

黄土丘陵沟壑区三种豆科人工草地的植被与土壤特征

常生华, 侯扶江*, 于应文, 南志标

(兰州大学草地农业科技学院 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室 甘肃草原生态研究所, 兰州 730020)

摘要:在黄土高原丘陵沟壑区以 4 龄苜蓿 (*Medicago sativa*)、沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) 和甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*) 单播人工草地为材料, 人工牧草、杂草和土壤 3 方面研究了其生产性能和生态特性。在相同的管理条件下, 沙打旺种群高度平均高于苜蓿 33.8%, 是甘草的 6.2 倍; 苜蓿的密度分别是甘草和沙打旺的 5.9 倍和 2.6 倍; 沙打旺盖度最大, 苜蓿次之, 甘草最小。三种牧草的地上生物量及其占群落生物量的比例依次是苜蓿 > 沙打旺 > 甘草; 苜蓿种群生物量占群落的比例接近沙打旺, 二者远高于甘草。甘草人工草地的杂草种数、杂草生物量及其生物量占群落的比例均最大。0~100cm 土层内三种人工草地的地下生物量依次为甘草 > 苜蓿 > 沙打旺。0~100cm 土层内营养物质含量: 全 P, 苜蓿 > 甘草 > 沙打旺; 全 N, 苜蓿与甘草接近, 高于沙打旺; 速效 P、速效 N 都是甘草最高; 有机质含量, 苜蓿接近甘草、高于沙打旺。讨论了管理措施与人工草地的关系, 加大投入是维持人工草地群落稳定的前提之一。

关键词: 农牧交错带; 人工草地; 豆科牧草; 杂草; 生物量; 土壤; 稳定性

Vegetation and soil characteristic of three forage legume pastures on the Loess Plateau

CHANG Sheng-Hua, HOU Fu-Jiang, YU Ying-Wen, NAN Zhi-Biao (College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University; Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems; Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(5): 932~937.

Abstract: Lucerne (*Medicago sativa*), milkvetch (*Astragalus adsurgens*) and licorice (*Glycyrrhiza uralensis*) are among the most important forage legumes on the Loess Plateau in China. Various studies have been undertaken on herbage dry matter yield, effects on water and soil conservation, and management aspects of these three legume species. However, study on soil fertility, weeds, and botanical composition of the plant communities has been sparse. Therefore, the biomass, weed invasion and soil fertility of four-year-old monocultures of lucerne, milkvetch and licorice were investigated on the rolling country of the Loess Plateau in Huanxian county, Gansu Province, China in 2002. The results showed that the population height of milkvetch is 33.8% and 623.0% higher than lucerne and licorice, respectively. Similarly, milkvetch had the highest coverage (65.8%), followed by lucerne (48.5%), and licorice had the lowest coverage (1.0%). The plant density measured as number of plants per m² was 22.5 for lucerne, 8.5 for milkvetch and 3.8 for licorice.

The above-ground biomass of lucerne, milkvetch and licorice was 255.2, 152.6 and 1.1g/m², respectively, while total community above-ground biomass of lucerne, milkvetch and licorice meadows was 271.1, 169.6 and 115.5g/m², and the above-ground biomass ratios of each legume species to their total communities were 91.9%, 90.0% and 0.9%, respectively. The under-ground biomass of licorice, lucerne and milkvetch meadow communities at 0~100 cm soil depth was 1142.4, 307.8, and 195.1g/m², respectively, and the percentage of licorice, lucerne and milkvetch was 72%, 89% and 67%.

基金项目: 国家重点基金研究发展规划资助项目(G2000018602); 国家自然科学基金西部重大研究计划资助项目(90102011); 环县农牧交错带生态农业建设与示范项目

收稿日期: 2003-09-23; **修订日期:** 2003-12-10

作者简介: 常生华(1978~), 男, 甘肃民勤人, 助研, 主要从事草业科学研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: houfj@hotmail.com

Foundation item: National Key Basic Research Special Foundation Project of China (No. G2000018602)

Received date: 2003-09-23; **Accepted date:** 2003-12-10

Biography: CHANG Sheng-Hua, Research associate, mainly engaged in grassland science.

respectively. The total community above-ground to underground biomass ratio of licorice, lucerne and milkvetch meadows was 9.89, 1.14 and 1.15.

The main weed species found in the three fields differed. The most important weeds in the lucerne field were *Lespedeza davurica*, *Artemisia capillaries* and *Pennisetum flaccidum*, and the three weeds above-ground biomass percentages were 21.1%, 11.2% and 11.1%, respectively; whereas these percentages in licorice meadow were 16.9%, 26.8%, 33.2%, respectively. There were much fewer weeds in milkvetch fields in terms of both species and density. The major weed found in milkvetch meadow was *Agriophyllum arenarium*, and its percentage of above-ground biomass was 6.7%. The soil water content of licorice, lucerne and milkvetch meadows at 0~200 cm soil depth was 175.8, 210.1 and 142.8mm, respectively. The content of total phosphorus, nitrogen and organic matter in the soil of those three fields followed the same order, i. e., lucerne > licorice > milkvetch, but the highest contents of available P and N in the soil were found in the licorice field. Based on this study's production, weed biomass percentage and soil fertility measurements, lucerne is the most suitable planting on the Loess Plateau. Moreover, the community characteristics of licorice meadow are similar to natural rangeland, thus, for restoration and improvement of natural rangeland in this area. Planting licorice is economical and easy. The effects of management practice on field productivity is discussed, and it is suggested that increasing input, especially fertilizer input, will be necessary to maintain productive and stable forage legume communities.

Key words: cropping-pastoral ecotone; sown field; legume forage; weeds; biomass; soil fertility

文章编号:1000-0933(2004)05-0932-06 中图分类号:Q948,Q958,S812.2,S54 文献标识码:A

农牧交错带的草地是我国重要的生态屏障,巨大的人口压力和草地不合理利用,导致 90%以上的草地退化,已经引起了严重的经济、社会与生态问题。据 2000 年调查,地处黄土高原丘陵沟壑区的环县,退化草地面积达 50.3 万 hm^2 ,占可利用草地面积的 88.5%^[1]。过牧是草地退化的主要人为因素,人工草地牧草产量高、质量好,可以有效解决冬春饲草匮乏的问题,缓解天然草地的放牧压力,使难以为继的退化草地得以修养生息^[2]。同时,发展人工草地可以促进放牧与舍饲有机结合,改善农业结构,在西部生态环境建设中具有关键性作用。

黄土高原主要种植苜蓿(*Medicago sativa*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)等豆科牧草,占人工牧草种植面积的 99%以上。关于苜蓿、沙打旺等人工草地的水保效益,生产特征,管理效应等已有报道^[3~6]。但对 3 种人工草地群落的种群特征、土壤肥力和杂草状况报道较少,本研究主要比较大田种植的 3 种豆科人工草地的植被与土壤特征,以期为人工草地的可持续利用、豆科牧草高产栽培、退化天然草地的恢复以及选择生态与生产效益俱佳的豆科牧草提供决策依据。

1 材料与方法

1.2 试验方法

1.2.1 人工草地建植与管理 苜蓿、沙打旺、甘草均于 1998 年 5 月中旬播种,沙打旺播种面积 40 hm^2 ,苜蓿和甘草各 15 hm^2 。苜蓿条播,播种量 11.25 kg/hm^2 ;沙打旺和甘草撒播,播种量分别为 3.75 kg/hm^2 和 37.5 kg/hm^2 。播前一次性施底肥 $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$,施肥量 600 kg/hm^2 。播种前研究区草地已经退化,主要物种有茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)。翻耕播后从 1999 年开始,人工草地每年刈割一次,粗放管理,靠自然降水补给水分。甘草经过 5~6 年的自然生长后,其地下部分用做药材。

1.2.2 样地设置与取样方法 2000 年,在 3 种人工草地上选择地形、土壤植被条件较为一致的地段设置观测取样小区,面积均为 0.16 hm^2 。分别在 2001~2003 年的 8 月中旬调查,2002 年是豆科牧草产量的高峰期^[6],而且经过 4a 的生长,3 种豆科牧草已经形成相对稳定的种群结构,主要报道 2002 年的调查结果。

沿小区对角线布设 4 个 1m×1m 的样方,调查样方内所有植物种类、密度、株高、盖度,齐地面刈割,分种统计地上生物量^[10]。鲜样 105℃杀青,65℃烘至恒重。物种的重要值=(相对生物量+相对密度+相对株高+相对盖度)/4。

用直径 10cm 的根钻在小区内沿对角线取根样,每 10cm 一层,取至 100 cm,每小区 8 钻^[9]。先人工检出肉眼可见的根,然后过 80 目筛筛出细根,死活根用肉眼识别,剔除杂质,65℃恒温烘干后称重。

取根样的同时获得土样。测定全氮(半微量凯氏法)、全磷、速效氮(蒸馏法)、速效磷、有机质^[11]。

土壤水分用 CNC503B(DR)智能中子水分仪(北京核子仪器公司)测定。每 10cm 读 1 个数,测定深度 200cm。

1.2.3 数据统计分析 所有数据用 Microsoft Excel 软件分析,并进行差异显著性检验。

2 结果

2.1 人工草地植被特征

2.1.1 种群特征 3种豆科牧草中,沙打旺植株最高,分别是苜蓿和甘草的1.5倍和6.2倍($P < 0.01$),苜蓿的株高是甘草的4.1倍($P < 0.01$)(表1)。苜蓿的种群密度分别高于沙打旺和甘草1.6倍($P < 0.05$)和4.9倍($P < 0.01$),沙打旺的种群密度是甘草的2.2倍($P < 0.05$)。沙打旺种群的分盖度分别比苜蓿和甘草大17.3%和64.8%,苜蓿种群的分盖度大于甘草47.5%。3种豆科牧草种群的地上生物量,苜蓿高于沙打旺67.2%,远远高于甘草;苜蓿种群的生物量占群落生物量的比例与沙打旺接近,远高于甘草($P < 0.01$)。

表1 3种豆科人工牧草的种群特征

Table 1 Population characteristics of three herbage legume

种群 Population	高度 Height (cm)	密度 Density (plant/m ²)	盖度 Coverage (%)	地上生物量 (g/m ²) Aboveground biomass	生物量占群落的比例 Proportion of biomass in community (%)
甘草 Licorice	13.0±5.2 ^A	3.8±1.5 ^{Aa}	1.0	1.1	0.9
苜蓿 Lucerne	53.3±4.5 ^B	22.5±3.4 ^B	48.5	255.2	91.9
沙打旺 Milkvetch	81.3±10.5 ^C	8.5±2.7 ^{Ab}	65.8	152.6	90.0

表中同一列上标有不同大写字母代表0.01差异水平,不同小写表示差异水平在0.05 Small letters and capitals show significant different at $P < 0.05$ and $P < 0.01$ in the same line, respectively

2.1.2 杂草特征 苜蓿人工草地最主要杂草是达乌里胡枝子(图1),密度为18株/m²,占群落杂草地上生物量的21.1%,重要值为0.15;其次是茵陈蒿,密度为17株/m²,占群落杂草地上生物量的11.2%,重要值为0.05。这两种杂草均为小半灌木。第3种主要杂草是白草(*Pennisetum flaccidum*),其密度较大,为128株/m²,占群落杂草地上生物量的11.1%,重要值0.04。其它主要杂草还有长芒草和赖草(*Leymus secalinus*)等。

甘草人工草地最主要杂草是白草,根茎型禾草,占群落地上生物量的33.2%,种群密度84株/m²(图1);其次为茵陈蒿,种群密度46株/m²,占群落地上生物量的26.8%;第3种是达乌里胡枝子,密度27株/m²,占群落地上生物量的16.9%。白草、茵陈蒿和胡枝子的重要值分别为0.12、0.10和0.08,与苜蓿人工草地最重要的3种杂草相同,但其重要值和生物量比例的排序相反。甘草人工草地的其它两种主要杂草是二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)和长芒草,分别占群落生物量的5.0%左右。

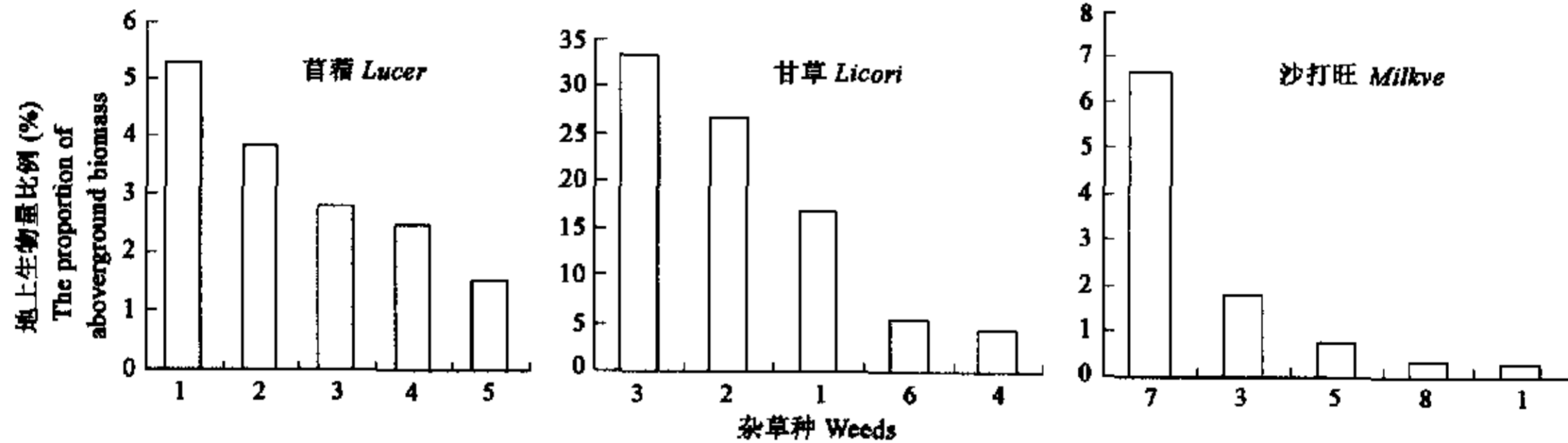


图1 3种豆科草地牧草群落的主要杂草

Fig. 1 Main weeds of three forage legume pastures

1. 达乌里胡枝子 *L. davurica*, 2. 茵陈蒿 *A. capillaries*, 3. 白草 *P. flaccidum*, 4. 长芒草 *S. bungeana*, 5. 赖草 *L. secalinus*, 6. 二裂委陵菜 *P. bifurca*, 7. 沙蓬 *A. arenarium*, 8. 棉蓬 *Corispermum puberulum*

沙打旺人工草地的杂草种类相对较少(表2),最主要的是沙蓬(*Agriophyllum arenarium*),1年生,种群密度147株/m²,占群落地上生物量的6.7%,重要值0.12(图1)。其次是白草,占群落地上生物量的1.8%,密度11株/m²,重要值0.04。

2.1.3 人工草地的群落特征 3种豆科人工草地群落物种数差异不显著($P > 0.05$),苜蓿草地群落地上生物量最高,比甘草草地和沙打旺草地分别高出155.6 g/m²、101.5 g/m²;其中,前者的杂草生物量为其群落地上生物量的97.6%,而苜蓿草地和沙打旺草地的杂草地上生物量分别为其群落地上生物量的8.1%和10.0%。

3种人工草地地下生物量的垂直分布格局有明显差异(图2)。甘草草地群落0~100 m地下生物量约为地上的10倍,随土壤深度的增加逐渐减少,0~30 cm土层地下生物量占0~100 cm土层的72%。苜蓿草地和沙打旺草地0~30 cm土层地下生物量分别为0~100 cm地下生物量的89%和67%,而且苜蓿草地0~30 cm土层的根量明显高于沙打旺草地,但两者的差异在30 cm以下逐渐缩小(图2),群落地下生物量也随深度增加而减少,变化幅度明显小于甘草草地(图2)。0~100 cm土层,甘草草地地下生物量分别比苜蓿草地(307.8 g/m²)和沙打旺草地(195.1 g/m²)高2.7倍和4.9倍($P < 0.01$)(表2),主要体现在0~

80cm 土层(图 2),3 种人工草地的地下生物量在 80cm 以下土层差异较小。

2.2 土壤肥力

3 种人工草地表层(0~10cm)全磷含量较为接近,随着土层加深,三者间全磷含量的差异增加,30~50cm 土层全磷含量最大,然后逐渐减少(图 3)。土壤剖面上,甘草草地的全磷含量变化较为平缓,变化趋势介于苜蓿草地和沙打旺草地之间。0~100cm 土层,苜蓿草地的全磷含量最高,分别高于甘草草地和沙打旺草地 13.09%和 43.52%($P < 0.01$)。

3 种豆科草地土壤全氮含量随着土壤深度增加呈下降趋势,0~30cm 土层全氮含量较高,20~80cm 土层下降幅度较大(图 3)。苜蓿草地 0~100cm 土层平均全氮含量分别高于甘草草地和沙打旺草地 13.68%和 71.62%($P < 0.01$)。

豆科人工草地的土壤速效磷含量在 0~100cm 剖面上呈逐渐下降趋势,其中 0~60cm 土层降幅较大,上层土壤(0~20cm)尤其如此,60cm 以下土层趋缓(图 3)。甘草草地速效磷平均含量分别高于苜蓿草地和沙打旺草地 47.21%和 13.86%($P < 0.01$)。

速效氮含量在 0~100cm 土层的变化趋势类似于速效磷,即随土壤深度增加逐渐减少,但变化幅度较为均匀,这一点明显不同于速效磷。苜蓿草地速效氮含量最高,分别高于甘草草地和沙打旺草地 29.34%和 68.25%($P < 0.01$)。豆科草地的土壤有机质变化趋势类似全氮,在 0~100cm 剖面上呈反“S”曲线,30~70cm 土层降幅较大(图 3)。甘草草地和苜蓿草地有机质平均含量差异不显著($P > 0.05$),但分别高于沙打旺草地 75.15%和 76.92%($P < 0.01$)。

甘草、苜蓿和沙打旺 3 种人工草地 0~200cm 土壤剖面上的水分含量分别为 175.8mm、210.1mm 和 142.8mm,苜蓿分别比甘草和沙打旺高 19.5%($P < 0.02$)和 47.1%($P < 0.001$)(图 3)。根据它们之间的相互关系,可以将土壤水分的变化分为 0~80cm 和 80~200cm 两个层次,甘草、苜蓿和沙打旺 3 种人工草地的水分含量分别为 70.1mm、55.8mm、57.4mm 和 105.8mm、154.3mm、85.4mm。在 0~80cm 土层,甘草人工草地土壤水分分别高于苜蓿和沙打旺 25.5%($P < 0.01$)和 22.0%($P < 0.01$),但是苜蓿和沙打旺人工草地的土壤水分无显著差异($P > 0.1$)。在 80~200cm 土层,甘草和苜蓿分别比沙打旺高 23.9%($P < 0.001$)和 80.7%($P < 0.0001$),沙打旺人工草地深层土壤水分显著低于苜蓿和甘草。

3 讨论

苜蓿草地主要杂草是小半灌木达乌里胡枝子和茵陈蒿,甘草草地是地下芽的根茎禾草白草,沙打旺草地主要是一年的沙蓬(图 1),为此可以根据不同杂草的生长特性采取针对性的防除措施。同时,杂草生活型不同,反映出群落生物与非生物环境的差异。据 2002 年 9 月初观测,甘草草地和苜蓿草地 0~100cm 土壤水分含量平均分别为 10.62%和 10.71%,沙打旺草地却只有 6.22%,分别比前两者低 41.43%和 41.92%。2002 年 9 月下旬,测得甘草草地和苜蓿草地的凋落物和立枯物分别为 51.43g/m²和 26.9 g/m²,而沙打旺草地不足 5 g/m²。沙打旺草地恶劣的土壤水分与营养条件难以满足需求较为稳定的多年生杂草的生长,并且冬季较少的地被物难以满足地面芽或地上芽的多年生杂草和小半灌木的越冬需求,而能够利用短暂适宜条件迅速生长的一年生杂草得以充分发展。因此,调整人工草地管理策略,优化群落冠层微气候与土壤环境,一定程度上也可以达到控制杂草及其种类的目的。

人工草地杂草数量是杂草与栽培牧草对资源竞争的结果。甘草草地人工群落的地下生物量集中分布于 100cm 土层内(图 2),这也是多数杂草根的主要分布层,使得甘草对杂草在对土壤资源的竞争中无优势可言,甚至相对于当地种处于劣势地位,这可能是甘草草地杂草较多的重要原因之一。一般来说,草本植物地下生物量要高出地上部分数倍^[12],因此根据表 2,结合该区域天然草地和 1~11a 撂荒地的研究结果^[9, 13],分析认为,苜蓿和沙打旺在 1m 以下仍有相当可观的根量分布,据 2002 年 10 月测定,10 株沙打旺个体,其肉眼可见的主根深度为 85~235cm,平均为 155.3(±26.8)cm;苜蓿和沙打旺因而具有较强的利用深层水分的能力,在与群落杂草对水资源的竞争中拥有绝对优势,可能是干旱的黄土高原地区这两种人工草地杂草较少的原因。

表 2 3 种人工草地的群落特征

群落 Community	SNW (No./m ²)	ABW (g/m ²)	ABC (g/m ²)	UBC (g/m ²)	ABC/ UBC
甘草 Licorice	11.5±2.6	111.3	115.5	1142.4	9.89
苜蓿 Lucerne	9.0±2.5	15.9	271.1	307.8	1.14
沙打旺 Milkvetch	7.3±1.0	17.0	169.6	195.1	1.15

SNW 杂草种数 Species number of weeds, ABW 杂草的地上生物量 Aboveground biomass of weed.

ABC 群落的地上生物量 Aboveground biomass of community, UBC 群落的地下生物量 Underground biomass of community

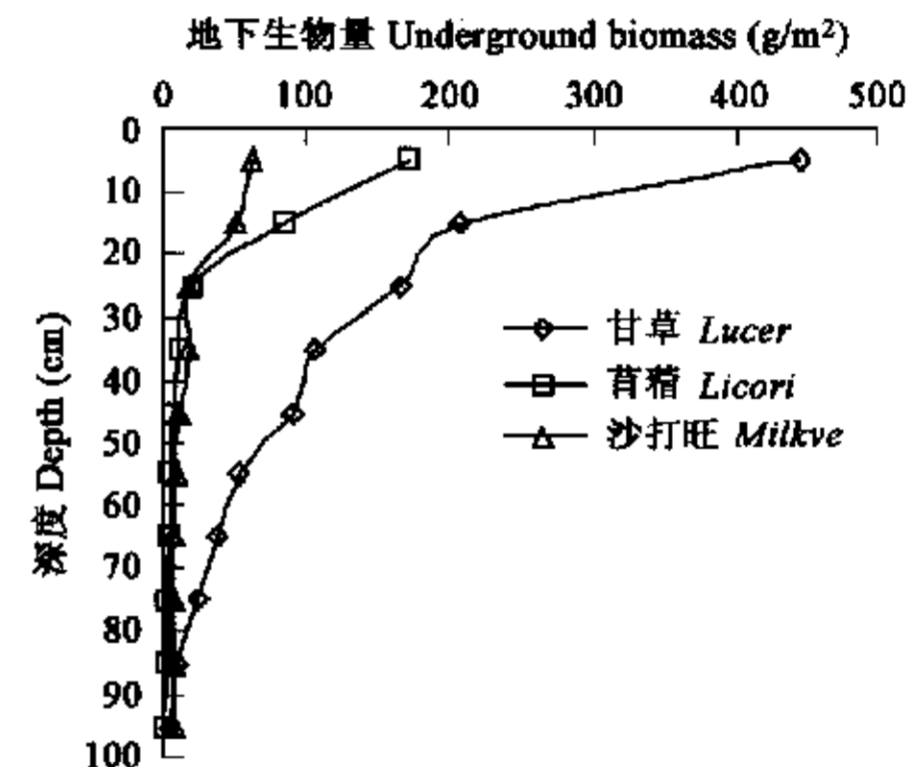


图 2 3 种人工草地的地下生物量的垂直分布

Fig. 2 Vertical distribution of underground biomass in three legume pastures

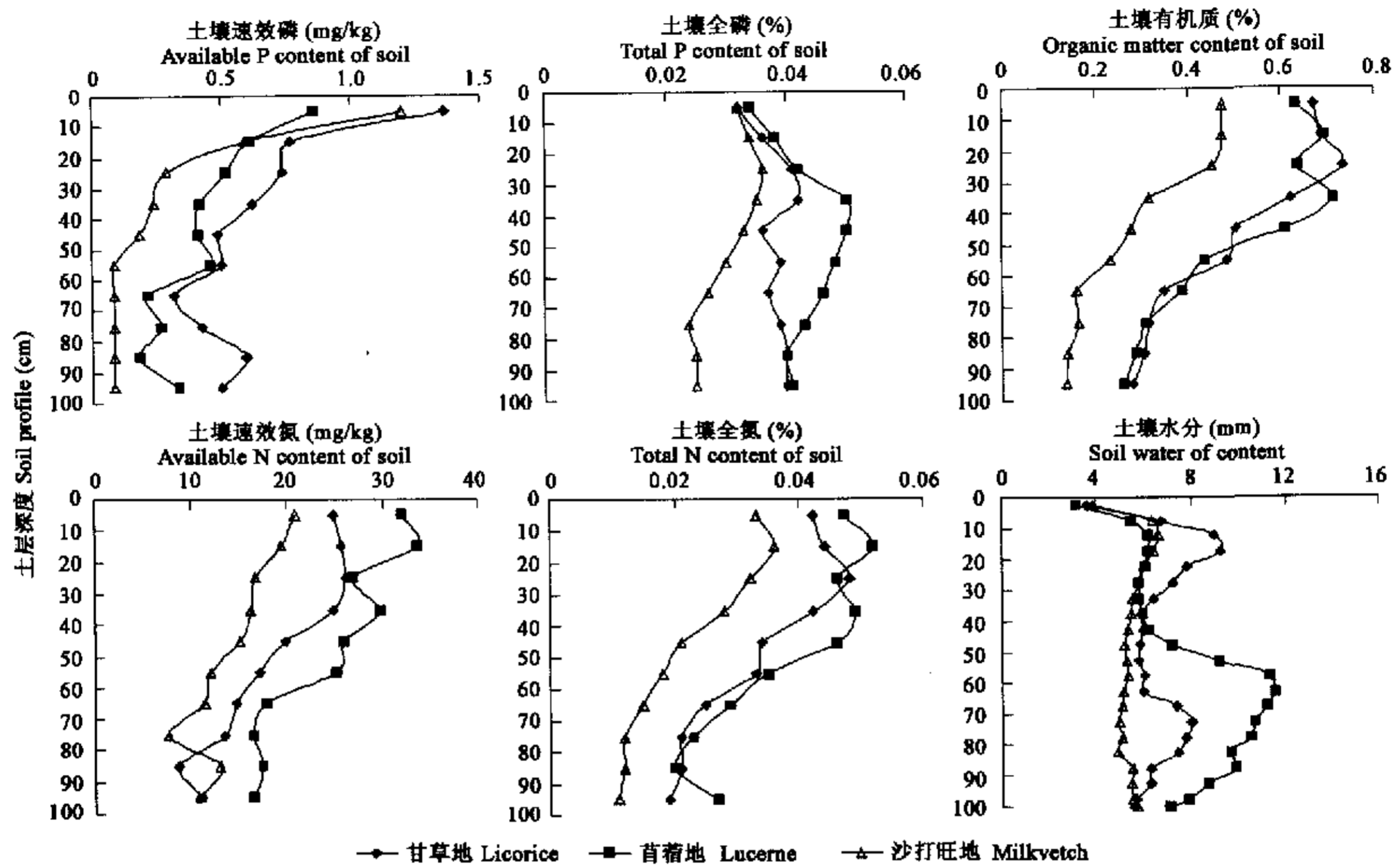


图3 3种人工草地的土壤理化性质

Fig. 3 Soil properties of three legume pastures

根据牧草产草量、杂草比例和土壤肥力,3种豆科牧草中,苜蓿是适应黄土高原的首选草种。但是,对于畜牧业生产和生态环境建设而言,农牧交错带人工草地杂草的出现并不意味着草地退化,相反,如果人工群落演替趋于稳定群落(如天然植被),也具有积极的生产与生态意义^[13]。2002年,同期调查研究区封育多年的天然草地,地上生物量为 $114.4\text{g}/\text{m}^2$,主要植物种依次为白草、茵陈蒿、达乌里胡枝子、长芒草和二裂委陵菜,生物量比例分别为44.3%、11.5%、10.9%、6.2%和4.8%;甘草草地群落与之相比,生物量接近,杂草种类仅相差3种,但主要的5种草及其生物量比例的排序除了长芒草和二裂委陵菜外,完全相同;说明甘草草地群落结构与功能非常接近于天然草地群落。一般来说,黄土高原撂荒地需要11~13a、甚至30a以上才能完全恢复到天然植被状态^[13, 14],而甘草草地人工群落仅演替4~5a便接近天然植被,这可能与豆科牧草的固氮作用改善了土壤营养条件有关。可见,在黄土高原丘陵沟壑区,种植甘草、改良天然草地不失为一种既经济又快速的植被恢复手段。

分析5项土壤肥力指标在0~100cm土壤剖面的变化趋势,可以归为4种类型:“低-高-低”型,即上层土壤和深层土壤含量较低,如全磷含量;“慢-快-慢”下降型,即随着土层深度增加,含量的下降幅度在上层土壤和深层土壤较大,呈反“S”状,如土壤全氮和有机质;“快-慢”下降型,即降幅随土层加深趋缓,呈倒“L”状;匀速下降型,如土壤速效磷(图3)。同一土壤肥力指标在不同的豆科草地中表现出相似的变化趋势,说明土壤元素的垂直分布格局可能是3种豆科牧草相似的利用规律与研究区土壤特性综合作用的结果,同时反映出本项研究所选择的试验样地土壤条件较为一致和均匀,具有代表性。

3种人工草地土壤肥力指标的相互关系也可以归纳为3种类型(图3):苜蓿>甘草>沙打旺,如全磷、全氮、速效氮和土壤水分;甘草>苜蓿>沙打旺,如速效磷;甘草≈苜蓿>沙打旺,如有机质。体现了不同豆科牧草对不同营养物质利用水平的差异。过去认为沙打旺根系发达,吸收土层深处的水分,对土层具有干燥作用^[7, 8],是沙打旺草地利用5~6a后迅速衰败的原因,根据本项研究,可能是土壤肥力衰竭与水分枯竭共同作用的结果。这是因为:①沙打旺草地的5种土壤肥力指标均低于苜蓿地和甘草地,表明沙打旺草地存在土壤肥力衰竭的可能;②沙打旺人工草地具有相对较高的沙打旺产量和较少的杂草,7月以后充沛的降水也仅仅促进1年生杂草沙蓬的生长(图1),而对土壤营养元素需求较为稳定的多年生杂草并未得到充分发展,说明沙打旺对土壤元素的利用能力可能远高于其它杂草,从而抑制了其它杂草的生长;③水是土壤元素的载体,植物对水分的吸收、运输往往伴随着土壤营养元素的吸收运输,加之人工草地生态系统土壤水分尚可通过降水补给,而多数营养元素除施肥外几乎没有其它来源(N、C除外),因此,沙打旺导致深层水分枯竭^[7, 8],也说明更容易引起土壤元素衰竭;④土壤肥力状况较好的苜蓿具有较长的利用年限。黄土高原豆科人工草地割草而不施肥是较为普遍的管理方式。有研究指出,从草地每收获1kg干物质,

所输出的 N、P、K 分别为 10~50g, 2~4g, 20g^[15]。当地豆科牧草系统长期进行物质(如 N、P 等元素)输出,而没有人地物质输入,最终导致了草地营养衰竭。就此而言,草地水分和土壤营养枯竭固然是沙打旺人工草地迅速衰败的直接原因,但是根本问题还是管理失误。因此,仍然有必要强调,黄土高原地区要舍得用好地种草,有必要加大投入^[2],这是维持人工草地群落稳定的重要前提。

References;

- [1] Jing Y F, Chang S H. The current situation of natural grassland degeneration and its control countermeasure in Huanxian County. *Prataacult Sci.*, 2002, (3): 9~12.
- [2] Ren J Z, Hou F J. Vital issues related to grass planting in western China. *Prataacult Sci.*, 2002, 19(2): 1~6.
- [3] Wang Y R, Hampton J G, Sun J H. Effect of topography and phosphorus on seed yield and quality of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in China. *J. Appl. Seed Prod.*, 1996, 14: 53~57.
- [4] Taylor A J, Marble V L. Lucerne irrigation and soil water use during bloom and seed set on a red-brown earth in South eastern Australia. *Austra. J. Experi. Agri.*, 1986, 26: 577~581.
- [5] Askarian M, Hampton J G, Hill M J. Effect of row spacing and sowing rate on seed production of Lucerne (*Medicago sativa*) cv. Grasslands Oranga. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1995, (38): 289~295.
- [6] Mu X M, Chen G L, Jia H Y. The relationships of the morphological characters with *Astragalus adsurgens* between its forage yield and soil moisture and fertilizer. *Bullet Soil Water Conser.*, 1995, 15(1): 7~11.
- [7] Liu H L, Liang Y M, Li X L. Effects of planting different forage species on raising soil fertilities in loess hilly regions. *Bullet Soil Water Conser.*, 1995, 17(4): 4~10.
- [8] Li D Q, Jiang J, Liang Y M, et al. Study on water use efficiency of the artificial grassland at Ansai county in the Loess hilly region. *Res. Soil Water Conser.*, 1996, 3(2): 66~74.
- [9] Hou F J, Xiao J Y, Nan Z B. Eco-restoration of abandoned farmland in the Loess Plateau. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(8): 923~929.
- [10] Ren J Z. *Research Methods of Prataacultural Science*. Beijing: China Agricultural Press, 1998.
- [11] Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Analysis on Physical and Chemical Property of Soil*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1978. 62~141.
- [12] Ren J Z. *Pastoral Agriculture Ecology*. Beijing: China Agriculture Press, 1995. 1~19.
- [13] Hou F J, Nan Z B, Xiao J Y, et al. Characteristics of vegetation, soil and their coupling of degraded grasslands. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, 13(8): 915~922.
- [14] Zhou H Y, Chen J M, Zhou L. Natural recoveage succession and regulation of the prairie vegetation on the Loess Plateau. *Res. Soil Water Conser.*, 1998, 5(1): 126~138.
- [15] Hopkins A. Herbage procluction. In: Hopkins A, ed: Grass: It's Production and Utilization. 3rd ed. *Oxford Blackuell Sciene Ltd.* 2000. 90~110.

参考文献:

- [1] 敬永芳,常生华.环县天然草原退化现状与治理对策.草业科学,2002,(3):9~12.
- [2] 任继周,侯扶江.要正确对待西部种草.草业科学,2002,19(2):1~6.
- [6] 穆兴民,陈国良,贾恒义.沙打旺形态指数与产草量及水肥关系研究.水土保持通报,1995,15(1):7~11.
- [7] 刘洪岭,梁一民,李香兰.不同牧草对黄土丘陵区土壤培肥效果的研究.水土保持通报,1998,17(4):4~10.
- [8] 李代琼,姜峻,梁一民,等.安塞黄土丘陵沟壑区人工草地水分有效利用研究.水土保持研究,1996,3(2):66~74.
- [9] 侯扶江,肖金玉,南志标.黄土高原退耕地的生态恢复.应用生态学报,2002,13(8):923~929.
- [10] 任继周.草业科学的研究方法.北京:中国农业出版社,1998.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化性质分析.上海:上海科技出版社,1978.62~141.
- [12] 任继周.草地农业生态学.北京:中国农业出版社,1995.1~19.
- [13] 侯扶江,南志标,肖金玉,等.重牧退化草地的植被、土壤及其耦合特征.应用生态学报,2002,13(8):915~922.
- [14] 邹厚远,程积民,周麟.黄土高原草原植被的自然恢复演替及调节.水土保持研究,1998,5:126~138.