

半干旱区紫花苜蓿地上干物质质量增长动态

石 界^{1,2}

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省定西市农业气象试验站, 甘肃 定西 743000)

摘 要:根据甘肃半干旱地区紫花苜蓿试验资料, 用 Logistic 方程描述干物质增长规律, 建立模型, 分析其干物质变化特性, 得出甘肃半干旱区紫花苜蓿生长特点。

关键词:紫花苜蓿; 干物质质量; 动态

中图分类号:S165⁺.27

文献标识码:A

紫花苜蓿是我国栽培历史最久、分布最广、种植最多的优良豆科牧草。紫花苜蓿具有产量高、品质好、蛋白质含量高、适口性好等特点, 被誉为“牧草之王”。同时, 它能保持水土、培肥地力、增加饲料, 对改善农牧业生态环境、促进畜牧业发展有重要作用。其地上生物量受气候生态因子和自身内部因子制约, 苜蓿与气象条件^[1]及多种内部因子^[2]的研究较多, 但研究其在半干旱地区生育期较短自然条件下的生长规律, 较为少见, 本文就此加以探讨。陇中地处甘肃中部, 是半干旱农牧交错过渡带, 水土流失严重, 生态环境非常脆弱。我们选用人工紫花苜蓿草地, 对同一生育年龄的紫花苜蓿草地进行观察测定, 以揭示紫花苜蓿地上干物质质量在不同年景条件下随时间变化的规律, 提出最佳刈割期。

1 试验地基本情况

试验地位于定西市安定区凤翔镇石坪村, 东经 104.64°, 北纬 35.55°, 海拔高度 1 910 m。年平均气温 6.7 °C, 年降水量 386.6 mm, ≥ 0 °C 积温 3 004.2 °C, 无霜期 140 d。土壤类型属黄壤土、碱性, 土层深厚, 瘠薄。该地为典型的雨养农业区, 气候干燥, 气象灾害频繁, 干旱与冰雹为当地主要气象灾害, 制约着农牧业的发展。

2 材料与方法

试验品种为陇中紫花苜蓿, 3 a 生, 生长期内收

割 2 茬, 第 3 茬生长高度在 10 cm 以下。2004 年第 1 茬 3 月 27 日开始返青, 6 月 24 日开花普期, 6 月 30 日刈割。第 2 茬生长期是 7 月 1 日至 9 月 20 日 (萌芽至开花普期), 9 月 28 日刈割。10 月 29 日为枯黄期, 全年共测定干生物量 15 次。2005 年第 1 茬 4 月 4 日开始返青, 6 月 21 日开花普期, 6 月 29 日刈割。第 2 茬生长期为 6 月 30 至 9 月 10 日, 11 月 20 日为枯黄期, 全年共测定干生物量 15 次。每茬从返青或萌芽 10 ~ 15 d 后至开花普期, 每旬末进行地上生物量的测定。开花普期后全部进行刈割, 刈割时留茬 10 cm, 干物重测定每次取 4 个重复, 每个重复 0.5 m × 0.5 m, 总和为 1 m², 齐地面取样。本实验资料共观测 2 a (2004、2005), 气象资料全部采用安定区气象站地面观测资料, 2005 年 5 月 24 日出现冰雹, 对紫花苜蓿有一定影响, 但由于紫花苜蓿处于快速生长期, 短期内已经恢复正常生长, 本文对观测值仍按正常值进行处理。文中数据分析用 DPS^[3] 软件进行统计分析, 绘图用 Excel。

3 生长模型拟合结果与分析

3.1 地上干物质质量动态生长模型——Logistic 生长曲线^[4]

苜蓿地上生物量呈“缓慢生长—积极生长—缓慢生长”的生长过程。它的特点是开始生长较为缓慢, 随着时间的推移 (或温度的升高), 在某一段时间内增长速度很快, 当达到某一值后, 增长速度又趋

收稿日期: 2006-09-17; 改回日期: 2007-03-14

基金项目: 兰州区域气象中心开放实验室项目“农牧区草业生态观测试验及气候对草业生产影响评估方法研究” (Lab2002-4) 资助

作者简介: 石界 (1974-), 甘肃静宁人, 工程师, 从事农业气象应用及服务。E-mail: nszsj@tom.com

于缓慢,直至最后停止生长。这一特点符合 Logistic 生长曲线,其一般式为:

$$y = \frac{k}{1 + e^{a-bx}} \tag{1}$$

式中 y 为群落地上生物量,单位为 g/m^2 ; x 为紫花苜蓿从返青至某一生长期的生长天数; k 为该生长条

件下生物量的最大值; a 、 b 均为系数。本文采用 DPS 分析软件中的数学模型,以一元非线性回归模型中 Logistic 方法进行数据处理、分析,得出结果。

3.2 第 1 茬苜蓿拟合分析

将 2004 年及 2005 年第 1 茬观测值带入统计软件 DPS 中,用 Logistic 方法进行数学模型拟合,经统计分析得出结果如表 1。

表 1 2004、2005 年第 1 茬苜蓿生长天数与地上干物质质量拟合

Tab. 1 The growing days of the first cut alfalfa and the Logistic fitting of the dry matter amount in the year of 2004 and 2005

2004 年			2005 年		
生长天数/d	实测干物质质量/ $g \cdot m^{-2}$	Logistic 拟合/ $g \cdot m^{-2}$	生长天数/d	实测干物质质量/ $g \cdot m^{-2}$	Logistic 拟合/ $g \cdot m^{-2}$
25	64	68.4555	17	136	187.3755
35	200	138.2288	25	240	259.7322
45	280	260.9645	37	440	400.6242
55	350	442.0990	46	620	525.1806
66	700	670.5606	58	600	695.5421
76	880	846.1073	68	800	822.1046
86	970	962.3594	78	950	923.2328
96	1000	1027.5024	87	1000	990.8259

解得 2004 年的 $k = 1\,090.7624$, $r^2 = 0.9842$, $a = 4.6372$, $b = 0.0773$ 。对回归方程进行 F 效果检验,计算得 $F = 155.7266$, 检验水平 $p < 0.001$, 表示回归方程的回归效果是极显著的。同样,求出 2005 年的各特征值: $k = 1\,134.2533$, $r^2 = 0.9654$, $b = 0.0508$, $a = 2.4829$ 。对回归方程进行 F 效果检验,计算得 F

$= 69.7638$, 检验水平 $p < 0.001$, 同样表示回归方程的回归效果是极显著的。2 a 内各生物量的最大值分别为 $1\,090.7624\,g/m^2$ 和 $1\,134.2533\,g/m^2$, 2005 年比 2004 年多 $43.4909\,g/m^2$ 。2004 年生长曲线如图 1、2005 年生长曲线如图 2。

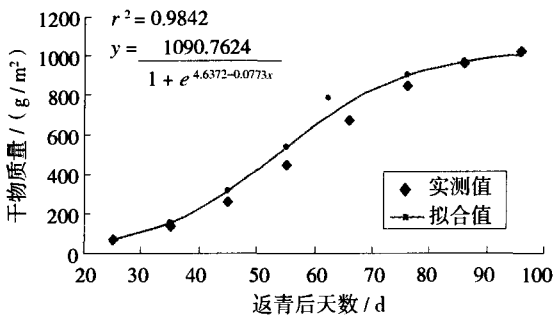


图 1 Logistic 方程拟合 2004 年第 1 茬苜蓿干物质生长模型

Fig. 1 The fitting curve of dry matter amount of the first cut alfalfa in 2004 with Logistic equation

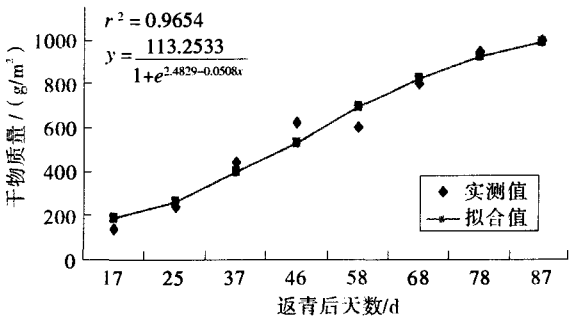


图 2 Logistic 方程拟合 2005 年第 1 茬苜蓿干物质生长模型

Fig. 2 The fitting curve of dry matter amount of the first cut alfalfa in 2005 with Logistic equation

3.3 第 2 茬苜蓿拟合分析

第 2 茬苜蓿由于生育期短,其生长量远不如第 1 茬,为了便于分析比较,对第 2 茬苜蓿仍进行拟合分析。解得 2004 年第 2 茬的 $k = 651.1802, r^2 = 0.9288, a = 4.2568, b = 0.1144$ 。对回归方程进行 F 效果检验,计算得 $F = 26.0895$, 检验水平 $p < 0.01$, 表示回归方程的回归效果是显著的。同样,求出 2005 年第 2 茬的各特征值: $k = 619.0501, r^2 = 0.9812, b =$

$0.1360, a = 4.6393$ 。对回归方程进行 F 效果检验,计算得 $F = 104.1546$, 检验水平 $p < 0.001$, 同样表示回归方程的回归效果是极显著的。2 a 内各生物量的最大值分别为 651.1802 g/m^2 和 619.0501 g/m^2 , 2004 年比 2005 年多 32.1301 g/m^2 。表 2 为 2004、2005 年第 2 茬观测值及求得的解,2004 年第 2 茬生长曲线如图 3,2005 年第 2 茬生长曲线如图 4。

表 2 2004、2005 年第 2 茬苜蓿生长天数与地上干物质质量拟合

Tab.2 The growing days of the second cut alfalfa and the Logistic fitting of the dry matter amount in the year of 2004 and 2005

2004 年			2005 年		
生长天数/d	实测干物质质量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	Logistic 拟合/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	生长天数/d	实测干物质质量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	Logistic 拟合/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$
20	31	79.8442	11	12	25.6051
31	200	214.7702	21	100	89.0977
40	450	377.4008	32	250	265.4193
51	500	539.9498	42	500	461.3143
62	550	615.1925	50	500	555.1111
72	600	639.2731	63	650	607.1166
82	750	647.3411	73	600	615.9430

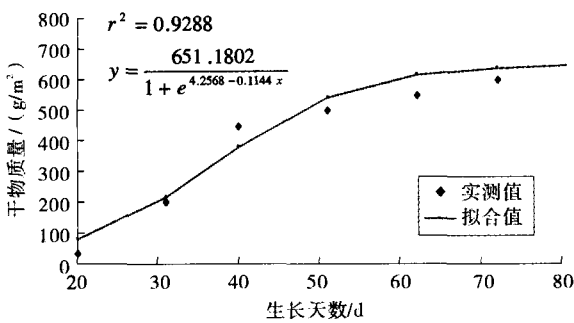


图 3 Logistic 方程拟合 2004 年第 2 茬苜蓿干物质生长模型

Fig.3 The fitting curve of dry matter amount of the second cut alfalfa in 2004 with Logistic equation

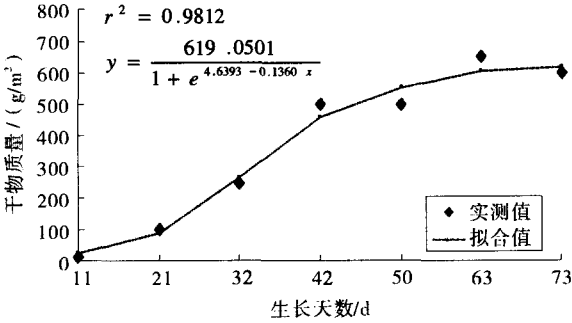


图 4 Logistic 方程拟合 2005 年第 2 茬苜蓿干物质生长模型

Fig.4 The fitting curve of dry matter amount of the second cut alfalfa in 2005 with Logistic equation

3.4 生长特性

(1)为了更好地了解紫花苜蓿在陇中地区的生长发育情况,对(1)式求一阶导数,观察其发育速度:

$$v = \frac{dy}{dx} = \frac{kbe^{a-bx}}{(1 + e^{a-bx})^2}$$

(2)

从(2)式可以看出其发育速度为一抛物线,为求其极值,对(2)式求导得:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = kb^2e^{a-bx} \frac{e^{a-bx} - 1}{(1 + e^{a-bx})^3}$$

(3)

令 $\frac{d^2y}{dx^2} = 0$, 解得 $x_0 = \frac{a}{b}$, 此时地上生物量生长

速度达最大值,而地上生物量 $y = \frac{k}{2}$ 达最大值的一半。

(2)对紫花苜蓿地上生长量的发育速度求其特征量,即对(1)式求三阶导数得:

$$\frac{d^3y}{dx^3} = kb^3 e^{a-bx} \frac{1 - 4e^{a-bx} + e^{2a-2bx}}{(1 + e^{a-bx})^4} \quad (4)$$

令 $\frac{d^3y}{dx^3} = 0$, 求动态模型的 2 个特征点, 即 $1 -$

$$4e^{a-bx} + e^{2a-2bx} = 0, \text{ 解得 } x_1 = \frac{a - \ln(2 + \sqrt{3})}{b}, x_2 =$$

$$\frac{a - \ln(2 - \sqrt{3})}{b}。x_1 \text{ 表示地上生物量由缓慢生长转}$$

为积极生长的转折时间, x_2 表示由积极生长转为缓慢生长的转折时间。对 2004 及 2005 年的苜蓿求其各特征值见表 3。

3.5 气象条件

为能更好地分析甘肃半干旱区紫花苜蓿生长发育中气象条件的影响情况, 结合当地气象条件, 同时将分析及计算结果列于表 3。

从表 3 中可以看出, 2 a 中第 1 茬苜蓿的快速生长始点在返青后的天数相差 20 d, 而 2004 年在苜蓿

表 3 苜蓿生育期天气条件

Tab. 3 The weather condition for each growth phase of alfalfa

	发育期描述	天数/d	发育日期	日平均温度/℃	积温/℃	降水/mm	日照/h
2004	第 1 茬 快速生长始点	43	5 月 8 日	10.3	445.0	12.3	375.9
	日最大生长点	60	5 月 25 日	11.6	697.0	25.9	534.5
	快速生长末点	77	6 月 11 日	12.2	941.5	73.3	675.0
	刈割期	96	6 月 30 日	13.5	1 291.7	87.3	838.5
	第 2 茬 快速生长始点	26	7 月 26 日	19.1	497.8	82.4	218.2
	日最大生长点	38	8 月 7 日	19.4	736.8	100.0	337.4
	快速生长末点	49	8 月 18 日	19.3	944.3	107.7	394.4
	刈割期	82	9 月 20 日	17.8	1 458.7	189.7	610.7
2005	第 1 茬 快速生长始点	23	4 月 23 日	8.0	184.1	27.3	179.1
	日最大生长点	49	5 月 19 日	11.3	556.1	55.9	411.8
	快速生长末点	75	6 月 14 日	13.1	978.8	159.1	639.1
	刈割期	90	6 月 29 日	14.1	1 272.0	184.5	759.4
	第 2 茬 快速生长始点	25	7 月 24 日	19.2	480.8	46.1	163.8
	日最大生长点	35	8 月 3 日	19.5	682.8	81.7	223.9
	快速生长末点	44	8 月 12 日	19.4	853.6	107.7	274.4
	刈割期	73	9 月 10 日	18.6	1 359.0	130.3	459.5

返青到快速生长这一时段内的平均温度比 2005 年高 2.3 ℃, 降水 2005 年比 2004 年多 15 mm, 说明苜蓿返青后到快速生长点这段时间内, 只要温度适宜, 降水越多苜蓿干物质积累速度越快。另外, 第 1 茬的降水量 2005 年比 2004 年偏多 97.2 mm, 而第 2 茬偏少 59.4 mm, 光照差别都较大, 干物质积累最大量不同, 但后期的发育日期基本相同, 说明光照及后期的降水对半干旱区紫花苜蓿发育时间影响较小, 而对干物质质量的积累影响较大。在 2 a 内第 2 茬的平均温度比第 1 茬高, 发育速度明显加快, 发育天数减少, 干物质积累减小。

4 结论与讨论

(1) 甘肃半干旱区紫花苜蓿第 1 茬在返青后 50 ~ 60 d, 即在 5 月下旬, 其地上生物量的日积累速度达到最大值, 为 $v_{\max} = \frac{kb}{4}$, 在 12.0 ~ 14.4 g/m² · d 之间。4 月下旬到 5 月上旬第 1 茬苜蓿转为快速生长, 6 月中旬开始由快速生长转为缓慢生长。第 2 茬苜蓿生物量最大生长点为萌芽后的 36 d 左右, 即生长速度最大时间在 8 月上旬, 萌芽后的 26 d (即 7 月下旬) 开始地上生物量由缓慢生长转为迅速生长阶段, 快速生长 20 d 左右 (即 8 月中旬), 其生长从

迅速生长又转为缓慢生长。

(2)甘肃半干旱区紫花苜蓿在其生长阶段受日照影响较小,降水对地上生物量影响较大,降水偏多,积累干物质时间长,干物质质量积累多。

(3)甘肃半干旱区紫花苜蓿前后 2 茬在生长发育过程中受温度影响较大,第 2 茬平均温度比第 1 茬要高得多,发育速度明显加快,发育期缩短,干物质积累少。

(4)甘肃半干旱区紫花苜蓿 1 a 中只能收割 2 茬,且第 1 茬的生物量要比第 2 茬多,虽然割草不一定能增产^[5],但适宜的割草期可以科学地利用牧草的动态产量。第 1 茬收割太早,其地上生物量未达到最大值,收割太迟,影响第 2 茬的生物量,因此第

1 茬最佳刈割期应在返青后 100 ~ 105 d(7 月初),此时其地上生物量已达最大值。第 2 茬最佳刈割期应在萌芽后 90 d(即 9 月底)。

参考文献:

- [1] 彭玉梅,崔鲜一. 紫花苜蓿生育与气象条件的研究[J]. 内蒙古气象,1996(2):24-26.
- [2] 吴勤,宋杰,牛芳英. 紫花苜蓿草地上生物量动态规律的研究[J]. 中国草地,1997(6):21-24.
- [3] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002. 326-347.
- [4] 李湘阁. 农业气象统计[M]. 南京:南京气象学院,1988.
- [5] 祁如英,汪青春,陈芳. 青海气候条件对牧草再生性影响的研究[J]. 气象,2005(5):21-25.

Dry Matter Amount Growing Trend of Alfalfa in Semi - arid Region of Gansu

SHI Jie^{1,2}

- (1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China;
2. The Agricultural Meteorological Experiment Station of Dingxi, Dingxi 743000, China)

Abstract: Based on the experimental data of alfalfa in semi - arid region of Gansu, the dry matter growing curve is simulated by the Logistic equation, and the variation characteristic of the dry matter is analyzed. Finally, the growing characteristic of alfalfa is obtained in semi - arid region of Gansu.

Key words: alfalfa; dry matter amount; growing trend