

陇东黄土高原饲草作物生产力研究

牛伊宁^{1,2}, 南志标²

(1. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 草地农业生态系统国家重点实验室 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要:针对陇东黄土高原作物-家畜系统中家畜饲草质量和供给数量不足的现状,对饲草作物的生产力进行了研究。试验种植了8种饲草作物包括饲料玉米(*Zea mays*)、苏丹草(*Sorghum sudanense*)、湖南稷子(*Echinochloa crusgalli* var. *frumentacea*)、谷子(*Setaria italica*)、箭筈豌豆(*Vicia sativa* cv. 6625)、燕麦(*Avena sativa*)和多年生饲草紫花苜蓿(*Medicago sativa*),以及玉米、高粱和谷子混合后种植的和草(当地传统的饲草作物,是家畜的主要饲草来源,以收获植物营养体为主)。饲草作物采用轮作序列:玉米-箭筈豌豆-燕麦轮作(MVO)、苏丹草-箭筈豌豆-燕麦轮作(SVO)、湖南稷子-箭筈豌豆-燕麦轮作(PVO)、谷子-箭筈豌豆-和草轮作(MVM)和多年生苜蓿连作。结果表明,玉米的产量最高,达到 $9.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,苏丹草($5.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)次之,燕麦($5.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)和湖南稷子($4.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)的产量依次降低,谷子的产量是 $3.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,苜蓿为 $3.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,和草的产量最低,是 $2.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;轮作系统中,产量顺序依次为MVO轮作系统($7.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)>SVO轮作系统($5.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)>PVO轮作系统($4.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)>苜蓿($3.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)>MVM轮作系统($2.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。在生产实践中,春季饲草作物饲料玉米、苏丹草和湖南稷子适合在当地生长,夏季饲草作物燕麦在当地表现良好,值得大面积推广种植。

关键词:陇东黄土高原;作物-家畜系统;饲草产量;轮作系统

中图分类号:S812

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2012)09-1422-06

* 1

作物-家畜系统是家畜农业系统的子系统^[1-2],也是亚洲许多国家主要的农业系统^[3-4],在世界农业系统中占有重要地位^[1]。我国的作物-家畜系统在作物种植、家畜品种和资源利用方面形式多样^[5-8],其中反刍家畜是我国重要的家畜品种,饲草作为反刍动物的饲料来源,是发展畜牧业的重要物质基础,在畜牧业生产中具有十分重要的地位。饲草的品质和供给数量不足是影响作物-家畜系统中家畜生产的主要因素^[9-12]。

在陇东黄土高原(庆阳),家畜的饲草主要来源于天然草地、作物秸秆和农副业副产品等,由于饲草的供给量不足,而且饲草的蛋白质含量低(3%~4%),纤维含量高(35%~48%)^[4],限制了当地草食畜牧业的发展。对陇东黄土高原(甘肃环县)连续一年多的家畜(羊和牛)饲草供应和家畜营养状况研究表明,养殖家畜的农户每年每户生产的饲草缺口平均在2 t左右(项目组未发表数据),而且饲草品种

单一,严重影响了当地畜牧业的发展。

根据该区饲草缺乏的现状,本研究种植了8种饲草作物,对饲草作物的产量和轮作系统的生产力进行分析,以期为解决当地饲草资源短缺状况,提高资源利用效率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验于2008-2009年在兰州大学草地农业科技学院环县曲子试验站进行,该站位于甘肃省庆阳市环县曲子镇($107^{\circ}21' \text{ E}$, $36^{\circ}20' \text{ N}$,环县县城以南39 km),海拔1 163 m,年平均降水量450 mm,属温带半干旱气候,降水量集中在7-9月;年平均气温 9.2° C ,极端最高温 37.5° C ,极端最低温 -23.2° C ,无霜期165 d;平均日照时数2 596.2 h,日照率为58%。地带性土壤为黄绵土,耕作层(0~20 cm)土壤有机质含量0.9%,全氮0.08%,pH值8.5(土:水,1:2.5)。试验地是传统的农业用地,以小麦和玉米轮作为主,试验期间饲

收稿日期:2012-05-06 接受日期:2012-07-10

基金项目:澳大利亚国际农业研究中心项目(LWR/2006/19、2008-2011);国家自然科学基金项目(31171513)

作者简介:牛伊宁(1969-),男,甘肃庆阳人,讲师,博士,主要从事作物系统管理研究。E-mail:niuyun03@126.com

通信作者:南志标 E-mail:zhbiao@lzu.edu.cn

表1 试验地2008—2009年饲草生长季节降水量和环县1957—2007年平均降水量

Table 1 Monthly precipitation of crop growing period from 2008 to 2009 and average precipitation from 1957 to 2007 in Huanxian County

年份 Year	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	总计 Total
2008	15	26	31	83	83	134	8	379
2009	7	32	12	60	111	21	37	280
1957—2007	24	42	49	92	97	65	32	401

草生长期降水分布及多年平均值见表1。

1.2 试验设计和处理 试验种植了8种饲草作物,包括7种单播和1种混播饲草作物,有春季饲草作物饲料玉米、苏丹草、湖南稷子、谷子和箭筈豌豆;夏季饲草作物(7月份种植)燕麦以及玉米、高粱和谷子混合后种植的和草(当地传统的饲草作物,以收获植物营养体为主,是家畜的主要饲草来源),另外还有当地广泛种植的多年生饲草紫花苜蓿。

试验小区面积为10 m×15 m,小区间用垄(宽度为30 cm)分开。一年生饲草作物按照完全随机区组设计,采用周年轮作,有4种轮作序列,每年都有相同的作物和物候(Phase)同时出现(表3),每个轮作序列4次重复,有4×4×2=32个小区;还有一个多年生草地(苜蓿),3次重复;试验共35个小区,饲草的播种量见表2。

玉米—箭筈豌豆—燕麦轮作(MVO):第1年春季种植玉米(表3),秋季收获,冬季休闲;第2年春季种植箭筈豌豆,夏季(7月)收获后种植燕麦,秋季(10月底)收获,冬季休闲,完成一个轮作序列;第3

年春季种植玉米,重新开始轮作。

苏丹草—箭筈豌豆—燕麦轮作(SVO):第1年春季种植苏丹草,其他同MVO轮作序列。

湖南稷子—箭筈豌豆—燕麦轮作(PVO):第1年春季种植湖南稷子,其他同MVO轮作序列。

表2 饲草播种量

Table 2 Crops sowing rate kg·hm⁻²

饲草 Forage crop	播种量 Sowing rate
玉米 <i>Zea mays</i>	18.75
苏丹草 <i>Sorghum sudanense</i>	60.00
湖南稷子 <i>Echinochloa crusgalli</i> var. <i>frumentacea</i>	45.00
谷子 <i>Setaria italica</i>	18.00
箭筈豌豆 <i>Vicia sativa</i> cv. 6625	75.00
燕麦 <i>Avena sativa</i>	75.00
和草(玉米:高粱:谷子,1.0:1.0:0.5) Mixed crop (maize:sorghum:foxtail millet,1.0:1.0:0.5)	80.00
紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	9.00

表3 饲草轮作序列

Table 3 Forage crop rotation sequence

处理 Rotation	2008年 Year				2009年 Year			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
MVO	玉米 Maize				箭筈豌豆 Vetch		燕麦 Oat	
	箭筈豌豆 Vetch		燕麦 Oats		玉米 Maize			
SVO	苏丹草 Sudan grass				箭筈豌豆 Vetch		燕麦 Oat	
	箭筈豌豆 Vetch		燕麦 Oats		苏丹草 Sudan grass		休闲	
PVO	湖南稷子 Proso				箭筈豌豆 Vetch		燕麦 Oat	
	箭筈豌豆 Vetch		燕麦 Oats		湖南稷子 Proso		休闲	
MVM	谷子 Millet				箭筈豌豆 Vetch		和草 Mixed crop	
	箭筈豌豆 Vetch		和草 Mixed crop		谷子 Millet			
Lucerne	苜蓿 Lucerne							

谷子—箭筈豌豆—和草轮作(MVM):第1年春季种植谷子,秋季收获,冬季休闲;第2年春季种植箭筈豌豆,夏季(7月)收获后种植和草,秋季(10月底)收获,冬季休闲,完成一个轮作序列;第3年春季种植谷子,重新开始轮作。

1.3 饲草田间管理 种植前试验小区进行翻耕,播前每公顷施氮(尿素)69 kg,磷(K_2O ,重过磷酸钙)23 kg。2008年4月25日,种植春季一年生饲草(玉米、苏丹草、湖南稷子、谷子和箭筈豌豆)和多年生饲草紫花苜蓿。和草和燕麦在2008年7月15日种植。玉米采用人工点播,每窝种2颗种子,间苗时留1株,种植密度为每亩(约667 m^2)4200株,其他饲草作物采用行播,行间距40 cm。玉米在拔节期(7月15日)每公顷追施氮(尿素)69 kg。2009年春季饲草在5月18日播种,玉米在7月25日追肥,播种方式同2008年。

玉米、谷子在饲草成熟时(10月)收获;2008年苏丹草和湖南稷子收割2次,8月中旬初花期收获第1茬,10月收获第2茬(拔节期)。和草和燕麦2008年在当年10月底收获,燕麦处在花期(高70 cm),和草是苗期(高60 cm);紫花苜蓿10月收获一次。2009年苏丹草收割2茬,湖南稷子收割了1茬(由于持续降水,影响了第2茬的恢复生长);紫花苜蓿收割3茬,第1茬(6月)和第2茬(8月)在初花期收获,第3茬在10月收获(苗期)。

1.4 观测项目与方法

1.4.1 产量测定 产量采用全区收获法。饲草收获时,以防边际效应,小区两边两行和两端50 cm的产量不计,剩余的在收获后测定产量,再随机抽取约1 kg小样带回实验室称量,80 $^{\circ}C$ 烘干至质量恒定,计算干物质产量。

1.4.2 饲草日平均干物质积累量 以饲草的干物质产量与生长天数的比值作为饲草日平均干物质积累量($g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)。

1.5 统计分析 数据用Excel整理输入,方差分析(ANOVA)采用完全随机区组设计统计方法。箭筈豌豆在饲草产量的分析中被排除,主要是因为它的产量很低(2008年)或者几乎没有产量(2009年)。饲草产量分析时,饲草种类作为主要因素;饲草轮作效应分析时,轮作处理作为主要因素,用SPSS 13.0软件对试验结果进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 饲草产量 2008年,单作系统各饲草产量依次为玉米($13.1 t \cdot hm^{-2}$)>苏丹草($7.7 t \cdot hm^{-2}$)>燕麦($6.5 t \cdot hm^{-2}$)>湖南稷子($5.2 t \cdot hm^{-2}$)>谷子($3.6 t \cdot hm^{-2}$)>苜蓿($0.82 t \cdot hm^{-2}$),玉米的产量是苏丹草的1.7倍,湖南稷子的2.5倍,燕麦的2倍;和草的产量为 $0.91 t \cdot hm^{-2}$ (图1)。2009年,饲草的产量为2.8~6.1 $t \cdot hm^{-2}$,苜蓿的产量最高($6.1 t \cdot hm^{-2}$),玉米和燕麦的产量分别为5.9和4.4 $t \cdot hm^{-2}$,苏丹草、谷子和湖南稷子的产量依次降低;和草的产量只稍高于湖南稷子。

2008年种植的玉米、湖南稷子、苏丹草和燕麦的产量都比2009年高;谷子的产量两年基本持平(3.6和3.8 $t \cdot hm^{-2}$);和草和苜蓿的产量与其他饲草的变化趋势相反,2009年的产量高于2008年(图1)。

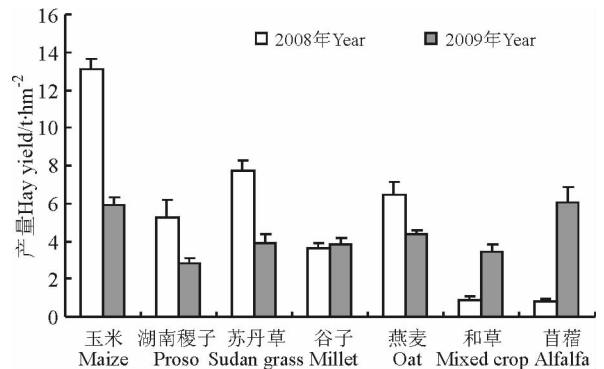


图1 2008年和2009年饲草产量

Fig. 1 Hay yields of different crops from 2008 to 2009

从两年的平均产量来看,玉米的产量最高,为 $9.5 t \cdot hm^{-2}$,苏丹草($5.8 t \cdot hm^{-2}$)和燕麦($5.4 t \cdot hm^{-2}$)次之,和草的产量最低($2.1 t \cdot hm^{-2}$)。

2.2 饲草干物质日平均积累量 2008年种植的7种饲草中,玉米的日平均干物质积累量最高,为 $8.0 g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$;燕麦的日积累量为 $6.0 g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$,苏丹草为 $4.7 g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ 。湖南稷子、谷子、和草和苜蓿的干物质积累量依次降低(图2)。2009年,燕麦的日干物质积累量最高,为 $4.5 g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$,小于2008年的 $6.0 g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$;玉米的干物质日积累量为 $4.1 g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$,几乎是2008年的50%。2009年干物质日积累量大小的次序是燕麦>玉米>和草>苜蓿>湖南稷子>苏丹草>谷子(图2)。

2.3 轮作系统的产量 轮作系统中,饲草的干物质生物量不同(图3)。两年试验中,MVO轮作系统

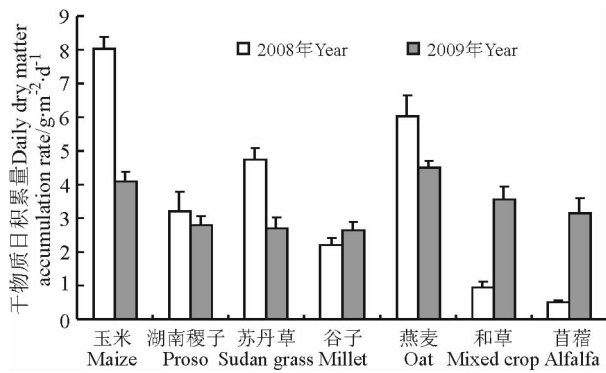


图2 2008和2009年饲草干物质日平均积累量

Fig. 2 Mean daily dry matter accumulation rates of different crops from 2008 to 2009

的产量最高 ($7.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 显著高于其他轮作系统 ($P < 0.05$)。SVO 轮作系统的产量次之 ($5.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 与PVO 轮作系统的产量 ($4.8 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 无显著差异 ($P > 0.05$)。MVM 处理产量最低 ($2.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$), 与苜蓿 ($3.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 无显著差异, 与其他处理差异显著。

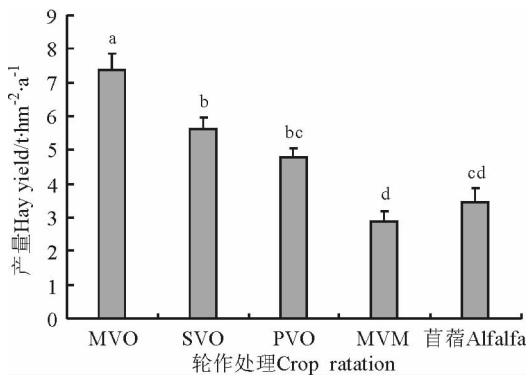


图3 饲草轮作系统的干物质产量

Fig. 3 Hay yields under different rotation sequences from 2008 to 2009

注: 不同字母表示各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lower case letters show significant difference at 0.05 level.

3 讨论

冬春季食物缺乏是限制我国北方农牧业发展的主要因素^[5,13], 家畜的体质量减少 20%~30%^[14], 需要 3 个月才能恢复到先前的体况^[15]。因此, 增加饲草产量、发展和平衡饲草周年供应是克服季节性饲草短缺的主要途径^[4,9,12,16]。

降水是影响当地一年生饲草产量的主要因素。2009 年饲草生长季节的降水量为 280 mm, 远低于 2008

年的 379 mm, 从而导致 2009 年饲草的产量大幅下降。

种植的饲草作物中, 2008 年饲料玉米的干物质产量达 $13.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 即使在 2009 年干旱年份, 玉米的生物量 ($5.9 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 也仅次于苜蓿 ($6.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 这反映出 C_4 植物玉米在水热配合充分的条件下, 能快速利用有限的自然资源, 加速生长获得高产。

苏丹草和湖南稷子, 尤其是湖南稷子种子相对较小, 采用行播的方法, 播种深度浅, 地表干旱, 出苗迟; 头茬刈割后, 二茬幼苗的再生和生长情况容易受天气状况的影响, 天气晴朗, 土壤水分含量高, 刈割后 3 d 就可以再生长出 80% 的幼苗 (2008 年), 但是刈割后还没有恢复生长的饲草若遇到持续降水, 二茬草再生就会受到影响, 产量降低 (2009 年)。苏丹草和湖南稷子在当地每年能够刈割两茬 (8 和 10 月), 可以作为家畜的青饲料来利用。

试验进行的两年中, 和草与燕麦相比, 燕麦更适合当地的自然条件, 获得高产。2008 和 2009 年燕麦的平均生物量为 $5.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 日平均干物质积累量达到 $5.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 仅次于玉米 ($6.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)。燕麦产量高与 8、9 月较高的气温和降水有关, 其可以充分利用水热条件充足的条件, 快速生长。另外, 和草、苏丹草和湖南稷子二茬再生植株在第 1 次霜冻后叶片死亡, 但燕麦可以抵抗短期的霜冻, 相对延长了燕麦的生长时间; 生长后期凉爽的气候条件也为燕麦的生长创造了良好条件, 增加了燕麦的生物量。以当地农户每家平均种植小麦 2.8 亩 (0.187 hm^2 , 项目组 2009 年调查数据) 计算, 每家农户在小麦收获后复种燕麦, 每年可增加家畜饲草产量 1 t 左右, 能够补充农户每年 50% 的饲草缺口。

在轮作系统中引进豆科作物可以控制作物病害和杂草^[17-18], 改善土壤结构, 增加土壤肥力, 但本研究引进的箭筈豌豆表现较差。2008 年, 由于前期干旱, 箭筈豌豆出苗差, 补种后, 几天的连续降水及高温导致了白粉病的发生, 这可能与适合在气温较低的环境下生长有关; 2009 年, 5-7 月的严重干旱导致了箭筈豌豆当年绝收。另一方面, 也可能与选择的箭筈豌豆的品种有关。大豆 (*Glycine max*) 是当地种植比较广泛的主要豆科作物, 经济价值也较高, 但受当地自然条件的限制, 大豆产量不稳定, 种植面积有限。有研究表明^[19], 在年均降水量 560 mm 的陇东黄土高原作物系统中, 利用冬小麦收获后的休闲土地, 复种豆科饲草毛苕子 (*Vicia villosa*)

和箭筈豌豆,可增加优质毛苕子干草 $5.19 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,粗蛋白 $1.04 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,比小麦连作可提高粗蛋白 1.7 倍。因此,在当前的轮作系统中引进适合当地自然条件的豆科作物还需要进一步探索。

紫花苜蓿是陇东黄土高原的重要饲草种,由于较深的直根系,可以充分利用土壤深层水分,水分利用效率高^[20-21]。苜蓿在 2008 年建植当年产量低,但第 2 年产量就达到 $6.57 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,成功建植的苜蓿管理粗放且生长年限长,成为当地植被恢复和退耕还草的主要饲草品种。

在干旱半干旱地区,为了保持作物的产量和农业的可持续发展,已经建立了不同作物和保护性耕作的轮作试验^[22-23]。Latta 和 O'Leary^[24]报道在澳大利亚东南半干旱地区进行了 16 年的 3 个轮作和 2 个耕作处理的小麦产量试验,在开始的前 5 年,作物的产量和土壤中储存的水分在免耕直播和耕作直播的轮作系统中没有差异;但随着试验的持续,发现长休闲可以增加作物的产量,而且作物产量的增加是由于土壤中可利用的氮元素的增加和作物根部病害的减少,而不是因为土壤水分的增加^[25]。许多长期的轮作试验还表明,不同的作物轮作序列会引起土壤中有机态氮和有机碳不同程度的下降^[26-27]。因此,轮作通过改变土壤的理化性质和水分状况等而影响作物的产量。本研究只有两年的饲草作物产量数据,关于轮作处理对饲草产量的影响还没有深入研究。一年生饲草以两年作为一个轮作序列,轮作序列的生物量是饲草两年的平均生物量。由于饲草品种和轮作序列的不同,土地的生产力不同。其中玉米—箭筈豌豆—燕麦(MVO)轮作系统的产量最高($7.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

试验表明,春季饲草作物饲料玉米,苏丹草和湖南稷子适合当地生长,饲草产量高;夏季饲草作物燕麦在当地表现良好,值得大面积推广种植。

参考文献

- [1] Seré C, Steinfeld H. World Livestock Production Systems: Current Status, Issues and Trends[M]. Rome: Food and Agriculture Organization, 1996.
- [2] Steinfeld H, Wassenaar T, Jutzi S. Livestock production systems in developing countries: Status, drivers, trends[J]. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 2006, 25(2): 505-516.
- [3] Devendra C. Crop-animal system in Asia: future perspectives[J]. *Agricultural Systems*, 2002, 71: 179-186.
- [4] Devendra C. Perspectives on animal production systems in Asia[J]. *Livestock Science*, 2007, 106: 1-18.
- [5] Hou F J, Nan Z B, Xie Y Z, et al. Integrated crop-livestock production systems in China[J]. *The Rangeland Journal*, 2008, 30: 221-231.
- [6] 任继周, 朱兴运. 农业生态生产力及其生态潜势—兼论“有动物农业”的重要意义[J]. *草业学报*, 1995, 4(2): 1-5.
- [7] 祝廷成, 李志坚, 张为政, 等. 东北平原引草入田、粮草轮作的初步研究[J]. *草业学报*, 2003, 12(3): 34-43.
- [8] 韩建国, 王堃. 我国农牧交错带的农牧业生产现状及产业结构调整[A]. 见: 全国半农半牧区草地农业可持续发展研讨会文集[C]. 长春: 中国农学会, 2000: 63-69.
- [9] World Bank. Sheep and Goats in Developing Countries—Their Present and Future Role[R]. USA: World Bank, 1983.
- [10] Devendra C, Sevilla C. Availability and use of feed resources in crop-animal systems in Asia[J]. *Agricultural Systems*, 2002, 71: 59-73.
- [11] Zemelink G, Ifar S, Oosting S J. Optimum utilization of feed resources: Model studies and farmers practices in two villages in East Java, Indonesia[J]. *Agricultural Systems*, 2003, 76: 77-94.
- [12] Salem H B. Feeding strategies to increase small ruminant production in dry environments[J]. *Small Ruminant Research*, 2008, 77: 174-194.
- [13] Gou X S, Long R J, Ding L M, et al. Goat products, breeding objectives and flock structure on the Tibetan Plateau[A]. *Multifunctional Grasslands in a Changing World*[C]. Hohhot: International Rangelands and International Grasslands Congress, 2008: 105.
- [14] Kemp D R, Nan Z B, Wu J P, et al. Finding new strategies to rehabilitate grasslands in western China[A]. *Multifunctional Grasslands in a Changing World*[C]. Hohhot: International Rangelands and International Grasslands Congress, 2008: 1144.
- [15] Jin Y S, Xiong Y Q, Terry Ervin R. Energy efficiency of grassland animal production in northwest China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1990, 31: 63-76.
- [16] Petters A, Kopec S. Production and productivity of cutting grasslands in temperate climates of Europe in Grassland and land use systems[A]. *Grassland and Land Use Systems*[C]. Grado: 16th General Meeting of the European Grassland Federation, 1996: 59-73.
- [17] Li G D, Helyar K R, Conyers M K, et al. Crop responses to lime in long-term pasture-crop rotations in a high rain-

- fall area in south-eastern Australia[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 2001, 52: 329-341.
- [18] Heenan D P, Taylor A C, Cullis B R, *et al.* Long-term effects of rotation, tillage and stubble management on wheat production in southern NSW [J]. Australian Journal of Agriculture Research, 1994, 45: 93-117.
- [19] 高崇岳, 田贵仓, 吴民信, 等. 庆阳塬区复种豆科牧草的研究[A]. 见: 庆阳黄土高原试验站论文集[C]. 兰州: 甘肃科技出版社, 1987.
- [20] 沈禹颖, 南志标, 高崇岳, 等. 黄土高原苜蓿-冬小麦轮作系统土壤水分时空动态及产量响应[J]. 生态学报, 2004, 24(3): 640-647.
- [21] 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[J]. 草业科学, 2005, 22(12): 24-30.
- [22] Unger P W, Stewart B A, Parr J F, *et al.* Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions[J]. Soil and Tillage Research, 1991, 20: 219-240.
- [23] Angus J F. Nitrogen supply and dynamic in Australian agriculture[J]. Australian Journal of Experiment Agriculture, 2001, 41: 277-288.
- [24] Latta J O, O'Leary G J. Long-term comparison of rotation and fallow tillage systems of wheat in Australia [J]. Field Crops Research, 2003, 83: 173-190.
- [25] Incerti M, Sale P W G, O'Leary G J. Cropping practice in the Victorian Mallee. 2. Effect of long fallows on the soil water economy and yield of wheat[J]. Australian Journal of Experiment Agriculture, 1993, 33: 885-895.
- [26] Clarke A L, Russell J S. Crop sequential practices[A]. In: Russell J S, Greacen E L. Soil Fraction in Crop Production in Semi-arid Environment[M]. St. Lucia, Qld: University of Queensland Press, 1977: 279-300.
- [27] Heenan D P, McGhie W J, Thompson F M, *et al.* Decline in soil organic carbon and total soil nitrogen in relation to tillage, stubble management, and rotation [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1995, 35: 877-884.

Dry matter yield and productivity of forage crops under rotation systems in Longdong loess plateau

NIU Yi-ning^{1,2}, NAN Zhi-biao¹

(1. Gansu Provincial Key Lab of Arid Land Crop Science, Faculty of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Feed source shortage is the main problem that limits livestock production in Longdong loess plateau of China. The object of this experiment was to compare the dry matter yield of forage crops under different rotation sequences to meet livestock demand. The experiments were carried out in 2008 and 2009. Eight forage crops, forage maize (*Zea mays*), sudan grass (*Sorghum sudanense*), proso millet (*Echinochloa crusgalli* var. *frumentacea*), oats (*Avena sativa*), foxtail millet (*Setaria italica*), common vetch (*Vicia sativa*), lucerne (*Medicago sativa*), and one mixed crop (maize, foxtail millet and sorghum sown together, a traditional livestock feed source) were trialed. The forage crops were grown in four rotation treatments: maize-vetch-oats rotation (MVO), sudan grass-vetch-oats rotation (SVO), proso-vetch-oats rotation (PVO) and millet-vetch-mixed crop rotation (MVM), and the other treatment was perennial lucerne field (Lucerne). The dry matter yield over 2 experimental years averaged $9.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ for maize, $5.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ for sudan grass, $5.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ for oats, and $4.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ for proso. The mixed crop had the lowest average yield ($2.1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$). The MVO rotation had the highest DM yield (average $7.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$). Compared to the PVO rotation, the SVO rotation had a higher DM yield ($5.6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$). The results showed that maize, proso and oats were productive forage options, especially oats are good summer forage in the region. Introducing annual forage crops into current farming system could reduce feed deficits for livestock producers.

Key words: Forage crops; dry matter yield; crop-livestock farming system; Longdong loess plateau