

甘肃陇东南紫花苜蓿 土壤水分利用程度的评估研究

蒲金涌^{1,2}, 姚晓红¹, 胡利平¹, 许彦平¹, 刘彩花¹, 汪丽平³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730010;

2. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020; 3. 甘肃省清水县气象局, 甘肃 清水 741400)

摘 要: 通过种植试验分析, 用数理统计方法模拟了紫花苜蓿生物量累积过程及土壤水分消耗过程, 揭示了紫花苜蓿的生物量累积特点及其土壤水分利用规律。发现1年生紫花苜蓿在开花期物质累积以地上为主, 干物质上/下比可达2.92; 开花以后逐渐以地下部分为主, 到收刈期干物质上/下比为0.57。紫花苜蓿的田间贮水量小于粮食作物, 耗水量大于粮食作物。紫花苜蓿的土壤利用率大于粮食作物, 是小麦的2.1~2.8倍, 玉米的2.0~2.5倍。

关键词: 紫花苜蓿; 土壤水分利用; 评估

中图分类号: S551⁺.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2006)02-0100-05

1 资料及试验方法

甘肃陇东南地区的渭河流域, 是渭河上游区域。地处半湿润、半干旱气候过渡带, 年降水量为400~500 mm, 水土流失比较严重, 生态环境蠕变趋坏。合理利用自然资源, 延缓环境蠕变进程, 优化农业结构, 规模种植牧草, 发展畜牧业是一项有益的尝试。

紫花苜蓿是甘肃省的优良人工草种之一, 气候适应力强, 含有丰富蛋白质和多种维生素, 家畜适口性好, 在甘肃各地有着广泛的种植基础^[1~2]。为了探索其生长规律, 2003~2004年在水天农业气象试验站、清水县气象站进行紫花苜蓿的种植试验。试验地段位于气象观测场的旁边, 试验期间取常规气象观测作为平行观测资料, 按照《农业气象观测方法》进行紫花苜蓿的生育观测、生长量测定、生长速度及地下根茎的测定^[3], 天水农业气象试验站同时在同一地段进行冬小麦、玉米的常规物候观测及生长量的测定。从苜蓿及冬小麦的返青时的2月下旬开始进行土壤湿度的测定, 每月的8、18、28日进行测定, 每间隔10 cm取一样本, 测定深度小麦、苜蓿为100 cm, 玉米为50 cm。测定时间持续到土壤冻结(11月下旬或12月), 玉米田从播种旬始(5月上旬)到收获旬止(9月下旬)。共获取资料82份, 试验期间2003

年为多雨(降水距平55%)年型, 2004年为少雨(降水距平-25%)年型。

2 紫花苜蓿的生物量积累特点

2.1 紫花苜蓿的物候期

统计了不同年生紫花苜蓿各生育期的气象指标, 以期探讨其物候特点, 其中生长期间的辐射量由经验公式推算得出^[4]。紫花苜蓿在陇东南地区种植, 播种~收刈一般需要134 d, 2年生出苗~收刈120 d(表1), 出苗~收获太阳辐射为2 148.8 MJ。全生育期需要 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温2265.1($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$), 2年生的苜蓿不需要经过播种~出苗生育段, 全生育期需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温1 534.8($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)。在出苗以后的发育阶段中, 当年春天播种与2年生同样的生育时段所需热量不尽相同, 一般2年生的发育比较紧凑, 生育时段相对较短, 相差25%左右, 现蕾~开花期相差最大达48%。究其原因, 可能是2年生紫花苜蓿根系比较发达, 养分、水分输送比较畅通, 生长节奏加快之故, 热量利用亦显得比较经济。水分条件不是紫花苜蓿生长的主要限制因素, 无论是少雨年型或者是多雨年型, 紫花苜蓿都能正常生长, 达到籽粒成熟, 陇东南地区降水是能够满足苜蓿生长的。

春天播种紫花苜蓿出苗所需积温基本上与玉米相当(表2)。生殖生长盛期(开花~收获)所需积温与

* 收稿日期: 2005-10-13

基金项目: 甘肃省科技攻关计划“甘肃干旱生态环境对全球气候变暖的响应及减灾技术的研究”(2GS042-A44-017); 中国气象局兰州干旱气象研究所开放实验室基金资助。

作者简介: 蒲金涌(1960-), 男, 甘肃天水市人, 高级工程师, 主要从事应用气象试验研究工作。E-mail: pujinyong6@163.com

小麦相当。全生育期所需积温比小麦偏多19%，比玉米偏少30%。

表1 紫花苜蓿生育期气象条件
Table 1 The meteorological condition in the growth period of alfalfa

生育期 Growth period	播种 Sowing	出苗 Emergence	分枝 Divarication	现蕾 Bud emergence	开花 Flowering	结荚 Pod setting	收获 Reaping	Σ
一年生 First year 日期(月·日) Date(m·d)	03-08	04-01	05-01	06-01	06-20	07-01	07-20	
辐射 Radiation(MJ)		258.4	511.6	544.7	300.2	348.7	185.2	2148.8
≥0℃ 积温(℃·d) ≥0℃accumulated temperature		219.2	447.4	524.4	388.2	468.8	217.1	2265.1
降水 Precipitation (mm)		12.3	8.9	33.6	35.3	31.2	17.2	138.5
间隔天数 Duration(d)		22	30	31	20	21	10	134
二年生 Second year 日期(月·日) Date(m·d)		02-29	04-18	05-18	05-28	06-18	06-28	
辐射 Radiation(MJ)			642.9	528.0	202.9	314.9	198.3	1887.0
≥0℃ 积温(℃·d) ≥0℃accumulated temperature			370.3	426.1	172.7	350.0	215.7	1534.8
降水 Precipitation (mm)			18.7	41.6	29.2	1.4	90.9	
间隔天数 Duration (d)			49	30	10	21	10	120

表2 紫花苜蓿与同地段的粮食作物生育期热量条件比较(≥0℃ 积温) (℃·d)
Table 2 The heat condition during the growth period of
alfalfa and that of grain crops (≥0℃ accumulated temperature) (℃·d)

作物 Crops	播种~出苗 Sowing~emergence	出苗~开花 Emergence~flowering	开花~收获 Flowering~reaping	Σ
苜蓿 Alfalfa	219.2	1360.0	685.9	2265.1
小麦 Wheat	121.8	1058.8	720.7	1901.3
玉米 Corn	212.7	1916.6	1100.8	3230.1

2.2 紫花苜蓿物质累积规律

1年生与2年生的紫花苜蓿的物质累积量变化是不相同的(表3,表4)。植株高度增长速度2年生比1年生略大,植株增长高度比较迅速的时期是开花以前,尤其是分枝~现蕾阶段,可达6.9~2.4 cm/d,开花以后其高度增长相对较小,为0.2~0.3 cm/d。紫花苜蓿可以刈收的高度为43~60 cm。

紫花苜蓿不同其它季节性植物,为多年宿根性,地上茎、叶生长的同时,地下根茎也同时伸长、下扎。就单株苜蓿的生物累积量而言,整株鲜物重累积速度最大的时段在开花前后,1年生可达0.20 g/d,2年生可达0.23 g/d。一年生紫花苜蓿单株地上茎叶生长与地下根茎生长特点各不相同。出苗~开花期,此阶段地上鲜物质累积是地下的2.7~4.7倍,干物质累积2.7~2.9倍,紫花苜蓿的物质累积以地上为

主,是地上茎叶的旺盛生长阶段,而在开花期以后,地上茎叶生长速度明显变慢,物质累积由地上为主转为地下根茎为主。地上/地下鲜物重比值为0.72~1.91,干物重比为0.6~1.5。2年生紫花苜蓿由于收割的冬季地上部分停止生长,故地上/地下除在现蕾前为1.12,其余各个时段均在0.5~1.0之间,紫花苜蓿的整株物质累积以地下为主。紫花苜蓿的生物量(y)与时段≥0℃ 积温(x)之间存在着较明显的相关关系。拟合方程为:

$$y = a + bx \tag{1}$$

方程(1)比较好地反映了这种关系(表5)(**通过信度为0.001的假设检验)。积温反映1年生与2年生紫花苜蓿的生物累积量比较一致。只是2年生的方程斜率比1年生大1个量级。表明2年生的紫花苜蓿物质累计速度远大于1年的。

表3 1年生紫花苜蓿生物量累积

Table 3 The accumulated biomass of first-year alfalfa

生物量 Biomass	测定日期 Date (m·d)						
	06-08	现蕾 Bud emergence 06-15	06-18	开花 Flowering 06-28	07-08	结荚 Pod setting 07-28	籽粒成熟 Ripeness 09-10
鲜重 上 Above-ground (g)	3.22	4.40	5.16	7.86	8.08	11.22	12.24
Fresh 下 Under-ground (g)	0.34	0.67	0.82	1.45	2.12	7.06	14.08
weight 整株 Whole plant (g)	1.95	2.87	3.40	5.38	6.16	12.17	27.04
干重 上 Above-ground (g)	0.76	1.12	1.36	2.10	2.90	1.91	5.01
Dry 下 Under-ground (g)	0.13	0.21	0.30	0.58	0.98	3.34	7.07
weight 整株 Whole plant (g)	0.51	0.77	0.98	1.63	2.43	5.25	12.08
株高 Plant height (cm)	13.0	15.0	19.0	27.0	29.0	46.0	48.0
根长 Root length (cm)	16.0	17.0	17.0	18.0	19.0	20.0	30.0
地上含水率(%) Water content of above-ground part	76.4	74.6	73.6	69.0	64.1	62.6	59.1
地下含水率(%) Water content of under-ground part	61.8	68.7	63.4	60.0	53.8	52.7	52.2
整株含水率(%) Water content of whole plant	73.8	73.1	71.2	69.7	60.6	56.8	55.3
鲜重上/下(g) Above-ground/ under-ground (fresh weight)	9.47	6.57	6.28	5.42	2.96	1.44	0.82
干重上/下(g) Above-ground/ under-ground (dry weight)	2.92	2.67	2.27	2.69	1.19	0.57	0.71
≥0℃ 积温(℃·d) Accumulated temperature (≥0℃)	1334.5	1469.0	1534.3	1774.3	2005.7	2453.0	3389.8

表4 2年生紫花苜蓿生物累积量

Table 4 The accumulated biomass of second-year alfalfa

测定日期 Date (m·d)	分枝 Divarication 04-28	05-08	现蕾 Bud emergence 05-18	开花 Flowering 05-28	06-08	结荚 Pod setting 06-18	收割 Reaping 06-28	籽粒成熟 Ripeness 09-20
鲜重上 Above-ground (g)	17.7	41.9	43.3	50.4	57.3	69.9	73.1	80.6
Green 下 Under-ground (g)	27.4	37.4	47.2	57.3	64.2	67.1	72.5	93.6
weight 整株 Whole plant (g)	45.1	79.3	90.5	107.7	121.5	137.0	145.6	174.2
干重 上 Above-ground (g)	6.6	13.4	15.4	17.1	19.9	24.1	25.7	33.7
Dry 下 Under-ground (g)	10.2	13.7	17.7	22.9	27.6	32.9	36.2	46.8
weight 整株 Whole plant (g)	16.8	27.1	33.1	40.0	47.5	57.0	61.8	80.5
株高 Plant height (cm)	5.0	29.0	39.0	45.0	48.0	50.0	52.0	54.0
根长 Root length (cm)	80.0	85.0	88.0	95.0	100.0	102.0	108.0	134.0
地上含水率(%) Water content of above-ground part	62.7	68.0	64.4	66.1	65.2	65.5	64.8	58.2
地下含水率(%) Water content of under-ground part	62.3	63.4	62.4	60.0	57.0	51.0	50.1	50.0
整株含水率(%) Water content of whole plant	62.7	65.9	63.4	62.9	60.9	58.4	57.6	53.8
鲜重 上/下 Above-ground/ under-ground (fresh weight)	0.65	1.12	0.92	0.88	0.89	1.04	1.01	0.86
干重 上/下 Above-ground/ under-ground (dry weight)	0.65	0.98	0.87	0.74	0.72	0.73	0.71	0.72
≥0℃ 积温(℃·d) Accumulated temperature (≥0℃)	322.9	636.0	787.1	1012.7	1189.7	1377.5	1633.1	3112.5

表5 紫花苜蓿生物增长量与积温拟合系数

Table 5 The parameters of accumulated biomass of alfalfa simulated with accumulated temperature

Y		a	b	R	F
根鲜重	1年生 First year	-10.19	0.00698	0.98	138.7**
Fresh weight of root (g)	2年生 Second year	25.70	0.03564	0.99	283.1**
整株鲜重	1年生 First year	-15.68	0.012043	0.98	122.2**
Fresh weight of whole plant (g)	2年生 Second year	57.68	0.043633	0.91	30.2**
整株干重	1年生 First year	-7.93	0.005648	0.98	124.4*
Dry weight of whole plant (g)	2年生 Second year	16.65	0.022896	0.95	58.2
根长	1年生 First year	6.82	0.006368	0.96	59.63*
Length of root (cm)	2年生 Second year	74.2	0.019682	0.99	667.3*

3 紫花苜蓿的水分利用

3.1 紫花苜蓿土壤贮水量变化

紫花苜蓿的土壤水分贮量各个深度变化不一,0~100 cm 土层水分贮量高低变化明显,在现蕾期的5月及可刈期的7月紫花苜蓿是贮水量相对较低的时段,在收割后及播种出苗阶段紫花苜蓿保持相对较高的水分贮量。0~50 cm 土层含水总量(图1)表明,在整个生育期间,紫花苜蓿的土壤贮水最小,其次为小麦、玉米相对较多。说明紫花苜蓿对土壤水分的吸收大于粮食作物。

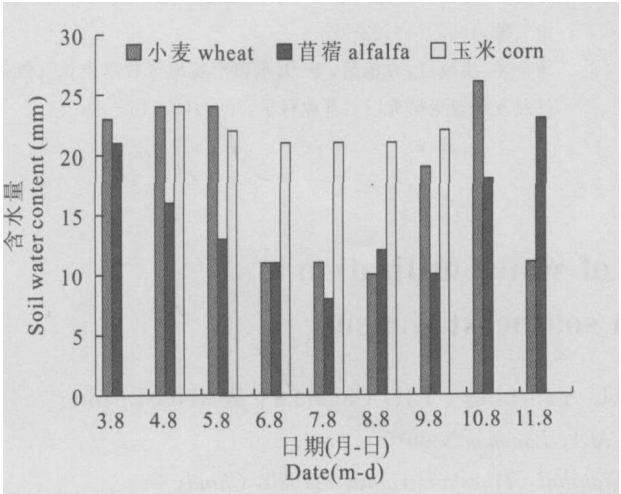


图1 小麦、玉米及紫花苜蓿0~50 cm 土层含水量变化
Fig.1 The variation of soil water content of wheat, corn and alfalfa fields(0~50 cm)

3.2 紫花苜蓿耗水量的变化

植物的耗水量反映了作物利用与大气降水的共同作用的结果,利用简易的水分平衡方程^[5],计算了紫花苜蓿及主要农作物(小麦、玉米)各生育阶段的0~50 cm 土层累积水分消耗量。植物一生水分的累积消耗,比较严格地遵循Logister 曲线变化,用每旬开始测定的旬序数为变量(t) (苜蓿3月下旬 $t=1, \dots, 9$ 月上旬 $t=18$;小麦3月中旬 $t=1, \dots, 6$ 月中旬 $t=8$;玉米5月中旬 $t=1, \dots, 9$ 月下旬 $t=13$),逐旬的土壤

累积耗水量变化拟合结果(* *表示信度为0.01的假设检验)为:

苜蓿 $y=357.4241/[1+\text{EXP}(2.7089998+(-0.3044396t))] F=218.13^{**}$

小麦 $y=419.1353/[1+\text{EXP}(2.2655747+(-0.2957204t))] F=170.93^{**}$

玉米 $y=334.7134/[1+\text{EXP}(2.541467+(-0.3265715t))] F=173.83^{**} \quad (2)$

方程(2)比较好地描述了试验植物累积耗水量的动态变化。

依据拟合曲线,取二阶导数,令 $y''=0$,计算小麦、玉米、苜蓿的最大耗水量($\text{Max}=-a/b$)时段,小麦为拔节~抽穗($t=7$)的4月下旬~5月上旬,玉米为抽雄~开花($t=7$)的7月中旬~7月下旬,苜蓿为现蕾~开花($t=8$)的5月下旬~6月上旬,均为植物需水的临界时段,与实际比较吻合。

试验植物的经济学产量都集中在地上部分,紫花苜蓿也不例外。不计植物的地下根茎生长,地上部分2年紫花苜蓿的土壤水分利用率高于1年生(表6)。可能这是因为2年生的紫花苜蓿根系发达,分布密集,土壤水分有效利用程度高之缘故,紫花苜蓿的土壤水分利用率远大于粮食作物,是小麦的2.1~2.8倍,玉米的2.0~2.5倍。

表6 紫花苜蓿与粮食作物的水分利用率 $[g/(m^2 \cdot mm)]$

Table 6 The water use efficiency of alfalfa and grain crops

项 目 Item	1年生紫花苜蓿 First-year alfalfa	2年生紫花苜蓿 Second-year alfalfa	玉米 Corn	小麦 Wheat
水分利用率 Water use efficiency	15.8	20.5	8.1	7.3

3.3 土壤干层的深度变化

土壤干层是指在植物生长利用水后,某一层次的土层土壤湿度迅速降低,低于上、下层次,标志着大气降水下渗的下限,土壤深层水分上升的上限或土壤水分上下交换的零界面层。在数值上尚无精确

的界定。把土壤水分占田间持水量 $\leq 40\%$ (重旱)作为干层的标志,在试验期间,2004 年由于降水偏少,无论是紫花苜蓿或是小麦,在植物萌发生长的 3 月上旬土壤 60~90 cm 分别出现了土壤干层(图 2)。随着时间的推移,植物生长旺盛,土壤水分消耗加大,土壤干层迹线逐渐上升,土壤干层深度及持续时间随之增大。小麦在 5 月上升至 10 cm,紫花苜蓿在 7 月上升至地表。紫花苜蓿土壤干层时间及深度远大于粮食作物。

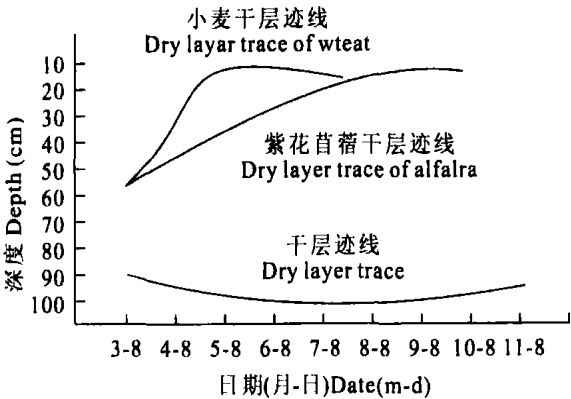


图 2 小麦、紫花苜蓿土壤干层迹线变化
Fig. 2 The variation of soil dry layer trace of wheat and alfalfa fields

4 结论与讨论

1) 与粮食作物相比,紫花苜蓿适应性在土壤水

分利用及光能利用都有比较明显的优势^[6],是甘肃陇东南地区推广种植首选草种之一。

2) 当年春季播种的紫花苜蓿在营养生长阶段(出苗~开花前后)物质累积主要以地上为主,而在开花以后物质累积以地下为主。干物质上/下比变化在 2.92~0.57。

3) 紫花苜蓿的水分利用率明显高于粮食作物,是小麦的 2.1~2.8 倍,是玉米的 2.0~2.5 倍。

4) 紫花苜蓿根系发达,水分利用彻底,贮水量小于粮食作物,耗水量大于粮食作物,土壤干层出现深度及时段远大于粮食作物。

参 考 文 献:

[1] 余优森. 人工牧草气候适应性分析[J], 农业气象, 1984, 6(1), 332-36.
[2] 杨小利. 陇东春播紫花苜蓿生长及水分规律研究[J], 干旱地区农业研究, 2002, (4): 126-130.
[3] 中国气象局. 农业气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1993. 29-30.
[4] 蒲金涌, 姚晓红, 尹 东, 等. 紫花苜蓿及主要粮食作物各生育时段叶面积指数及光能利用率比较[J]. 中国农业气象, 2005, 26(1): 31-33.
[5] 蒲金涌. 陇东旱作麦田累积耗水量变化及其产量的关系[J]. 甘肃气象, 1993, (4): 22-23.
[6] 蒲金涌, 姚晓红, 方德彪, 等. 天水市南麓地区牧草生长气候条件及发展对策研究[J], 草业科学, 2003, (8): 18-20.

A study on estimation of water utilization
in field of alfalfa in southeast Gansu

PU Jin-yong¹², YAO Xiao-hong², HU Li-ping², XU Yan-ping², LIU Cai-hua², WANG Li-ping³
(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730010, China;
2. Agro-meteorological Experiment Station of Tianshui, Tianshui, Gansu 741020, China;
3. Qingshui Meteorological Bureau, Qingshui, Gansu 741400, China)

Abstract: Based on the results of experiments, the process of biomass accumulation and soil water consumption of alfalfa has been simulated with mathematical statistical method, so as to find the character of its accumulated biomass and the law of soil water utilization. It was discovered: before blooming, the accumulation of biomass of first-year alfalfa was mainly concentrated in the above-ground part, and the ratio of above-ground to underground dry matter was 2.92; but after blooming, the accumulation of biomass was turned mainly to the underground part, and the ratio of above-ground to underground dry matter was 0.57. The soil water storage in the field of alfalfa was less than that of grain crops, and the water consumption in the field of alfalfa was larger than that of grain crops. The rate of soil water utilization of alfalfa was 2.1 to 2.8 times that of wheat, and 2.0 to 2.5 times that of corn.

Key words: alfalfa; soil water utilization; estimation