

文章编号: 100720435(2007)062059206

密度对三种豆科牧草生产力和水分利用率的影响

张晓红^{1,2,3}, 徐炳成¹, 李凤民^{1*}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100;
2. 山西师大城环学院, 临汾 041004; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 研究播种密度对3种豆科牧草生产力和水分利用效率的影响,以探讨其在草地农业系统中的合理优化模式。结果表明:沙打旺(*Astragalus adsurgens*)在高密区第2年生产力最高(18321 kg# hm⁻²),第3年开始下滑;苜蓿(*Medicago sativa*)在中、高密区生产力的增幅和增量差别不显著,以第3年最高(22563和22108kg# hm⁻²);胡枝子(*Lespedeza daurica*)在中密区第3年最高(7856 kg# hm⁻²);加大密度使沙打旺提早进入生长盛期,第2年即达到高生产力和较高水分利用效率;苜蓿以中密区(20~30株/m²)效果最好;达乌里胡枝子的生产力和水分利用率偏低,在黄土高原区草地农业中没有优势。

关键词: 豆科牧草; 生产力; 水分利用效率; 沙打旺; 苜蓿; 达乌里胡枝子

中图分类号: S543 文献标识码: A

Effect of Planting Density on the Productivity and WUE of Three Legumes in Highland of Loess Plateau

ZHANG Xiao2hong^{1,2,3}, XU Bing2cheng¹, LI Feng2min^{1*}

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;
2. College of Urban and Environment Sciences, Shanxi Normal University, Lin fen 041004, China;
3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The effect of planting density on three legumes' productivity and WUE in highland of Loess Plateau was studied by field experiment. *Astragalus adsurgens*. of high planting density reached to its highest productivity (18321 kg# hm⁻²) in the second year and then declined in the following year. The productivity of *Medicago sativa*. of both medium and high planting densities peaked (22563 kg# hm⁻² and 22108 kg# hm⁻², respectively) in the third year; no significant amplitude and increment between them were detected. The highest productivity (7856 kg# hm⁻²) of *Lespedeza daurica*. appeared in the third year at the medium seeding density. The results show that increased planting density allowed *A. adsurgens* enter the blooming period earlier and achieve its higher productivity and WUE in the second year; the productivity and WUE of *M. sativa* s were improved with increased planting density and the medium density was relatively better; *L. daurica* has no advantage in the agro2grassland system in highland of Loess Plateau due to its low productivity and WUE.

Key words: Legume; Productivity; WUE; *Astragalus adsurgens* Pall.; *Medicago sativa* L.; *Lespedeza daurica* (Laxm.) Schindl.

21世纪初任继周先生提出施行草地农业的设想^[1,2],将草地畜牧业的发展理念提到新的高度。苜蓿(*Medicago sativa* L.)、沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall.)和达乌里胡枝子(*Lespedeza dau*

rica (Laxm.) Schindl.)均属多年生豆科牧草,具有耐寒、耐旱、防风固沙以及较高的营养价值,在我国黄土高原区的水土保持和畜牧业发展中颇受重视^[3~7],但近些年的研究显示,许多豆科人工草地出

收稿日期: 200703227; 修回日期: 200706214

基金项目: 中国科学院百人计划择优支持项目(C23013500)

作者简介: 张晓红(1972),女,河北承德人,在读博士,主要从事农业生态与土壤方面的研究; * 通讯作者 Author for correspondence, E2

mail: fmlj@mails.iswc.ac.cn; fmlj@lzu.edu.cn

现稳定性差、生产力低、使用寿命短的现象, 不仅影响畜牧业的发展, 还引发了土壤旱化、退化、土地荒漠化等一系列环境问题^[8-11], 因此研究豆科人工草地的生产力特点以及耗水规律, 通过牧草种类、密度、播种模式和种植年限等可调控方式, 结合当地条件, 建立优质高效的人工草地显得尤为重要。本研究在黄土塬区连续3年观测3种豆科牧草不同密度播种时的生产力和水分消耗、水分利用效率, 以探讨其在草地农业系统中的合理优化模式。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验在中国科学院长武黄土高原农业生态试验站(距西安市200 km)进行。(东经107°40′30″~107°42′30″, 北纬35°12′16″~35°16′00″), 海拔1200 m, 年均降水584 mm, 年均气温9.1℃, 无霜期171 d, 地下水位50~80 m, 土壤属黑垆土, 母质是马兰黄土, 土质均匀疏松, 通透性好。

试验期(2004-2006年)降水量分别为510、562和470 mm(图1)。

表1 试区土壤养分状况

Table 1 soil nutrients of the experimental site

土层 Soil layer (cm)	全 N Total N (g/kg)	全 P Total P (g/kg)	有机质 Organic matter (g/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	pH In 0.01M CaCl ₂ (1B 1)
0~30	1.01±0.04	0.73±0.01	14.40±0.41	5.85±0.62	7.57±0.07
30~60	0.70±0.05	0.61±0.01	9.10±0.63	2.65±0.25	7.63±0.09
60~100	0.57±0.04	0.52±0.02	9.10±0.47	2.12±0.20	7.62±0.02

1.3 试验设计

供试牧草各设低密区(DM 7.5万株/hm²)、中密区(ZM 22.5万株/hm²)、高密区(GM 67.5万株/hm²), 另设1个空白裸地(对照区)(LD), 重复3次。小区面积10 m²(4 m @ 2.5 m), 随机区组排列。2004年5月27日播种, 翌年返青后间苗。试验期间不施肥, 不灌水, 适时除草。2005年11月各小区埋设1根5 m深PVC管, 用于中子仪水分测定。

1.4 测定项目

1.4.1 从2004年开始每年在生长始期和结束期分层测定0~5 m土壤含水量(美国CPN公司503DR水分中子仪), 0~1 m每10 cm一层, 1~5 m每20 cm一层; 在供试草种的5、7、9月下旬取1 m²样区, 刈割后称鲜重, 以烘干法测干鲜比, 计算小区产草量。

1.4.2 牧草生产力(kg # hm⁻²) = 全年累积干生物量

1.4.3 土壤含水量 Hm (%) = 80.14 * X / 938 - 1.0068, X 为中子仪计数

1.4.4 土壤储水量 Dw(mm) = E Hmo Qh, Hm 为质

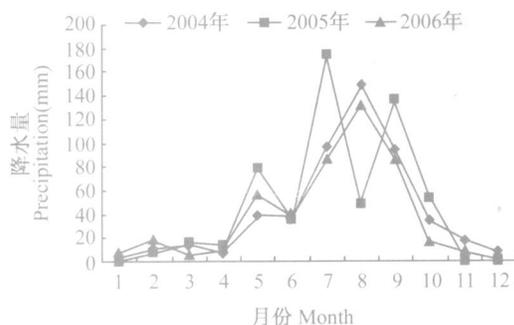


图1 试验期间月均降水量

Fig. 1 Monthly precipitation during the experimental years

注: 资料数据引自长武实验站气象观测场

Note: Data was from the Changwu climatic observation station

1.2 供试材料

沙打旺为水土保持所的彭阳早熟型(*A. adsur2 gens* Pall. cv. Pengyang, 千粒重1.943 g), 阿尔冈金苜蓿引自加拿大(*M. sativa* L. cv. Algoquin, 千粒重1.285 g), 二者均为当地当家草种; 达乌里胡枝子为野生种(千粒重1.874 g, 下称胡枝子), 属黄土高原建群种之一(表1)。

量含水量, Q为土壤容重, h为土层厚度^[12]

1.4.5 土壤水分支出量(mm) = 生长始期土壤储水量 - 生长末期土壤储水量

1.4.6 耗水量(mm) = 土壤水分支出量 + 生长期降水量

1.4.7 水分利用率(kg # mm⁻¹ # hm⁻²) = 单位面积产草量 / 耗水量。

1.5 数据分析

所得数据采用SAS和Micro Excel 2003软件进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 年度生产力

供试草种的产草量均随着密度的加大而升高, 其中, 沙打旺以高密区最高(3758 kg # hm⁻²), 苜蓿次之(2676 kg # hm⁻²), 胡枝子最低(950 kg # hm⁻²)。第2年(2005)产草量显著提高, 沙打旺和

苜蓿的在3个密度区增长7倍, 胡枝子增长50多倍; 沙打旺和胡枝子的产草量间差异极显著($P < 0.01$); 苜蓿在中密区和高密区差异不显著。第3年沙打旺低密区为 $13775 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比上年增长1倍, 但中密和高密区则出现负增长, 3个密度区间差异不显著; 胡枝子高密区生产力比前一年有所降低, 低密和中密区则比上年增长34%和49%; 苜蓿在3个密度区产草量均呈增加趋势, 比上年增长50%, 但高密和中密区间差异不显著; 苜蓿($11967 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)略高于沙打旺($9759 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 以胡枝子最差($3730 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)(图2)。

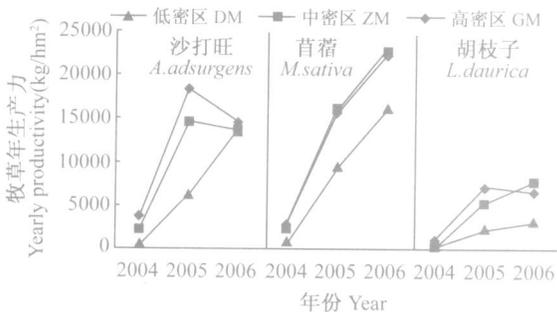


图2 密度对供试草种产草量的影响

Fig. 2 Influence of density on the productivity of three tested legumes

2.2 土壤水分消耗

2.2.1 土壤水分剖面 LD(裸地)与CK区土壤水分的纵向分布趋势非常相似, 但前者比后者低25%, 这主要是10 m深的水泥隔墙阻断了CK区水分的水平再分布, 而裸地与其他区的土壤水分是连通的, 也受到牧草耗水的影响。因此供试草种与对照区土壤水分含量的差别反映了根系耗水的强弱, 与CK区水分的差别则反映根系耗水的绝对数量。80 cm以上土壤含水量受降水、植物吸收、覆盖度被的影响, 及蒸发力等综合作用, 80 cm以下的土壤含水量主要受根系吸收的影响, 能够反映草种和密度对土壤水分消耗的影响特征。

沙打旺(图3, a)在低密区和高密区耗水深达3.5 m, 耗水深度在1~1.2 m处; 中密区耗水深达5 m以下, 1~5 m含水量9~12%, 比CK区降低50%。苜蓿(图3, b)低密区耗水深达4 m, 中密、高密区都到了5 m以下, 耗水强度显著高于低密区, 1~5 m含水量10%。胡枝子(图3, c)在低密区耗水较少, 含水量较接近裸地, 中密和高密区耗水深达2 m, 1~1.2 m耗水强烈, 含水量在10%以下, 其中密区的耗水深度和强度略高于高密区。一般认为当地降水最大补偿深度为2 m^[14], 结果表明, 连续生长3年

中、高密区的沙打旺和苜蓿土壤水分状况已不容乐观, 土壤深层水库亏缺已十分严重(图3)。

2.2.2 土壤储水量年际动态 2004-2006年5 m土壤储水量(表2), 年支出量是各年生长末期与始期5 m土壤储水量的差值, 定量地反映不同播种密度的3个草种对土壤水分的消耗利用。

2004年建植, 6-10月共降水411 mm, 0~5 m土壤储水量的支出均为负值, 完全满足当年3个草种的生长需要, 0~5 m土壤水库不仅没有减耗, 还得到10%的降水补充。2005和2006年4-10月, 降水分别为537和434 mm, 两年间0~5 m土壤储水量支出11%, 裸地支出2%, 年内和年际0~5 m土壤储水支出量差异不显著, 但从支出量仍可看出, 3个草种在第2和第3年降水已经不能满足其生长需要, 需土壤水库的调节补充。2005年苜蓿对土壤水分的消耗量比沙打旺和胡枝子都多, 2006年沙打旺和苜蓿的消耗量不相上下, 胡枝子比上一年略有增多, 但仍少于沙打旺和苜蓿。10月末0~5 m土壤储水量是植物消耗、土壤蒸发、和降水的综合作用最直观响应量。2006年10月草种0~5 m土壤储水量比建植年(2004)同期大幅度降低, 沙打旺、苜蓿、胡枝子分别降低31%、37%、25%, 裸地降低19%, 这是2005和2006年牧草生长消耗和蒸发的累积效应(表3)。

2005和2006年裸地0~5 m土壤水库比2004年累计消耗218 mm。究其原因有: 1是这两年比较干燥, 降水量小于蒸发量; 2是其他草种消耗的深层水分/偷窃0, 这从水分剖面(图3), 裸地与CK区的深层含水量差异可以看出。不同密度3个草种0~5 m土壤水库累计消耗量均比裸地多, 其中沙打旺和苜蓿的中密、高密区消耗最多, 是裸地的两倍, 按当地有效含水量12%^[10, 13]计算, 5 m土壤最低储水警戒线为726 mm, 2006年10月0~5 m储水量均明显低于该界(表2)。沙打旺在中密区和苜蓿中密、高密区0~5 m土壤水库消耗量, 2005比2006年明显偏高, 而两年降水量分别是562和470 mm, 2005年耗水强度高于2006年; 胡枝子在中密、高密区也有类似趋势, 可见3个草种在生长第2年的耗水强度与播种密度的关系非常密切。

2.3 水分利用效率

沙打旺和苜蓿2004、2005年的水分利用效率差异不显著, 其中第3年苜蓿显著高于沙打旺。胡枝子与沙打旺和苜蓿相比水分利用效率始终很低。3种牧草的水分利用效率均随着生长年限的延长而显著升高(表4)。

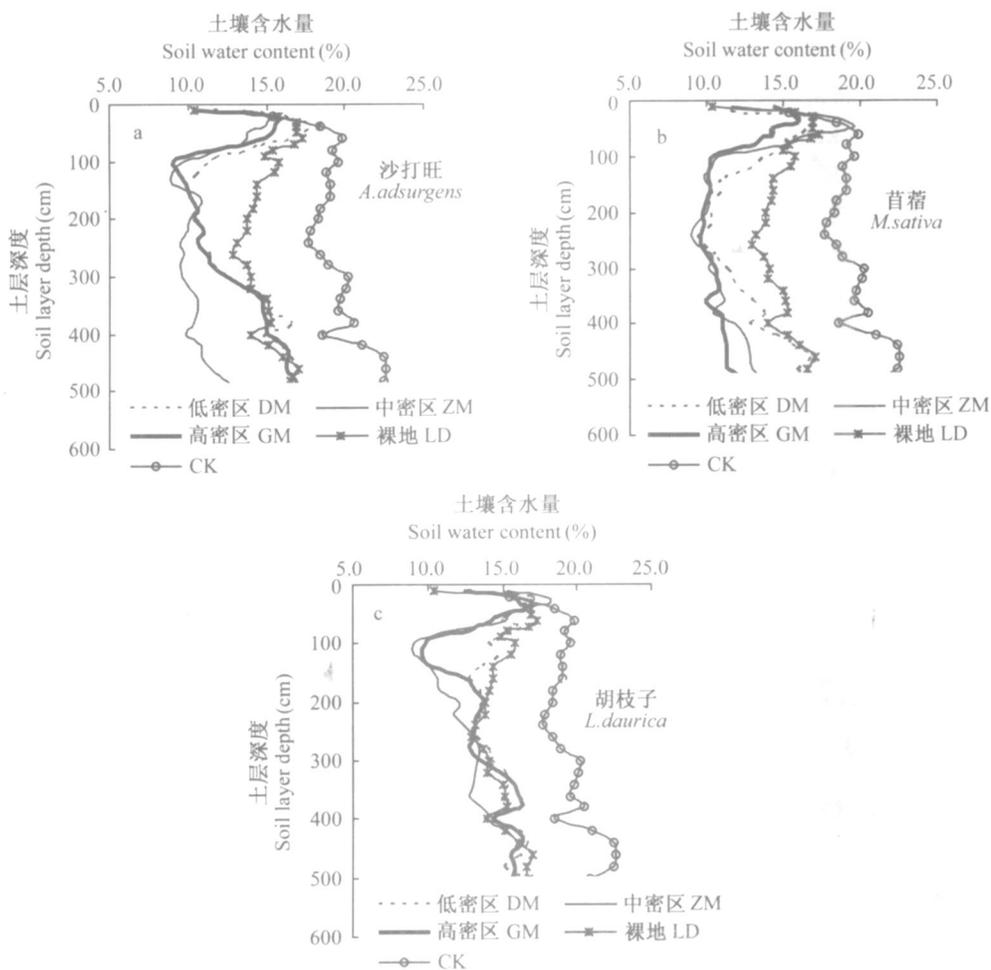


图3 供试草种土壤水分剖面(5 m)

Fig. 3 5 m depth soil water profile of three legumes

表2 试验期土壤水量平衡(mm)

Table 2 Soil water equilibrium during the experimental years

年份 Year	时期/项目 Period/Item	裸地 LD	A			B			C		
			低密区 DM	中密区 ZM	高密区 GM	低密区 DM	中密区 ZM	高密区 GM	低密区 DM	中密区 ZM	高密区 GM
2004	生长始期(S)	1026
	生长末期(E)	1141	1147	1130	1109	1123	1143	1132	1135	1145	1136
	年支出(Ex)	- 115	- 121	- 104	- 83	- 97	- 117	- 106	- 109	- 119	- 110
	Ex/S(%)	- 11	- 12	- 10	- 8	- 9	- 11	- 10	- 11	- 12	- 11
2005	生长始期(S)	1056	1076	1027	1035	1028	1054	1025	1052	1064	1049
	生长末期(E)	1037	1008	907	902	934	852	831	1009	972	967
	年支出(Ex)	19	68	120	133	94	203	194	43	93	82
	Ex/S(%)	2	6	12	13	9	19	19	4	9	8
2006	生长始期(S)	936	946	850	842	883	815	763	941	916	921
	生长末期(E)	923	842	694	791	755	702	677	890	828	839
	年支出(Ex)	13	104	156	71	128	113	86	51	88	82
	Ex/S(%)	1	11	18	8	14	14	11	5	10	9

注:表中S、E和Ex分别代表/生长始期、/生长末期和/年支出

Note: S, E, and Ex represents starting period, ending period and yearly expenses, respectively

沙打旺在2004、2005年水分利用效率随着密度的加大而显著升高,但第3年低密区超过中密区。3个密度区的水分利用效率逐年上升,但增幅与密度呈负相关。2005年低密、中密、高密区沙打旺的水

分利用效率分别比当年增加了5倍、2倍和1倍,2006年低密区翻了一番,而中密和高密区的增长则不显著。苜蓿水分利用效率与播种密度呈显著相关,低密区显著低于中密、高密区,但后者除2004年

表 3 生长结束期 0~5 m 土壤水库的消耗 (mm)(10 月)

Table 3 Soil water consumption in 0~5 m depth at the end of growing period in October(mm)

土壤水消耗 (mm) Soil water consume	裸地 LD	A			B			C		
		低密区	中密区	高密区	低密区	中密区	高密区	低密区	中密区	高密区
		DM	ZM	GM	DM	ZM	GM	DM	ZM	GM
2005 (mm)	103	139	223	207	189	292	300	126	174	170
%	47	46	51	65	51	66	66	51	55	57
2006 (mm)	115	165	213	111	179	150	155	119	143	128
%	53	54	49	35	49	34	34	49	45	43
累积 Cumulation (mm)	216	305	436	318	367	442	455	245	217	297
%	100									

表 4 供试草种水分利用效率 ($\text{kg} \# \text{mm}^{-1} \# \text{hm}^{-2}$)

Table 4 Average WUE of three tested legumes

年份 Year	沙打旺 A. adsurgens	苜蓿 M. sativa	胡枝子 L. daurica
2004	6.80 ^{cA}	6.45 ^{cA}	1.32 ^{cB}
2005	20.00 ^{bA}	19.30 ^{bA}	8.00 ^{bB}
2006	25.94 ^{aB}	37.54 ^{aA}	11.45 ^{aC}

注: 同列中不同小写字母间差异显著 ($P < 0.05$); 同行中不同大写字母间差异极显著 ($P < 0.01$)

Note: Means with different small letters within the same column are significantly different at 0.01 level; means with different capital letters within the same row are significantly different at 0.01 level

表 5 供试草不同密度区水分利用率 ($\text{kg} \# \text{mm}^{-1} \# \text{hm}^{-2}$)

Table 5 WUE of three legumes at different densities

年份 year	沙打旺 A. adsurgens			苜蓿 M. sativa			胡枝子 L. davurica		
	低密区	中密区	高密区	低密区	中密区	高密区	低密区	中密区	高密区
	DM	ZM	GM	DM	ZM	GM	DM	ZM	GM
2004	1.76 ^{cC}	7.20 ^{bB}	11.45 ^{bA}	2.80 ^{cC}	7.78 ^{cB}	8.76 ^{cA}	0.06 ^{cC}	0.74 ^{cB}	3.16 ^{bA}
2005	10.67 ^{bC}	21.98 ^{aB}	27.35 ^{aA}	15.03 ^{bB}	21.64 ^{bA}	21.21 ^{bA}	4.16 ^{bC}	8.37 ^{bB}	11.47 ^{aA}
2006	25.62 ^{aB}	23.44 ^{aB}	28.76 ^{aA}	28.86 ^{aB}	41.23 ^{aA}	42.52 ^{aA}	6.69 ^{aC}	15.06 ^{aA}	12.60 ^{aB}

注: 同列中不同小写字母间差异显著 ($P < 0.05$); 同行、同一草种中不同大写字母间差异极显著 ($P < 0.01$)

Note: Means with different small letters within the same column are significantly different at 0.01 level; means with different capital letters within the same row for a given species are significantly different at 0.01 level

3 讨论

3.1 生产力与播种密度

沙打旺在低密区随着年限的延长生产力显著增长, 高密与中密区在第 2 年达到最大值 (18321 和 14436 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$), 第 3 年开始下滑, 其下滑程度与当年气候条件有关 (2006 年仅降水 470 mm, 比常年少 100 mm), 但密度过大导致对资源的消耗过剧, 从而影响其生产力。有研究表明沙打旺在 5-7 年后由于水分消耗过大生产力开始下降^[4]。2006 年沙打旺进入稳定阶段, 3 个密度区的 (平均 14045 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$)。该结果比梁一民等研究结果^[4] (6840~9800 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$) 和孙启忠的结果^[14] (7959~8218 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$) 都高, 说明试区的水土条件比吴旗和赤峰更适合沙打旺的生长。

苜蓿生产力随着密度的加大和种植年限的延长

差异显著外 ($P < 0.05$), 2005 和 2006 年差异不显著。胡枝子的水分利用效率在 2004、2005 年均与密度呈显著正相关, 2006 年中密区显著增高, 比上年增加近 1 倍, 低密区只增长 61%。可见 3 种牧草的水分利用效率均随着密度的加大和年限的延长而增加。密度过大将影响其水分利用效率, 其中沙打旺呈逐年增长趋势, 在第 2 年迅速提高, 以后就不再增长; 胡枝子高密区也有相似情况; 苜蓿密度达到一定程度后水分利用效率不再与密度呈正相关, 但逐年增长趋势不受密度的影响 (表 5)。

而增加, 这与已有研究结果一致^[15]。2006 年分别上升到 22563 和 22108 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$, 已超过聂庆华等估算的生产潜力^[5] (19268 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$)。苜蓿的生产力均逐年增长, 且不受密度的显著制约。有报道, 提高密度可以增加苜蓿的出苗率、建植率和覆盖率, 是保证其高产的有效措施^[15, 16]。试验结果证明聂庆华等光能生产潜力逐步校正计算方法, 对本试区生产潜力估算偏低。已有报道^[17], 黄土高原地区苜蓿的高产期在 2-5 年, 合理的耕作、施肥等措施可以使其盛产期延长到 10-15 年。

胡枝子高密区的生产力第 2 年达到最大值 (7102 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$), 第 3 年开始下滑, 中、低密区保持逐年递增趋势, 第 3 年中密区最高 (7856 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$)。虽然胡枝子的生产力在 3 种牧草中最低, 但其绝对量并不算低, 据报道在科尔沁沙地达乌里胡枝子当年和次年干草产量分别为 2540 和 5915 $\text{kg} \# \text{hm}^{-2}$ ^[18]

介于本试验中、低密区之间。

3.2 土壤水分消耗与播种密度

种群密度增加后,必将导致环境不同程度的恶化^[19]。密度对3种牧草耗水性能有着显著的影响,这是牧草与大田作物显著不同之处,密度对小麦土壤储水量并无显著影响^[20]。沙打旺中密区耗水深度和强度显著高于其他两个密度,2006年5m土壤储水量已经出现亏缺,生产力则受到抑制,导致其水分利用效率降低。苜蓿的中密和高密区对土壤水分的消耗显著,2006年5m土壤储水量都降到了700mm以下,1m以下深层含水量小于12%,根据何福红等对试区土壤干层的划分标准来衡量^[21],它们与中密区沙打旺在生长的第3年均已开始形成土壤干层。

3.3 水分利用效率

3种牧草的水分利用效率均逐年增高,在第3年达到最大,其中以苜蓿最高,2006年高密区高达 $42.52 \text{ kg} \# \text{ mm}^{-1}$,与同类研究相比该结果偏高。孙洪仁等对国内外紫花苜蓿的水分利用效率做过总结,其水分利用效率在 $8.2 \sim 26.4 \text{ kg} \# \text{ mm}^{-1}$ 之间,主要因生长气候条件、年限、茬次不同而异^[22]。苜蓿的水分利用效率偏高,与试验所选/阿尔冈金0品种有关,其生长和生产特性以及适应性比国内外其他品种好^[23,24];一般苜蓿盛产期在建植后第2~5年^[9,17],而2006年恰为生长第3年。2006年沙打旺的低密区水分利用效率($25.62 \text{ kg} \# \text{ mm}^{-1}$)超越中密区($23.44 \text{ kg} \# \text{ mm}^{-1}$)而接近高密区($28.76 \text{ kg} \# \text{ mm}^{-1}$),则是高密区沙打旺个体间竞争剧烈、生产力受抑的结果。胡枝子水分利用效率以中密区最高($15.06 \text{ kg} \# \text{ mm}^{-1}$)(2006),与该区生产力在第3年最高有关。

4 结论

4.1 加大种植密度可以使沙打旺提早进入生长盛期,在第2年就可以达到高生产力和较高水分利用效率。但适宜的密度情况下沙打旺群体内个体竞争生长也会导致对土壤水分的过多消耗,从而降低水分利用效率。因此试区沙打旺播种密度宜高($60 \sim 80 \text{ 株}/\text{m}^2$),应避免中等适宜密度建植对土壤水分的强竞争消耗。

4.2 苜蓿的生产力和水分利用效率随着种密度的加大而增加,但密度增加到一定程度后效果则不再显现,以中密区($20 \sim 30 \text{ 株}/\text{m}^2$)效果最佳。苜蓿在中、高密度建植对土壤水分消耗强烈,在追求高生产力和水分利用效率的同时不能忽略其高耗水性。

4.3 达乌里胡枝子的生产力和水分利用效率偏低,

在黄土塬区草地农业系统生产中没有优势,但其水土保持效果好,在黄土塬区沟坡护理方面应充分加以利用。种植密度以中等($20 \sim 30 \text{ 株}/\text{m}^2$)为宜。

参考文献

- [1] 任继周. 藏粮于草施行草地农业系统西部农业结构改革的一种设想[J]. 草业科学, 2002, 11(1): 123
- [2] 任继周. 节粮型草地畜牧业大有可为[J]. 草业科学, 2005, 22(7): 44248
- [3] 孙启忠, 韩国, 桂荣, 等. 科尔沁沙地苜蓿根系和根颈特性[J]. 草地学报, 2001, 9(4): 262276
- [4] 梁一民, 李代琼, 从心海, 吴旗沙打旺草地土壤水分及生产力特征的研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(6): 112118
- [5] 聂庆华, 宋桂琴. 黄土高原沟壑区人工草地生产力研究以长武王东沟试验区苜蓿地为例[J]. 水土保持通报, 1993, 13(5): 22227
- [6] 张春霞, 郝明德, 李丽霞. 黄土高原沟壑区苜蓿地土壤碳、氮、磷组分的变化[J]. 草地学报, 2005, 13(1): 66270
- [7] 徐柱, 马玉宝, 等. 三种胡枝子属野生植物适应性的初步评价[J]. 内蒙古草业, 2005, 17(2): 23226
- [8] 杨汝荣. 我国西部草地退化原因及可持续发展分析[J]. 草业科学, 2002, 19(1): 2327
- [9] 程积民, 万惠娥, 王静. 黄土丘陵区紫花苜蓿生长与土壤水分变化[J]. 应用生态学报, 2005, 16(3): 432438
- [10] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 402411
- [11] 樊军, 邵明安, 王全九. 陕北水蚀风蚀交错区苜蓿地土壤水分过耗与恢复[J]. 草地学报, 2006, 14(3): 2612264
- [12] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 102102
- [13] 韩仕峰, 李玉山, 石玉洁, 等. 黄土高原土壤水分资源特征[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1): 36243
- [14] 孙启忠, 桂荣, 那日苏, 等. 赤峰地区不同生长年限沙打旺生产力的研究[J]. 中国草地, 1999(5): 29234
- [15] 欧阳延生, 于徐根, 徐桂花, 等. 播种量与刈割对紫花苜蓿产草量的影响[J]. 草地学报, 2007, 15(2): 192198
- [16] 马其东, 高振生, 王培, 等. 黄河三角洲地区苜蓿生态适应性研究[J]. 草地学报, 1999(7): 28238
- [17] 郝明德, 张春霞, 魏孝荣, 等. 黄土高原地区施肥对苜蓿生产力的影响[J]. 草地学报, 2004, 12(3): 1952198
- [18] 孙启忠, 韩建国, 桂荣, 等. 科尔沁沙地达乌里胡枝子生物量研究[J]. 中国草地, 2001, 23(4): 21226
- [19] 尹钧, 高志强. 农业生态基础[M]. 北京: 经济科学出版社, 1996. 165
- [20] 强秦, 曹卫贤, 刘文国. 旱地小麦不同栽培模式对土壤水分和水分生产效率的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6): 10621071
- [21] 何福红, 黄明斌, 党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤干层的分布特征[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 30236
- [22] 孙洪仁, 刘国荣, 张英俊, 等. 紫花苜蓿的需水量、耗水量、需水强度、耗水强度和水分利用效率研究[J]. 草业科学, 2005, 22(12): 24230
- [23] 聂素梅, 闫志坚. 紫花苜蓿品比试验[J]. 中国草地, 2005, 27(5): 2233
- [24] 万素梅, 胡守林, 黄勤慧. 不同紫花苜蓿品种根系发育能力的研究[J]. 西北植物学报, 2001, 24(11): 2012052

(责任编辑 孟昭仪)