.1	0.3	1.9	0.3	0.04
叶面积系数	0.8	0.3	1.5	0.3	0.04

注: 两次干重增加分别于1987年6月8—16日(10天, 牧草为2年生, 苗龄11个月; 红豆草为开花结实期, 苜蓿为分枝期; 小麦苗龄2个月, 孕穗期)、1988年6月10—22日(12天, 牧草为1年生, 苗龄2个月)测定, 表中11个月牧草的固氮耗能值取自表3。2个月牧草的固氮耗能值, 红豆草根据固氮活性实测结果计算, 方法同表3(根瘤量为每平方米0.75g, 根瘤活性为0.075nmol C₂H₄mg⁻¹鲜瘤min⁻¹); 苜蓿因根瘤量太少(每平方米仅0.004g), 无法测定活性, 表中固氮耗能值系按11个月龄苜蓿根瘤活性估算。

许大全 丁焕根 苏丽英 於新建 夏叔芳

Xu Da-Quan, DING Huan-Gen, Su Li-Ying, Yu Xin-Jian, Xia Shu-Fang

(中国科学院上海植物生理研究所)

(Shanghai Institute of plant physiology, Academia Sinica)

张 志 芳

Zhang Zhi-Fang

(甘肃省饲草饲料技术推广总站)

(Forage Grass Extension Station of Gansu province)

王 素 香

Wang Su-Xiang

(甘肃省科学技术委员会)

(Gansu provincial Commission of Science and Technology)