

沙打旺形态指数与产草量及水肥关系研究

穆兴民 陈国良 贾恒义

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 叶重、茎重、叶茎比及株高是沙打旺重要的形态学指数。通过盆栽试验,研究了这些形态学指数与产草量的关系,并分析了水肥对这些形态学指数的影响。结果表明:随叶重增加产草量呈幂函数提高;茎重与产草量呈正比关系;随产草量提高叶茎比按负幂函数降低。株高随时间变化呈逻辑斯谛曲线,水肥对沙打旺株高、茎重及叶重呈显著正效应,尤以水分效应显著。

关键词 沙打旺 形态指数 产草量 土壤水分 施肥量

The Relationships of the Morphological Characters with Astragalus Adsurgens between its Forage Yeild and Soil Moisture and Fertilizer

Mu Xingmin Cheng Guoliang Jia Hengyi

(Northwesten Institute of Soil and water Conservation, Chinese Academy of Science
and Ministry of water Resiurces, yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract Leaf weight, stalk weight, leaf and stalk weight ratio and height of *Astragalus Adsurgens* all are morphologically important characteres of its above-ground part. It has been studied that the relationship bewteen those characteres and its forage yeild, as well as impacting of soil moisture and fertilizing amount on those characteres with the plot experiement. The resultes show as following:

The grass yeild increases with leaf weight as the power function:

The grass yeild is directly proportion to its stalk weight.

The ratio of grass leaf and stalk weight decreases with its grass mass as negtive power function. The changes of its height with time can be very good fitted to the Logistic equation. The effect of soil moisture and fertilizing amount on height, stalk weight and leaf weight are all excielently positive, which moisture effect is greater than that of fertilizing amount.

Key words *Astragalus Adsurgens* Morphological character Soil moisture fertilizing amount

1 引 言

沙打旺 (*Astragalus huangheensis*) 是牧草、绿肥和水土保持等兼用型豆科牧草。它具有良好

的抗逆性和高额产量,在黄土高原地区广为种植。水肥是沙打旺生长发育所必需的营养物质,其对沙打旺产草量及养分吸收影响已作报导^{[1][2]}。茎、叶是沙打旺植株重要形态指数,亦是与光合作用密切相关的重要器官;沙打旺的叶片主含蛋白质和脂肪,茎则以粗纤维为主^[3],故叶茎比被认为是衡量沙打旺品质的重要参数。茎、叶和株高除决定于其本身的生物学特性外,还受外界环境条件的影响。本文主要分析沙打旺产草量与叶、茎及株高的关系,进一步研究水肥对沙打旺株高、叶重及茎重的耦合效应,这对进一步分析沙打旺产草量形成的机理和过程具有重要的意义。

2 试验设计

试验于 1989 年~1990 年在中国科学院固原生态站(宁夏回族自治区固原县境内)内进行。试验用盆栽方法。

盆体上表面积(S)为:3.4cm×15.4cm=744.7cm²。盆体积为:3.14×[(15.4cm+12.5cm)/2]×30.8cm=18820cm³。供试土样为细黄土,土壤容重 1.2g/cm³,田间持水量 20%(占干土重%),凋萎湿度 6%(占干土重%)。土壤 PH 为 8.57,有机质 8.2g/kg,NH⁺-N-28.6mg/kg;速效磷 8.3mg/kg,速效钾 119mg/kg。取大田表土,过筛混匀,按设计每盆装干土 20.8kg。

试验于 1989 年开始,第一年每盆灌适量水分以保证正常生长,第 2 年发芽后按设计控制水分。试验为二因素五水平组合设计,共 5×5=25 个处理,每个处理 3 个重复,共计 75 盆,试验因素与水平编码如表 1。

表 1 试验因素与处理水平编码

试验因子		单位	间距	水平编码与处理				
				-2	-1	0	1	2
水分 x ₁		(%)	2	8	10	12	14	16
肥料 x ₂	N	g/盆	0.270 4	0.187 2	0.457 6	0.748 8	1.019 2	1.289 6
	P ₂ O ₅	g/盆	0.374 4	0.374 4	0.748 8	1.102 4	1.476 8	1.851 2
	K ₂ O	g/盆	0.374 4	0.181 7	0.561 6	0.915 2	1.289 6	1.664 0

3 结果分析与讨论

3.1 试验结果

不同水肥处理下,第 2 年第一茬沙打旺的产草量、叶重、茎重及株高动态的测定结果如表 2。

表 2 试验处理及试验结果

项目 处理	处 理		产量 (g/盆)	叶重 (g/盆)	茎重 (g/盆)	叶茎比 (%)	株高(cm)和时间(月.日)					
	肥料	水分					0501	0511	0521	0531	0611	0621
1	-2	-2	63.70	27.33	36.37	75.1	3.0	7.3	10.5	17.1	26.6	38.1
2	-2	-1	96.07	40.57	55.50	73.1	3.3	6.6	14.6	24.9	34.2	46.8
3	-2	0	131.46	47.82	83.64	57.2	3.3	7.3	15.3	28.9	50.7	62.6
4	-2	1	147.13	54.94	92.19	59.6	3.2	7.3	14.7	35.3	54.8	67.5
5	-2	2	145.35	52.02	93.33	55.7	3.1	8.0	14.9	33.9	50.0	63.9
6	-1	-2	67.30	31.03	36.27	85.6	3.0	6.0	11.5	226.8	34.2	41.7
7	-1	-1	116.05	48.85	67.20	72.7	3.1	6.8	15.0	28.6	45.6	55.9
8	-1	0	139.07	53.43	85.64	62.4	3.1	7.2	15.1	31.3	50.7	61.7
9	-1	1	164.22	60.74	103.48	58.7	2.7	7.2	14.4	34.2	55.5	66.8
10	-1	2	159.71	58.47	101.24	57.8	2.7	7.7	15.1	35.1	50.8	62.5

续 表 2

项目 处理	处 理		产量 (g/盆)	叶重 (g/盆)	茎重 (g/盆)	叶茎比 (%)	株高(cm)和时间(月.日)					
	肥料	水分					0501	0511	0521	0531	0611	0621
11	0	-2	75.55	35.27	400.28	87.6	3.1	6.5	10.7	26.0	34.8	42.8
12	0	-1	100.07	38.80	61.27	62.8	3.2	6.5	14.3	28.6	44.7	54.2
13	0	0	137.50	52.00	85.50	60.8	4.8	9.1	16.2	32.1	44.8	59.9
14	0	1	166.77	58.37	108.40	53.8	3.5	7.5	15.2	34.5	55.0	68.5
15	0	2	193.10	67.58	125.52	53.8	3.7	9.1	15.8	35.8	50.9	62.9
16	1	-2	97.89	36.82	61.07	60.3	3.2	6.6	12.9	26.0	34.5	44.1
17	1	-1	119.71	44.98	74.73	60.1	3.0	6.8	14.7	28.6	45.1	55.2
18	1	0	146.78	55.77	91.01	61.3	3.8	8.1	14.8	31.7	51.2	62.9
19	1	1	172.97	59.56	113.41	52.5	3.0	7.3	14.6	34.1	55.4	68.8
20	1	2	181.03	63.63	117.40	54.2	2.6	8.4	14.4	35.5	30.9	63.3
21	2	-2	60.04	27.22	32.82	82.9	2.7	5.9	11.0	16.4	26.7	37.9
22	2	-1	114.89	43.1	71.78	60.1	3.2	7.0	14.4	28.5	45.4	54.5
23	2	0	145.37	54.43	90.94	59.8	3.1	7.3	15.0	31.3	51.2	62.9
24	2	1	171.51	56.60	114.91	49.3	3.9	8.7	15.4	34.7	52.0	57.9
25	2	2	194.71	69.09	125.62	55.0	3.0	8.5	15.6	36.2	51.8	64.3

3.2 叶重、茎重与产草量关系

沙打旺产草量与叶重、茎重及叶茎比关系见图 1、表 3。

表 3 沙打旺产草量与叶、茎重、叶茎比关系方程

项 目	关系式	方差比	相关系数 R
叶重(LW)与产草量(Y)	$Y = 0.210 LW^{1.331}$	863.0	0.987
茎重(SW)与产草量(Y)	$Y = 14.165 + 0.677 SW$	2006.8	0.994
产草量(Y)与叶茎比(LSR)	$LSR = 4.174 Y^{-0.395}$	83.6	0.887

注:各方程的 F 检验在 0.01 信度时临界方差为 7.72。

由图 1、图 2 及表 3 表明:沙打旺产草量随叶重提高而增加,二者之间呈幂函数关系,其相关系数 $R = 0.987$,相关显著;茎重与产草量间关系呈正比,其直线相关系数 r 达 0.994,达极显著水平;叶茎比与产草量的关系(图 2),随产草量增加,叶茎比呈幂函数降低,其函数相关系数 R 达 0.888,这是由于叶及茎重随产草量变化曲线方程差异所致,按叶及茎营养成份差异及其二者为牲畜利用的不同^{[3][5]}综合分析产草量、叶茎比及其它条件参数,确定适时放牧或刈草时期。

3.3 水肥对沙打旺叶及茎重的影响

表 4 模型效果检验

项 目	叶重模型	茎重模型
回归平方和 U	3220.54	18154.97
误差平方和 Q	195.54	1140.45
自由度 f_1/f_2	5/19	3/21
方差 F	62.5	111.4
临 F(0.01)	4.17	4.87
复相关系数 R	0.971	0.970
均方误 S	7.18	7.36

用表 2 资料建立水肥因素与叶重、茎重关系

函数如下:

$$Y_{叶} = 54.32 + 1.275x_1 + 7.603x_2 + 0.684x_1x_2 - 1.015x_1^2 - 1.378x_2^2$$

$$Y_{茎} = 88.39 + 4.278x_1 + 18.290x_2 - 2.807x_2^2$$

式中: $Y_{叶}$ 、 $Y_{茎}$ 分别表示沙打旺叶和茎的干重; x_1 、 x_2 分别为肥料和水分的水平编码值。模型检验见表 4。表明拟合效果理想,均达 0.01 的极显著性水平。

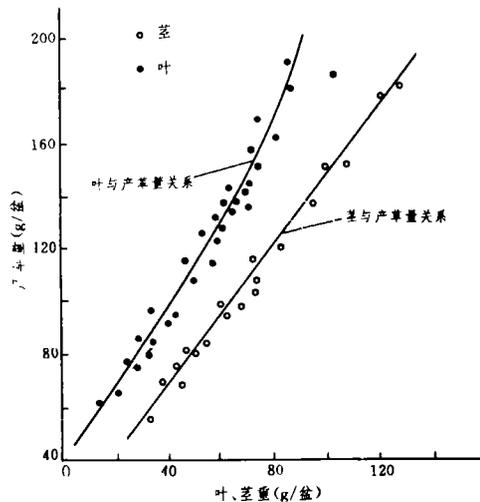


图 1 叶重、茎重与产草量关系

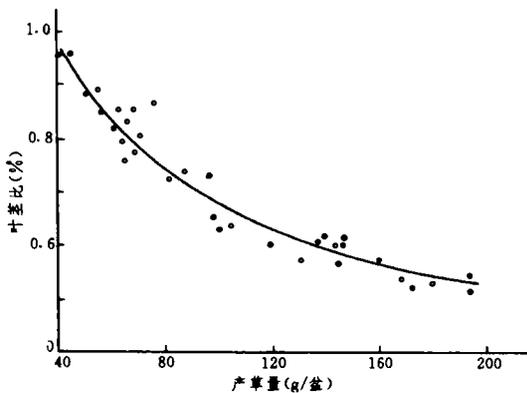


图 2 叶茎比与产草量的关系

由上述关系可知, (1)水肥对沙打旺叶、茎重都有显著正效应, 水分主效应大于肥料的主效应, 对叶重, 水的主效应(7.60)为肥的主效应(1.275)的 6.0 倍; 对茎重, 水主效应(18.29)为肥的主效应(4.28)的 4.3 倍。(2)水肥对茎重的主效应大于对叶重的主效应, 即水肥每变化一个单位, 茎重增加量大于叶重增加量。

3.4 株高变化动态及其与产草量关系

3.4.1 株高动态变化 植株高度的动态变化是植物生物学特性与外界环境因素综合作用的结果。不同水肥条件下, 沙打旺株高动态变化过程如图 3(A、B), 它可用 Logistic 方程描述。即

$$H(t) = K[1 + a \cdot \exp(-bt)]$$

式中: $H(t)$ 为 t 时刻的株高 (cm), t 为时间, 5 月 1 日时 $t = 1$, 5 月 11 日时 $t = 2$, 依次类推; K 、 a 、 b 分别为参数。

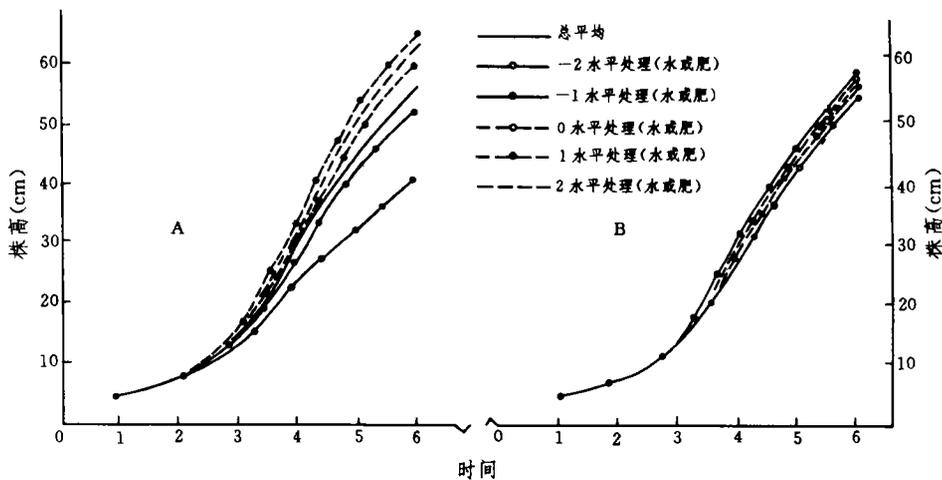


图 3 不同水肥条件下沙打旺株高动态变化

据文献^[4]对 Logistic 方程的表述,K 表示不同水肥条件下沙打旺株高生长上限;曲线拐点为 $(\ln(a/b), k/2)$,它表示在该点之前,随时间推移,株高增长速率逐渐增大,之后则逐渐开始减小。株高最大生长速率为 $V_{max} = K \cdot b/4$ 。

应用非线性最小二乘法拟合结果及方程特征点见表 5。结果表明拟合效果极为良好,相关系数均在 0.999 以上。图 3 及表 5 表明:就平均而言,沙打旺株高生长上限为 67.2cm,拐点出现于 6 月 2 日左右,其最大增长速率 16.60;(2)不同水分条件下株高生长理论上限 K 变化于 52.2~74.9cm 之间,随含水量提高,K 值逐渐增大,到水分水平编码 1 时 K 值达最大;同时,含水量越低,拐点出现时间越晚,最大生长速率越小。(3)不同施肥水平下,K 值变化于 65.5~69.7cm 之间,施肥越少,拐点出现时间越晚。(4)由 K 值变化亦可看出,水分对株高的影响比肥料影响大。

表 5 不同水肥条件下沙打旺株高动态模拟

不同水分条件下平均株高模拟结果							
项目水平	方程参数			方程检验		方程特征点	
	K	a	b	F	R	V_{max}	
-2	52.17	37.779	0.817 6	1 904.6	0.999 0	(4.4,26.1)	10.66
-1	63.53	57.661	0.953 9	19 357.0	0.999 9	(4.3,31.8)	15.12
0	74.51	68.273	0.975 6	5 681.1	0.999 6	(4.2,37.3)	18.17
1	74.71	98.010	1.105 0	2 735.1	0.999 3	(4.2,37.4)	20.64
2	71.95	72.978	1.043 5	1 519.8	0.998 7	(4.1,36.0)	18.77
不同肥力条件下平均株高模拟结果							
-2	69.729	56.224	0.903 8	9 868.8	0.999 8	(4.6,34.9)	15.76
-1	65.710	79.053	1.061 4	3 526.2	0.999 4	(4.1,32.9)	17.44
0	67.373	62.708	0.986 1	2 482.2	0.999 2	(4.2,33.7)	16.61
1	68.604	71.319	1.013 7	3 528.3	0.999 4	(4.2,34.3)	17.39
2	65.502	61.418	0.975 9	4 636.7	0.999 6	(4.2,32.8)	15.98
平均*	67.163	65.110	0.987 5	4 475.6	0.999 6	(4.2,33.6)	16.60

注:* 平均指 25 个处理总平均。

3.4.2 株高与产草量关系 在密度一定条件下,收割前不同时期沙打旺株高与收割时产草量关系密切(图 4),二者之间以指数关系为主,不同时期株高与收割时产草量关系如表 6。

表 6 沙打旺株高与产草量关系

株高测定时间	株高(H)与产草量(Y)回归方程	方差比	相关系数	均方误
5 月 11 日	$Y = -411.52 + 272.56 \ln H$	39.69	0.796	25.08
5 月 21 日	$Y = 0.200H^{2.429}$	39.84	0.796	25.05
5 月 31 日	$Y = 0.685H^{1.535}$	128.1	0.921	16.15
6 月 11 日	$Y = 0.477H^{1.463}$	86.9	0.880	18.94
6 月 21 日	$Y = 0.105H^{1.758}$	90.69	0.893	18.63

3.4.3 水肥对株高的协同效应 沙打旺株高随时间变化可用 Logistic 方程拟合,我们再进行进一步分析水肥对株高的影响。应用多项式逐步回归法建立不同时期株高与水肥二因素的多项式回归模型,结果如表 7。表中各项检验结果表明,模型都达极显著水平。结果表明:水分是影响沙打旺株高的主导因素,且沙打旺株高与土壤含水量间呈抛物线关系,这与前述分析结果一致;从发芽到收割,水分对株高影响愈来愈大;据极值理论推算,株高达最高时的水分值为 14.3%左

右。

表 7 水分对株高影响模型

测定时间	株高(H)与水肥关系	方差 F	相关系数(R)	均方误(SY)
5月11日	$H=7.388+0.462X_2$	30.4	0.755	0.60
5月21日	$H=15.266+0.789X_2-0.507X_2^2$	44.5	0.895	0.75
5月31日	$H=32.991+3.248X_2-0.643X_2^2-0.739X_1^2$	44.3	0.929	2.12
6月11日	$H=50.543+5.058X_2-2.321X_2^2$	81.0	0.938	3.20
6月21日	$H=62.050+5.750X_2-2.473X_2^2$	126.5	0.959	2.87

注: X_1 为肥料, X_2 为水分(编码值)。

4 小 结

叶重、茎重及叶茎比、株高等是表征沙打旺植株的形态学特征的重要参数,通过本文的分析表明:

1. 产草量(Y)随茎重(SG)的变化呈正比关系,它可用 $Y=a+b SG$ 直线方程表示(a、b 为经验常数);而产草量随叶重(LG)变化符合 $Y=A \cdot LG^B$ 幂函数关系。而叶茎比(LR)随产草量的提高而按照 $LSR=4.74Y^{-0.395}$ 的函数变化规律而降低。产量随株高的变化以指数关系为主。

2. 沙打旺株高从发芽到收割随时间变化符合 S 型曲线,其曲线参数受水肥影响显著。

3. 水肥对沙打旺形态学参数有显著影响,一般随水肥量的提高,株高、叶重及茎重变化呈

二次抛物线,当超过某一级值时,水肥量的增加会导致这些参数值的变小。其极点约为土壤含水量 15%,每盆施肥约 4.80g,与产草量时的极值点相近^[1]。在水肥二因素中,水分效应明显大于肥料效应,尤期对株高的影响最显著。

参 考 文 献

- 1 陈国良等. 水肥对沙打旺产草量的协同效应初步研究.《水土保持学报》,1992年,第3期
- 2 贾恒义等. 沙打旺水肥协同效应试验研究——水肥协同效应对产量及土壤养分的影响.《中国草地》,1993年,第6期
- 3 刘国彬等. 沙打旺生物量及营养物质形成规律.《植物生态学与地植物学学报》,1988年,第4期
- 4 穆兴民. 方程拟合方法.《六盘山科技》,1987年,第4期
- 5 苏盛发. 沙打旺. 北京:农业出版社,1983年

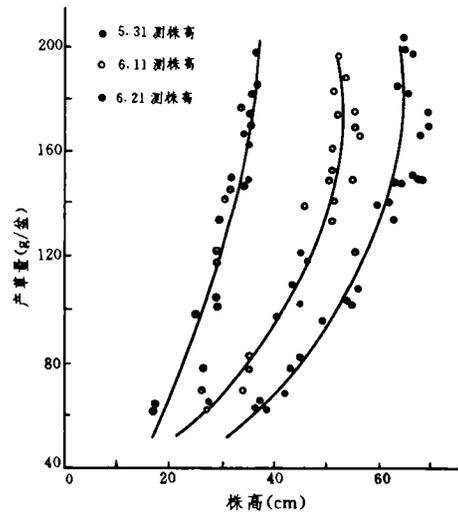


图 4 株高与产草量关系