

石羊河流域春秋不同播期人工牧草气候生产力分析

刘明春^{1,2}, 兰晓波³, 魏育国², 刘惠兰², 蒋菊芳², 马兴祥², 尹 东⁴

(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开放实验室,

甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省武威市气象局农业气象试验站, 甘肃 武威 733000;

3. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733000; 4. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 2003~2005 年对石羊河流域春秋两种播期人工牧草紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)、沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) 的生育期, 地上、地下生物量, 产量等进行了连续测定。结果表明: (1) 紫花苜蓿、沙打旺生长第二年 (2004 年) 干物重春播地均高于秋播地。分别增产 3 505.0 kg/hm²、2 314.5 kg/hm²。(2) 春播和秋播地牧草干物质积累增长关键期均出现在现蕾~开花期。本期紫花苜蓿、沙打旺干物质积累量分别占累积总量的 70% 和 63%。(3) 生长第二年 (2004 年) 春播和秋播地青干比最小值出现在开花期, 也是牧草刈割的最佳期。(4) 春播牧草地下生物量高于秋播。春播紫花苜蓿、沙打旺根干重分别比秋播高 2.5~2.6 倍和 0.5~1.0 倍, 春播有利于牧草根系生长。(5) 春季日平均气温稳定通过 5℃ 为牧草适宜返青温度。在灌溉条件下, 牧草干重与热量因子呈显著正相关, 生产力高低主要取决于热量的多寡, 秋播地和晚熟品种对热量条件的需求更高。

关键词: 人工牧草; 分期播种; 气候生产力

中图分类号: S162.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2008)06-0179-07

干旱是制约石羊河流域农业可持续发展的主要因素, 也是引起土地荒漠化的主要原因之一^[1,2]。随着气候变暖、人口的增加和经济社会的发展, 河西走廊水资源供需矛盾将更加突出。据预测, 未来该区缺水达 3~5 亿 m³^[3], 水危机以及由此引起的诸多矛盾将会进一步加剧。因此在干旱缺水严重的石羊河流域农区压缩高耗水作物, 大力推广种植高效节水的人工牧草, 不仅可优化农业种植结构, 缓解用水矛盾, 提高种植效益, 而且还可以改良土地, 固沙防沙, 改善生态环境。目前生产上人工牧草首次播种分春播和秋播两种, 为了摸清不同播期条件下牧草生产力大小, 本文在分期播种试验的基础上, 探讨牧草的最佳播种期和产量形成各个时期的气象条件, 为合理利用气候资源, 科学制定草业种植规划, 改进生产方式, 提高气候生产潜力, 增加牧草产出效益等提供理论依据。

1 试验区基本概况及试验方法

试验设在武威市气象局院内大气观测场附近 (N37°55', E102°55', 海拔 1 531.1 m), 土质为沙壤土。本区年平均气温 8.0℃, 最热月平均最高气温 28.8℃, 年≥0℃活动积温 3 613℃。牧草生长季 (3~10 月) 平均气温 14.1℃, 降水量 157.4 mm, 蒸发量 1 694.3 mm, 4~5 月春旱时段长达 42.6 d。

试验于 2003~2005 年进行, 试验品种为紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 和沙打旺 (*Astragalus adsurgens*), 分春播地 (2003 年 3 月 29 日播种) 和秋播地 (2003 年 9 月 6 日播种) 两种处理。播种量 15.0 kg/hm², 行距 30 cm, 播深 2~4 cm, 人工控制灌溉。定期观测 (定) 物候期、高度、干物质 (地上、地下)、产量等。其中物候期每 2 d 观测 1 次, 物候期标准按进入发育期植株数占观测总植株数的百分数表示, 即≥10% 为始期, ≥50% 为盛期, ≥80% 为末期。高度、干物质从牧草返青期开始每 10 d 测定 1 次, 直至黄枯。每次测定、取样各 10 株, 两个重复求取平均。根生物要素 (主根长、根粗、干重) 在盛花期刈割时用游标卡尺、电子天平进行测定。

2 结果与分析

2.1 物候期

比较播种后第二年 (2004 年) 牧草物候期发现, 紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 春播、秋播地返青时间均相同 (出现在 3 月 30 日), 但分枝期春播地较秋播地偏早 12 d 出现 (春播 4 月 5 日, 秋播 4 月 17 日), 其后现蕾、开花期也相应偏早 3 d、2 d。沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) 春播地返青期、分枝、现蕾期亦分别较秋播地偏早 5 d、26 d、4 d。当年紫花苜蓿春播地可开花 4 次, 刈割 4 次, 种子成熟 3 次。秋播地

收稿日期: 2008-02-20

基金项目: 兰州区域气象中心开放实验室项目 (Lab2002-4); 中国气象局“西北区域干旱监测预警评估业务系统”课题

作者简介: 刘明春 (1966—), 男, 青海省互助人, 高级工程师, 主要从事作物生态环境评价及应用研究。E-mail: mcliuwqxj@163.com。

可开花 3 次,刈割 3 次,种子成熟 2 次。沙打旺春播地可开花 1 次,第二期达到现蕾初期,未开花,种子成熟 1 次,刈割 2 次。秋播地开花 1 次,种子成熟 1 次,刈割 1 次。牧草发育进程春播牧草明显快于秋播牧草。

2.2 生物量积累过程

2.2.1 积累量 播后第二年(2004 年)春播地和同期测定的秋播地单位产量相比,春播地明显高于秋播地。紫花苜蓿春播地每一茬 10 株鲜、干重分别较秋播地高 8.24~30.53 g、0.72~4.50 g,平均高

14.94 g 和 2.48 g,合计 1 m² 干重高 350.50 g,每公顷增产 3 505.0 kg。沙打旺春播地每一茬 10 株鲜、干重分别较秋播地高 29.54~41.07 g、5.52~11.16 g,平均高 35.31 g 和 8.34 g,合计 1 m² 干重高 231.45 g,每公顷增产 2 314.5 kg。就种植品种比较,紫花苜蓿不论春播还是秋播,刈割次数较沙打旺多 2~3 次,合计 1 m² 干重高 462.8 g,每公顷产量较春播沙打旺高 4 628.8 kg,增产效果明显。播后第三年(2005 年)春播和秋播地干物重已十分接近,差值较小。

表 1 2004 年不同播期人工牧草干物质量比较
Table 1 Dry matter weight comparison of artificial pasture with different sowing time in 2004

品种 Plant	播种时间 Sowing time	茬次 Stubble	时间 Time (M-d~M-d)	10 株鲜重 平均(g) Fresh weight per 10 plants	10 株干重 平均(g) Dry weight per 10 plants	1 m ² 干重(g) Dry weight per m ²
紫花苜蓿 Alfalfa	春播 Spring	第一茬 1st stubble	03-30~05-31	72.51	12.18	1025.75
		第二茬 2nd stubble	06-07~06-30	65.62	10.66	271.30
		第三茬 3rd stubble	07-08~08-09	54.45	9.43	560.00
		第四茬 4th stubble	08-24~10-28	70.26	16.51	436.10
		合 计 Total				2293.15
	秋播 Autumn	第一茬 1st stubble	03-22~06-02	41.98	7.68	591.60
		第二茬 2nd stubble	06-10~07-06	56.23	9.94	556.13
		第三茬 3rd stubble	07-12~08-21	42.84	7.19	375.00
		第四茬 4th stubble	09-10~10-28	62.02	14.07	419.92
		合 计 Total				1942.65
沙打旺 Astragalus adsurgens	春播 Spring	第一茬 1st stubble	04-03~08-02	83.87	14.92	505.73
		第二茬 2nd stubble	06-28~08-30	132.30	24.42	500.00
		第三茬 3rd stubble	09-20~10-10	16.84	2.72	—
	秋播 Autumn	第一茬 1st stubble	04-08~08-01	54.33	9.40	542.85
		第二茬 2nd stubble	07-14~09-30	91.23	13.26	—

注:沙打旺春播、秋播地第一茬未现蕾即刈割。
Note: The 1st stuble of *Astragalus adsurgens* is harvested before bud-appearing.

2.2.2 干物质积累特点 分析 2004 年植株干重随时间变化,春播地和秋播地两种牧草春季第一茬均按照指数规律增长,表现为先慢后快,秋季最后一茬按抛物线型增长,这与春季气温逐渐升高、秋季气温逐渐下降的变化趋势相吻合。夏季生长速度快,呈线性递增,水热效率高。

模拟干物重积累随时间的变化用数学模型表示为:

春播紫花苜蓿(第一茬草):

$$Y = e^{0.0904 + 0.0613t} \quad (1)$$

(Q = 21.43 S = 2.31)

秋播紫花苜蓿(第四茬草):

$$Y = -2.9409t^2 + 23.647t - 24.089 \quad (2)$$

(Q = 16.34 S = 2.02)

春播沙打旺(第一茬草):

$$Y = e^{-0.233 + 0.056t} \quad (3)$$

(Q = 38.8 S = 2.78)

秋播沙打旺(第一茬草):

$$Y = e^{-1.003 + 0.059t} \quad (4)$$

(Q = 48.3 S = 2.84)

上式均通过显著性检验。式中 Y 为累积干重(g),t 为距开始测定的间隔日数(单位:d,规定 4 月 10 日为 1),Q 为残差平方和,S 为标准差。

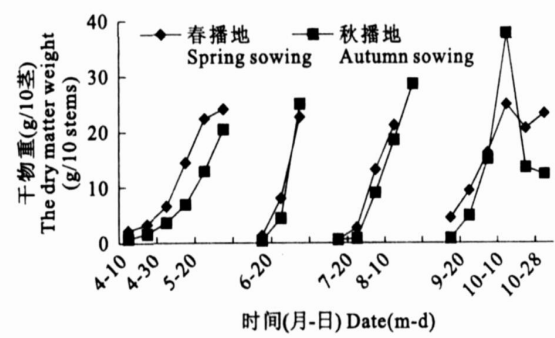


图 1 紫花苜蓿 2004 年第 1~4 茬干物质累积动态
Fig.1 Accumulation dynamic curve of 1st~4th stubble dry matter of alfalfa in 2004

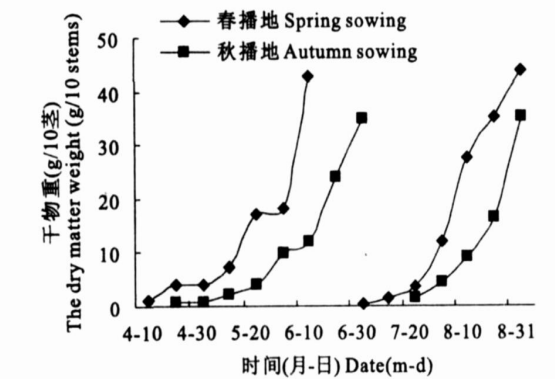


图 2 沙打旺 2004 年第 1~2 茬干物质累积生长动态
Fig.2 Accumulation dynamic curve of 1st~2th stubble dry matter of *Astragalus adsurgens* in 2004

由曲线看出,同一品种、不同播期生长曲线的斜率春播地均大于秋播地。经模式计算,生长率最大值紫花苜蓿春播地出现在 5 月 10 日,为 1.6 g/d,秋播地出现在 5 月 31 日,为 0.8 g/d。沙打旺春播地第一茬生长率最大值出现在 6 月 10 日,为 2.4 g/d,秋播地出现在 6 月 20 日,为 1.2 g/d。可见,5 月上~中旬、6 月上~中旬分别是紫花苜蓿、沙打旺第一茬牧草干重增长最快的时期,生育时段正处于现蕾~开花期,这段时间干物质积累量分别占累积总量的 70%和 63%,是生产上应重点管理的时期。

2.2.3 青干比变化 分析 2004 年两种牧草春播地和秋播地各茬次青干比变化(图 3、图 4),除第一茬草青干比变化趋势不明显外,其余各茬草青干比变化均基本相似,即青干比随着时间呈线性下降。紫花苜蓿青干比最大值春、秋播地出现在第三茬的返青期,分别达到 10.8 和 11.75。最小值均出现在第四茬的开花前,分别为 3.26 和 3.21。沙打旺青干比最大值出现在第二茬的返青期和分枝期,春、秋播

地分别为 11.68 和 10.79,最小值均出现在开花期,分别为 4.46 和 3.11。青干比下降速度最快时间均出现在现蕾前。从以上分析可知,开花期是牧草青干比最小的时期,含水量最低。已有研究证明,在牧草开花期刈割,当年的牧草产量、干草营养物质收获量及第二年的产量最高^[4,5]。

2.2.4 根系干重 从每次刈割时测定地下根性态要素看出(表 2),不论何品种,主根长度、粗度、地下根鲜、干重等生物性状春播地均优于秋播地。其中,紫花苜蓿春播与秋播根系生物量差值最大的时期出现在春、夏季,主根长相差 27~39 cm,主根粗 0.41 cm,根鲜重多 199.6~203.8 g/10 株,根干重多 44.0~59.6 g/10 株。秋季差值较小。沙打旺夏季和秋季两次测定中,主根长、主根粗差值较小,但根鲜、干重春播地大于秋播地,差值分别为 39.0 g/10 株和 15.6~20.0 g/10 株,分别偏多 0.5~0.9 倍和 0.5~1.0 倍。说明春播人工牧草有利于根系生长,根群发达。

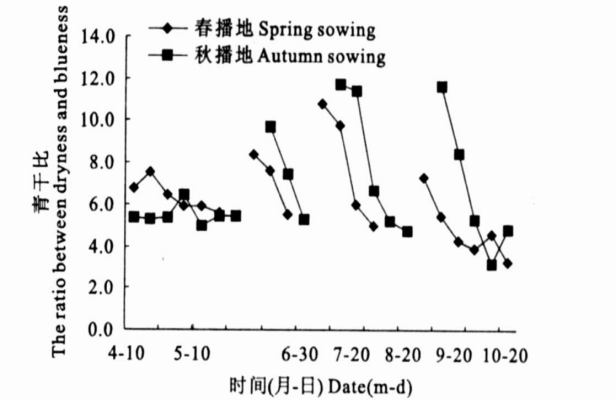


图 3 2004 年紫花苜蓿不同播期青干比变化
Fig.3 The *Medicago sativa* change of the ratio between dryness and blueness at different sowing time in 2004

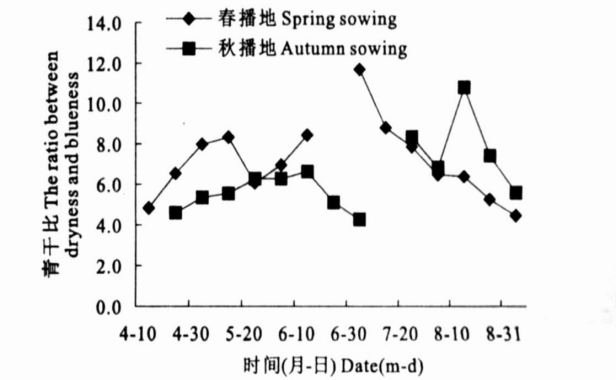


图 4 2004 年沙打旺不同播期青干比变化
Fig.4 The *Astragalus adsurgens* change of the ratio between dryness and blueness at different sowing time in 2004

表 2 2004 年人工牧草地下根生长量测定

Table 2 Growth increment determination of underground root of artificial pasture

品 种 Plant	播期 Sowing time	测定时间 Determining time (M-d)	主根长 Root length (cm)	主根粗 Root thickness (cm)	地下部鲜重 Fresh weight (g/10 株)	地下部干重 Dry weight (g/10 株)
紫花苜蓿 Alfalfa	春播 Spring	05-31	75	0.98	251.0	60.8
		07-12	97	0.99	253.0	83.8
		10-28	105	1.25	446.2	195.8
	秋播 Autumn	05-31	48	0.56	47.2	16.8
		07-12	58	0.58	53.4	24.2
		10-28	91	1.13	381.4	161.0
沙打旺 <i>Astragalus adsurgens</i>	春播 Spring	06-21	43	0.61	84.3	31.6
		10-29	54	1.19	115.9	57.4
	秋播 Autumn	07-02	30	0.59	45.3	16.0
		10-29	—	1.15	76.9	37.4

注:表中测定时间为牧草刈割期。

Note: The determining time in the table is the harvest time of the pasture.

2.2.5 株高生长动态 生长高度也是衡量牧草生产力的一个重要指标。分析 2004、2005 年观测资料,两种牧草第一茬生长高度和时间基本呈线性增长(图 5、6)。和地上干物质积累类似,播后第二年生长高度春播地大于秋播地,第三年相差不明显,曲线间距比较接近。第一茬高度增长速度最快时间紫花苜蓿 2004 年春、秋播地分别出现在 5 月 20 日和 5 月 31 日,最大生长速度分别为 2.8、2.0 cm/d,在牧草现蕾期后 5 d 和 12 d。2005 年出现时间和 2004 年相同,最大生长速度分别为 2.6、2.2 cm/d,出现在牧草现蕾期后 12 d 和开花期。沙打旺 2004、2005 年春,秋播地均出现在现蕾前(6 月 10 日),最大生长速度 2004 年为 2.0、1.6 cm/d,2005 年为 2.2、2.3 cm/d。可见,株高增长最快的时间在现蕾~开花期,和干物重生长率最大值出现时间基本同步。

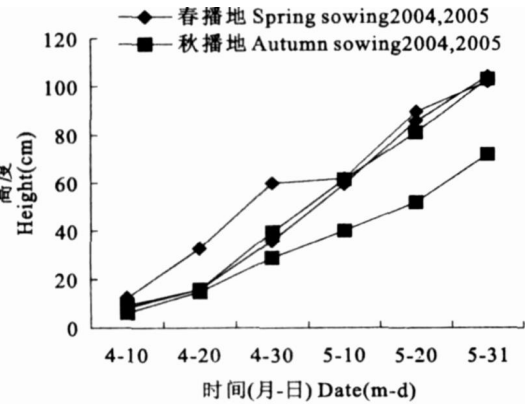


图 5 紫花苜蓿第一茬生长高度增长曲线

Fig.5 Growth height increasing curve of 1st stubble of alfalfa

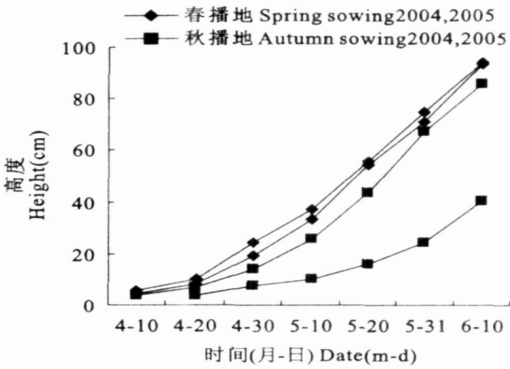


图 6 沙打旺第一茬生长高度增长曲线

Fig.6 Growth height increasing curve of 1st stubble of *Astragalus adsurgens*

3 牧草生长与气象条件

3.1 牧草生育阶段积温

据试验资料统计,春季播种至出苗需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温紫花苜蓿为 168.7 $^{\circ}\text{C}$,日平均气温 9.9 $^{\circ}\text{C}$,沙打旺为 273.0 $^{\circ}\text{C}$,日平均气温 11.9 $^{\circ}\text{C}$ 。第二年春季第一茬返青时的温度指标,两种牧草基本接近,与日平均气温稳定通过 5 $^{\circ}\text{C}$ 大致相当,返青期距稳定通过 0 $^{\circ}\text{C}$ 的日期 18~30 d,需积温 91.3~187.1 $^{\circ}\text{C}$ 即可返青。春季第一茬草干物质增长最快时的日平均气温紫花苜蓿、沙打旺分别为 15~18 $^{\circ}\text{C}$ 和 17~20 $^{\circ}\text{C}$ 。秋季气温降至 10 $^{\circ}\text{C}$ 以下干重停止积累。从表 3 可知,由于品种、年际间气候和不同生育阶段的差异,所需热量条件不尽相同。同一品种而言,紫花苜蓿返青~开花需 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 846.9~974.2 $^{\circ}\text{C}$ 。其中分枝~现蕾期需要积温最多,在 392.3~575.7 $^{\circ}\text{C}$,气温在 14.4

~15.9℃;沙打旺返青~开花需 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温2 244.6 1 869.1℃,气温在 20.6~21.5℃。说明沙打旺对
~2 586.4℃,其中分枝~现蕾期需1 567.7~ 积温要求远高于前者。

表 3 人工牧草春季第一茬各发育时期所需热量条件(℃)

Table 3 Heat conditions required by the first stubble artificial pasturein every development period in spring

年份 Year	品种 Plant	播期 Sowing time	返青~分枝 Returning green~tillering		分枝~现蕾 Tillering~budding		现蕾~开花 Budding~flowering		返青~开花 Returning green~flowering
			积温	气温	积温	气温	积温	气温	积温
			Accumulated temperature	Air temperature	Accumulated temperature	Air temperature	Accumulated temperature	Air temperature	Accumulated temperature
2004	紫花苜蓿	春播 Spring	70.8	11.8	575.7	14.4	297.2	18.6	943.7
	Alfalfa	秋播 Autumn	182.2	11.4	495.8	16.0	296.2	19.7	974.2
	沙打旺	春播 Spring	550.6	14.5	1567.7	20.6	152.7	21.8	2271.0
	Astragalus adsurgens	秋播 Autumn	545.1	15.1	1601.1	20.8	98.4	24.6	2244.6
2005	紫花苜蓿	春播 Spring	57.9	7.2	392.3	15.7	396.7	17.2	846.9
	Alfalfa	秋播 Autumn	74.0	8.2	412.8	15.9	376.6	17.1	863.4
	沙打旺	春播 Spring	515.5	14.3	1760.1	21.5	140.6	23.4	2416.2
	Astragalus adsurgens	秋播 Autumn	456.4	13.8	1869.1	21.5	260.9	21.7	2586.4

不同茬次牧草所需积温也各不相同。以春播地紫花苜蓿为例,2004 年第一茬为 943.7℃,第二茬 501.2℃,第三茬 718.8℃。2005 年第一茬 829.2℃,第二茬 501.3℃,第三茬 595.2℃。造成这种差别的原因主要与不同茬次期间的气象条件(气温、降水、光照等)不同有关,从而导致发育速度不同,积温值亦不同。

3.2 生物量积累与气象条件的关系

计算 2004、2005 年春季第一茬草甸干重与期间 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、5~10 cm 地温、日照时间、降水之间的单相关系数(表 4),发现以下几个特点:一是干重与热量因子(积温、地温)呈正相关关系,且相关系数较大,大多通过了 0.05 显著性水平检验。与日照时

数、降水量相关系数小,相关不显著。这是由于水分条件由灌溉保证,是可控因素,一般情况下,生物量的增加,与灌水量及适时适量灌水呈正比例关系^[6,7]。河西光能资源丰富,日照的适宜度较高,基本不形成限制^[8],产量的高低主要取决于热量的多寡。二是干重与积温相关系数中,秋播地相关系数大于春播地。同一播期中,沙打旺相关系数大于紫花苜蓿,晚熟种需要更多的热量。说明秋播地和晚熟种形成相同单位的干物质较春播地和熟性早的品种对热量条件的需求更迫切。三是在地温因子中,不论何品种、何时播种的地块,相关系数从 5 cm 向 80 cm 逐渐增大,且大多通过了 0.05 显著水平检验。这是由于二、三年生牧草毛细根群主要集中在

表 4 人工牧草干重与气象因子相关系数

Table 4 Correlation coefficient of artificial pasture dry weight and meteorological factors

年份 Year	品种 Plant	播期 Sowing time	积温 Accumulated temperature	日照 Sunshine	降水 Precipitation	地温 Soil temperature					
						5cm	10cm	15cm	20cm	40cm	80cm
2004	紫花苜蓿	春播 Spring	0.645	-0.073	-0.259	0.791	0.803	0.811	0.823 *	0.841 *	0.903 *
	Alfalfa	秋播 Autumn	0.758	0.007	-0.321	0.868 *	0.875 *	0.879 *	0.887 *	0.892 *	0.931 **
	沙打旺	春播 Spring	0.687	0.127	-0.285	0.811 *	0.817 *	0.819 *	0.827 *	0.832 *	0.877 *
	Astragalus adsurgens	秋播 Autumn	0.817 *	-0.111	-0.015	0.828 *	0.830 *	0.826 *	0.825 *	0.740	0.709
2005	紫花苜蓿	春播 Spring	0.724	0.268	0.471	0.618	0.656	0.685	0.702	0.741	0.803
	Alfalfa	秋播 Autumn	0.737	0.340	0.312	0.570	0.600	0.623	0.633	0.656	0.705
	沙打旺	春播 Spring	0.852 *	0.100	0.068	0.821 *	0.837 *	0.843 *	0.843 *	0.848 *	0.861 *
	Astragalus adsurgens	秋播 Autumn	0.849 **	0.059	0.013	0.847 **	0.864 **	0.870 **	0.874 **	0.880 **	0.895 **

注: * 表示通过信度 0.05 显著水平, ** 表示通过信度 0.01 极显著水平。
Note: The * means passing reliability 0.05 significant level, while the ** means passing reliability 0.01 very significant level.

60~80 cm, 地温高有利于促进根系活动和生长, 吸收更多的水分和营养物质供给地上部分, 提高产量。分析发现, 2004 年稳定通过 0℃、5℃ 日期分别出现在 3 月 4 日、3 月 19 日, 均早于 2005 年的 3 月 14 日、4 月 10 日, 第一茬 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温 2004 年较 2005 年多 70.6℃, 日照时数多 100 h, 各牧草品种返青、分枝期均早于 2005 年。其中紫花苜蓿春播地较 2005 年提前 6 d 和 8 d, 沙打旺春播地提前 3 d 和 24 d。因而牧草返青早, 生长快, 干物质积累多。

4 结论及讨论

1) 试验表明, 两种牧草地上、地下生物量, 刈割次数和产量春播地均高于秋播地, 春播更能发挥当地气候资源潜力。品种比较, 紫花苜蓿不论春播还是秋播, 单位面积产量均高于沙打旺, 是理想的适宜推广的牧草优良品种。

2) 两种牧草第一茬草呈指数曲线增长, 干重和株高增长最快的时期均出现在现蕾~开花期, 因此, 这一时间段是生产上的有效管理期, 同时如何改善春季第一茬草生长环境, 促进其后各茬草生长, 增加刈割次数, 增加牧草总生产潜力在生产上显得至关重要。

3) 两种牧草返青时的温度与日平均气温稳定通过 5℃ 大致相当。春季第一茬草干物质增长最快时的日平均气温, 紫花苜蓿为 15~18℃, 沙打旺在 17~20℃。返青~开花期紫花苜蓿需 $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温 846.9~974.2℃, 沙打旺需 2 244.6~2 586.4℃, 说明后者对积温要求更高。

4) 在灌溉条件下, 对于干物质积累而言, 水分不是主要限制因子。干物质的多少主要与热量条件密切相关, 产量的高低主要取决于热量的多寡, 降水过多反而起制约作用。计算表明, 牧草生物量与热量因子呈显著正相关, 尤其秋播地和晚熟种对热量条件的需求更迫切, 相关性更为显著。这是由于秋播地播种时正处于气温逐渐下降时期, 地温较低, 不利于根系生长, 植株生长活力减慢。晚熟种由于生育期较长, 则需要更多的热量。

沿祁连山地带农区北部干旱发生频率高, 通过大力推广节水人工牧草种植, 既缓解流域水资源压

力, 也可大大缓解天然草场供给压力, 使天然草场得到有效恢复和自我更新, 有助于防止草场“三化”, 有效遏制荒漠化进一步扩张, 改善生态环境。沿祁连山地区降水较多, 温度较低, 热量条件较差, 品种选择上主要种植紫花苜蓿。管理上春季推迟首轮灌水时间, 灌水次数也应相应减少, 促使地温升高和返青生长, 增加产草量; 流域北部降水少, 光、热条件较充足, 品种选择上紫花苜蓿、沙打旺均可种植, 但作为畜群饲料, 紫花苜蓿产量较高, 建议以紫花苜蓿为主, 沙打旺可饲料和防沙固沙兼用。管理上春季可适当浅灌, 满足对水分的需求, 促进早发快长, 增加产量, 灌溉次数较流域南部也应适当略多。为了增加产草量, 首次播种均以春播为宜。

参考文献:

- [1] 秦大河. 中国西部环境演变评估(综合卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 丁一汇, 王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 周维博. 河西走廊灌溉农业发展的水资源承载能力分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 564—570.
- [4] 畜牧气象文集编委会. 畜牧气象文集[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [5] 中国牧区畜牧气候区划科研协作组. 中国牧区畜牧气候[M]. 北京: 气象出版社, 1988.
- [6] 魏广祥, 冯草尘, 宋晓华, 等. 半干旱风沙区人工牧草沙打旺需水规律的研究[J]. 草业科学, 1994, 11(5): 46—51.
- [7] 樊晓东, 孙在红, 钞振华. 影响牧草生物量形成的因素[J]. 草业科学, 2003, 20(10): 33—36.
- [8] 李向林. 牧草生态气候适宜度评价模型[J]. 草业学报, 1993, 2(2): 47—51.
- [9] 余优森, 邓振镛, 仇化民, 等. 人工牧草热量指标的研究[J]. 草业科学, 1990, 7(4): 1—5.
- [10] 徐德源, 黄敬锋, 王淑民, 等. 牧草生长发育和产量形成与气象条件的关系[J]. 气象, 1991, 19(4): 8—11.
- [11] 郭建平, 高素华, 刘 玲. 中国北方地区牧草气候生产力及主要限制因子[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3): 44—46.
- [12] 黄敬锋, 徐德源, 林 柯. 气象条件对天山北坡中山带牧草生长发育及产量形成的影响[J]. 草业科学, 1992, 9(6): 39—42.
- [13] 刘明春, 马兴祥, 尹 东, 等. 天祝草甸、草原草场植被生物量形成的气象条件及预测模型[J]. 草业科学, 2001, 18(3): 65—69.

Climate-productivity analysis of artificial grass in different sowing time in arid area of Shiyang River basin

LIU Ming-chun^{1,2}, LAN Xiao-bo³, WEI Yu-guo², LIU Hui-lan²,
JIANG Ju-fang², MA Xing-xiang², YIN Dong⁴

(1. Arid Meteorological Institute of China Meteorology Administration, Key Laboratory of Climatic Change and Disaster Prevention of Gansu Province, Open Laboratory of Climatic Chang and Disater Prevertion of China Meteorology Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei, Gansu 733000, China; 3. Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei, Gansu 733000, China; 4. The Central Meteorological Observatory of Lanzhou, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: In order to reduce the pressure of water resources in the basin, adjustment and optimized agriculture planting structure, development grass livestock industry, after two years sowing seeds by stages experiment, growth and development characteristics, yield forming laws and adaptability to climate of the two kinds of grass, *Medicago sative* and *Astragalus adsurgens* under the condition of artificial planting were determined. The result indicated: (1) The dry matter weight of *Medicago sative* and *Astragalus adsurgens* of the second year(2004) in the spring sowing land was higher than in the autumn sowing land, increasing the yield by 3 505.0 kg and 2 314.5 kg per hm² respectively. (2) The increase of grass dry weight and plant height sowed in spring and in autumn was basically isochronous and the growth key time all appeared in budding and flowering period. In this period, dry matter accumulation quantity of *Medicago sative* and *Astragalus adsurgens* was respectively 70% and 63% of the total. (3) The least value, which was showed by the ratio between dryness and blueness of two kinds of grass growing on the second year (2004) in spring sowing land and autumn sowing land, appeared in flowering period which was also the best time to reap pasture. (4) The grass underground biomass in spring sowing land was better than in autumn sowing land. The grass in spring sowing land was helpful for root system to grow. (5) It was the fitting temperature for pasture to return green that means daily temperature steadily passed 5℃ in spring. Under the condition of irrigation, pasture dry weight was positively associated with heat factor and the productivity was mainly dependent on heat and the requirement of autumn sowing land and late maturing variety for heat condition was more urgent.

Keywords: artificial grass; sowing seeds by stages; climate-productivity