

渭北旱塬区不同立地条件对紫花苜蓿产量的影响与途径分析

魏婉玲¹, 程积民², 高阳³, 刘伟²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部

水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 动物科技学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了提高渭北旱塬区土地利用效率和紫花苜蓿高产栽培, 对渭北旱塬区阴坡(东坡)和阳坡(西坡)紫花苜蓿生长状况进行了测定研究, 并选取3个紫花苜蓿的性状进行简单相关、偏相关和途径系数分析。研究表明, 在同一坡向不同坡位上, 坡下部紫花苜蓿的产量和生理性状的生长状况都优于坡上部; 在同一坡位不同坡向上, 阴坡紫花苜蓿的生长状况优于阳坡, 其中阴坡下部的生长状况最好, 阳坡上部的生长状况最差。坡向对紫花苜蓿产量的影响大于坡位的影响。株高、分枝数和单茎重的简单相关系数均为极显著, 但途径系数和决策系数差别较大。株高和分枝数对产量起主要直接作用, 而单茎重对生物量的直接作用不甚明显, 主要是通过株高和分枝数对生物量起间接作用。

关键词: 渭北旱塬; 紫花苜蓿; 不同立地条件; 途径分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)05-0073-06

中图分类号: S551.7

Effects of Different Site Conditions on Alfalfa Field and Path Analysis in Arid Area of Northern Weihe River Basin

WEI Wan-ling¹, CHENG Ji-min², GAO Yang³, LIU Wei²

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of land use and achieve the high yield and benefit of alfalfa in the arid area of northern Weihe River basin, the growth status of alfalfa both on shady (east) slope and sunny (west) slope was investigated and simple correlation analysis, partial correlation analysis, and path analysis were made for selected three characters of alfalfa. Results show that in the same slope aspect but different slope positions, alfalfa yield and the growth conditions of physiological characteristics on lower slope are superior to those on uphill. In the same slope position but different aspect, the growth status of alfalfa on the shady slope is better. The best growth condition is on lower shady slope and the worst, on upper sunny slope. Effect of slope aspect on alfalfa yield is greater than slope position. The simple correlation coefficients on plant height, branch number, and single-stem weight are very significant, but the path coefficient and decision-making factors vary greatly. Plant height and branch number play a direct role in yield. The direct effect of single-stem on biomass is not significant, whereas plant height and branch number play an indirect role in biomass.

Keywords: arid area of northern Weihe River basin; alfalfa; different site conditions; path analysis

陕西渭北旱塬区沟壑纵横, 地形复杂, 山坡面积较大, 生态环境脆弱。为了保护生态环境, 促进生态农业的进一步发展, 该区积极实行了国家退耕还草的

战略方针。草地对水分的吸收、保持作用很强, 而且可以大大减少黄土坡面的土壤侵蚀^[1]。紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是世界上栽培最早, 面积最

收稿日期: 2010-03-20

修回日期: 2010-04-01

资助项目: 中国科学院重要方向项目“半干旱黄土区植被自然恢复过程及适度利用研究”(KZCX2-YW-441), (KZCX2-YW-149); 国家重点基础研究发展计划 973 项目“北方草地与农牧交错带生态系统维持与适应性管理的科学基础”(2007CB106803); 国家自然科学基金重点项目“干旱缺水地区土地覆被变化对区域耗水的影响”(40730631)

作者简介: 魏婉玲(1986—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区伊犁市人, 在读硕士研究生, 主要方向为草地生态学。E-mail: wwl1986413@163.com.

通信作者: 程积民(1955—), 男(汉族), 陕西省蒲城县人, 研究员, 博导, 主要从事草地资源与恢复生态等方面的研究工作。E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn.

大,利用最广泛和经济价值最高的优质牧草,享有“牧草之王”的美誉。紫花苜蓿既能保持水土,提高土壤肥力和改善生态环境,又可发展畜牧业,增加经济效益。有关研究表明,长期种植苜蓿可以提高土壤的矿化势和供氮能力^[2],使土壤养分“表聚”^[3-4],改良土壤^[5]。减小表层土壤水分的增加^[6],促进土壤熟化^[7]。因此,紫花苜蓿是退耕还林草以来种植面积最大的草种,也是长期以来西部大开发中加强生态环境建设和提高养畜业经济效益的首选牧草。近年来,许多学者从紫花苜蓿的光合能力、水肥条件、刈割方式、生产能力、生育时期以及施磷对紫花苜蓿光合特性^[8]等方面进行了大量研究,但有关不同立地条件对紫花苜蓿产量影响方面的报道甚少。紫花苜蓿的产量及生产潜力不仅受降水量、温度、日照、土壤类型等的影响,而且在地理条件复杂的渭北旱塬梁沟壑区,立地条件更是成为制约紫花苜蓿产量的重要因子。本研究的目的在于确定不同立地条件下紫花苜蓿的最佳刈割时期及生长性状和生物量变化动态,揭示不同立地条件下紫花苜蓿产量的变化规律,为提高该区土地利用效率,合理制定轮作周期及提高紫花苜蓿生产力提供科学依据。

1 调查地概况

试验区位于渭北旱塬梁沟壑区陕西省咸阳市彬县永乐乡的高辉村,东连旬邑、淳化,南依永寿、麟游,西临长武、灵台,北接甘肃正宁,是连接秦陇的咽喉要道,也是 2 省 3 县的交界之地。平均海拔 1 040 m,年均气温 9.7 °C,昼夜温差 11.7 °C,极端最低气温 -24.3 °C,极端最高气温 36.3 °C,≥10 °C 活动积温 2 955.8 °C,年均降水量 561 mm,无霜期 180 d,属典型的大陆性暖温带半湿润气候。目前试验区以流域为单位,将人工紫花苜蓿草地作为高产技术配套推广区,已建立 70 hm² 优质高产人工紫花苜蓿草地试验与示范基地。

2 材料与方法

2.1 试验设计与样地选择

2009 年 5 月初到 6 月底对处于分枝期后期和盛花期的 6~7 年生紫花苜蓿进行观测,记录多项生长指标。试验以流域为单元,根据高辉村红沟流域的不同立地条件,测定样地选在不同的坡向(阳坡为西坡,阴坡为东坡)和坡位(根据不同海拔分为坡上部,坡中部,坡下部),共选取 36 块样地,阳坡和阴坡各随机选取 18 块样地,在不同坡位上用样线法各选取 6 块样地。每块样地设 3 次重复,即每块样地调查 3 个样

方,共 108 块样方,每块样方按对角线法选取,距边缘大于 50 cm。在选取样地和样方时,避开了某些被牲畜啃食或由于某些非自然因素造成秃斑的地块,避免对实验结果造成影响。

2.2 调查方法

在样地设标准样方面积为 100 cm×100 cm,共 108 块样方。

2.2.1 株高 采用直尺法测量株高,在每块样方内随机选取有代表性的 10 株紫花苜蓿,测定植株从地面到茎顶端的拉直高度,取平均值。

2.2.2 分枝数和密度 采用统计法测定分枝数与植株密度,在每块样方内随机选取 10 株紫花苜蓿,分别统计出每棵的分枝数,取平均值,并统计出每个样方的植株密度。

2.2.3 产量 采用齐地刈割每块样方内的紫花苜蓿,称取地上生物量鲜重作为产量。

2.2.4 单株重 采用计算法测定单株重,按下式计算单茎重:单茎重 = 地上生物量(鲜重)/(密度×平均分枝数)。

2.3 数据处理

数据的运算和绘图采用 Excel 软件,方差分析和相关的分析采用 SPSS 10.0 软件。

3 调查结果与分析

3.1 不同立地条件对紫花苜蓿生长的影响

通过对试验区 36 块样地的测定研究,发现不同立地条件下紫花苜蓿的生长状况有明显的异质性,不同立地条件下对紫花苜蓿的株高、分枝数、单茎重、密度均有较大影响,其变化趋势见表 1。

3.1.1 不同立地条件对紫花苜蓿生物量的影响 生物量的高低反映植物光合产物积累的大小,是生产力的量度,可体现植物功能^[9]。经过方差分析,在该地区紫花苜蓿的生物量受立地条件影响非常显著($p=0.000$, $F=24.519$)。不同立地条件下紫花苜蓿的生长状况如表 1 所示。从不同坡位上来看,下坡位紫花苜蓿的生物量比上坡位总体提高了 53.7%。其中阴坡的下坡位比上坡位提高了 61.1%,阳坡的下坡位比上坡位提高了 40.6%。

由于从上坡位到下坡位土壤团聚度也随之增大,结构性逐渐增强,土壤的含水量也在增加。据有关研究认为下坡位是坡面养分的汇集处^[11],为苜蓿的生长提供了一个良好的环境。从不同坡向看来,阴坡的紫花苜蓿生物量比阳坡总体提高了 94.7%。从同一坡位不同坡向来说,上坡位紫花苜蓿的生物量阴坡比阳坡提高了 75.4%,中坡位提高了 99.4%,下坡位提

高了 100%。因为在渭北旱塬的红沟流域, 阴坡的日照时间短, 土壤水分蒸发消耗少, 含水量相对较高, 土壤湿度较阳坡大, 有利于紫花苜蓿生物量, 而阳坡的紫花苜蓿草地日照时间长, 土壤水分消耗大, 湿度相

对较小, 抑制了紫花苜蓿的生长。由于坡向和坡位的共同影响, 造成阳坡上坡位的紫花苜蓿生物量最低 1 680.125 g, 阴坡下坡位的紫花苜蓿生物量最高 4 746.667 g。

表 1 阴坡和阳坡不同坡位紫花苜蓿生长状况

坡向	坡位	平均生物量/ g	平均株高/ cm	平均分枝数 (个/株)	平均密度/ (株·m ⁻²)	平均单茎重/ g
阳坡	上部	1 680.125	23.020	3.194	85.222	6.137
	中部	1 905.556	26.693	3.707	62.067	9.886
	下部	2 362.778	27.129	4.213	55.200	10.938
	∑	2 000.625	25.452	3.704	68.604	8.809
阴坡	上部	2 946.667	32.553	4.507	95.067	11.067
	中部	3 800.000	34.466	4.713	71.467	11.404
	下部	4 746.667	35.141	4.967	84.000	11.560
	∑	3 894.286	34.161	4.373	84.114	10.916

通过多重比较, 进一步研究 6 种立地条件对紫花苜蓿生物量影响的差异性, 我们发现只有阳坡上部、阴坡中部和阳坡中部、阳坡下部差异不显著 ($p=0.65, p=0.247, p=0.633$), 其余几种立地条件均为显著, 而且多为极显著(见表 2)。并且对于同一坡位不同坡向来说, 各坡位阳坡和阴坡之间平均生物量的差异都是极其显著的; 对于同一坡向不同坡位的来说, 只有阳坡上部和阳坡中部平均生物量的差异不显著, 其余的差异都是显著的。所以, 不同的坡向和坡位在很大程度上影响了紫花苜蓿的生物量。

3.1.2 不同立地条件对紫花苜蓿生长特性的影响
植株高度是生长特性中的一个重要指标, 是描述牧草生长状况, 反映其产量高低较为理想的一个特征量,

其生长动态变化呈“缓慢生长—快速生长—缓慢生长”的 S 型曲线, 符合 Logistic 生长模型。阴坡比阳坡紫花苜蓿的株高总体提高了 36.0%, 分枝数提高了 3.9%, 单茎重提高了 2.1%。上坡位比下坡位株高总体提高了 12.1%, 分枝数提高了 20.5%, 单茎重提高了 30.8%。

由图 1 可以明显看出不同立地条件对株高、分枝数、单茎重影响的趋势。虽然在不同坡位上阴坡的各项生长特性明显高于阳坡, 但是随着海拔的降低, 紫花苜蓿的整体生长趋势由上坡位至下坡位大体一致。同一坡向紫花苜蓿的生长趋势一致, 即无论阴坡或阳坡的株高、分枝数还是单茎重均为坡下 > 坡中 > 坡上; 但密度基本为坡上大于坡下。

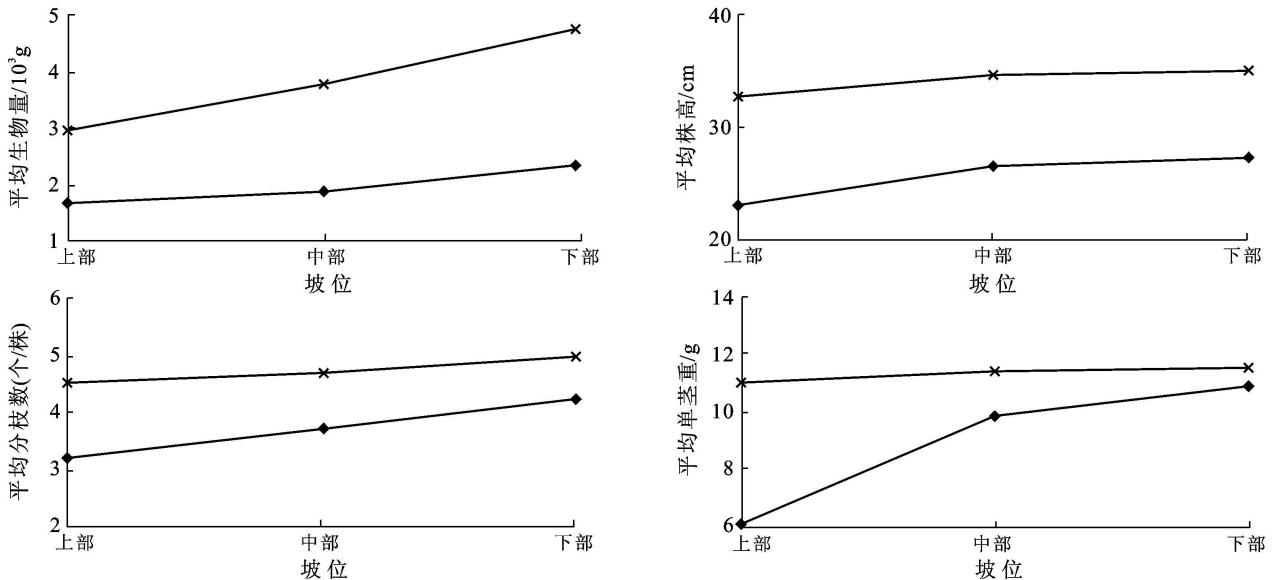


图 1 4 个性状在不同坡位坡向的变化趋势

表 2 不同坡向坡位紫花苜蓿生物量多重比较

立地条件		均值差(I-J)	标准误	显著性	95%置信区间	
					下限	上限
阳坡下部	阳坡中部	662.000 20	342.912 01	0.065	-45.735 4	1 369.735 8
	阳坡上部	820.888 73 *	328.313 26	0.020	143.283 5	1 498.494 0
	阴坡下部	-2 231.333 20 *	342.912 01	0.000	-2 939.069	-1 523.598
	阴坡中部	-1 284.666 60 *	342.912 01	0.001	-1 992.402	-576.931 0
	阴坡下部	-431.333 10	363.713 11	0.247	1 182.000	319.333 9
阳坡中部	阳坡下部	-662.000 20	342.912 01	0.065	-1 369.736	45.735 4
	阳坡上部	158.888 53	328.313 26	0.633	-518.716 7	836.493 8
	阴坡下部	-2 893.333 40 *	342.912 01	0.000	-3 601.069	-2 185.598
	阴坡中部	-1 946.666 80 *	342.912 01	0.000	-2 654.402	-1 238.931
	阴坡下部	-1 093.333 30 *	363.713 11	0.006	-1 844.000	-342.666 3
阳坡上部	阳坡上部	-820.888 73 *	328.313 26	0.020	-1 498.494	-143.283 5
	阳坡中部	-158.888 53	328.313 26	0.633	-836.493 8	518.716 7
	阴坡下部	-3 052.221 93 *	328.313 26	0.000	-3 729.827	-2 374.617
	阴坡中部	-2 105.555 33 *	328.313 26	0.000	-2 783.161	-1 427.950
	阴坡下部	-1 252.221 83 *	349.983 11	0.002	-1 974.551	-529.892 2
阴坡下部	阳坡下部	2 231.333 20 *	342.912 01	0.000	1 523.597 6	2 939.068 8
	阳坡中部	2 893.333 40 *	342.912 01	0.000	2 185.597 8	3 601.069 0
	阳坡上部	3 052.221 93 *	328.313 26	0.000	2 374.616 7	3 729.827 2
	阴坡中部	946.666 60 *	342.912 01	0.011	238.931 0	1 654.402 2
	阴坡下部	1 800.000 10 *	363.713 11	0.000	1 049.333 1	2 550.667 1
阴坡中部	阳坡下部	1 284.666 60 *	342.912 01	0.001	576.931 0	1 992.402 2
	阳坡中部	1 946.666 80 *	342.912 01	0.000	1 238.931 2	2 654.402 4
	阳坡上部	2 105.555 33 *	328.313 26	0.000	1 427.950 1	2 783.160 6
	阴坡上部	-946.666 60 *	342.912 01	0.011	-1 654.402	-238.931 0
	阴坡下部	853.333 50 *	363.713 11	0.028	102.666 5	1 604.000 5
阴坡下部	阳坡下部	431.333 10	363.713 11	0.247	-319.333 9	1 182.000 1
	阳坡中部	1 093.333 30 *	363.713 11	0.006	342.666 3	1 844.000 3
	阳坡上部	1 252.221 83 *	349.983 11	0.002	529.892 2	1 974.551 5
	阴坡下部	-1 800.000 10 *	363.713 11	0.000	-2 550.667	-1 049.333
	阴坡中部	-853.333 50 *	363.713 11	0.028	-1 604.000	-102.666 5

苜蓿生物量是受多种因素影响的重要经济性状,植株性状是影响产草量的直接形态性状。为了探明性状之间对生物量的影响状况,我们对此进行了深入分析。

3.2 生物量性状的通径分析

3.2.1 建立多元回归方程 对选定影响紫花苜蓿生物量的3个性状(株高、分枝数、单茎重)建立多元回归方程,其中: X_1 :株高, X_2 :分枝数, X_3 :单茎重, y :生物量^[10]。可得多重线性回归方程:

$$y = -2 628.66 217 + 101.49 604X_1 + 496.33 027X_2 + 55.77 701X_3$$

经检验, F 值为21.56,除了 X_3 的 P 值为0.230 4不显著,其余项和截距项都为极其显著。

3.2.2 产量性状的简单相关系数 简单相关可反映

出2个性状间的密切程度及其相关性质^[11]。经过对各个性状之间以及与生物量之间的简单相关系数(表3)分析可知,所选取的这3个性状与产量的简单相关系数均为极显著,其中株高和产量的简单相关系数达0.775,分枝数和生物量的相关系数为0.568,除了分枝数和单茎重的相关程度不显著外,株高与分枝数以及单茎重的简单相关系数均为极显著。

表 3 产量性状的简单相关系数

性状	X_1	X_2	X_3	y
X_1	1.000	0.517 **	0.577 **	0.775 **
X_2		1.000	0.343	0.666 **
X_3			1.000	0.568 **

注 **在0.01水平显著相关; X_1 株高; X_2 分枝数; X_3 单茎重。

3.2.3 产量性状的偏相关系数 简单相关系数往往不能准确的说明在多变量的情况下各个变量之间的关系,也不能区分主要因素和次要因素。偏相关系数是当多个自变量共同影响应变量时,确定其他自变量不变的情况之下,讨论某一自变量对应变量的影响^[12]。因而我们研究产量和各性状之间的偏相关系数,深入探讨它们之间的关系(见表4)。

经过分析可知在控制分枝数和单茎重对生物量影响不变的情况下, X_1 株高对生物量的影响为极显著($p=0.572$),同理分枝数 X_2 对生物量影响为极显著($p=0.489$),只有单茎重对产量的影响不显著。由此看来,株高和分枝数对生物量的影响十分显著。

表4 产量性状的偏相关系数

性状	X_1	X_2	X_3	y
X_1	1.000	0.018	0.262	0.572**
X_2		1.000	-0.60	0.489**
X_3			1.000	0.234

注: **为0.01极显著相关; X_1 株高; X_2 分枝数; X_3 单茎重。

3.2.4 各相关性状对产量的通径分析 通径系数是变量标准化的偏回归系数,表示自变量与应变量之间的有方向的相关系数,是介于回归系数与简单相关

系数之间的一种统计量^[10]。它最重要的是可以看出自变量是如何直接影响或如何通过其他自变量间接影响应变量的。

用选取的紫花苜蓿的性状,建立正则方程组,解方程得各个性状的通径系数为 $p_1=0.502$, $p_2=0.353$, $p_3=0.158$,表明株高(X_1)和分枝数(X_2)对生物量的贡献最显著(见表5)。根据表5可知,株高、分枝数和单茎重与生物量的相关系数都是极其显著的,但是通径系数差别较大,其中株高(X_1)的通径系数最显著为0.526,它通过分枝数和单茎重影响生物量的通径系数分别只有0.082和0.091。所以株高自身对生物量的贡献很大,换言之,株高对生物量是起主要的直接作用。而单茎重主要是通过株高对生物量起作用的,它通过株高影响生物量的通径系数为0.29,自身对生物量的影响的通径系数只有0.15,所以单茎重对生物量的影响是主要通过株高的间接影响来影响生物量。

分枝数自身对生物量的通径系数为0.345,大于通过其它2个性状对生物量的间接作用。所以在生产中,我们要注重提高株高,增加分枝数来提高紫花苜蓿的产量。

表5 3个相关性状间及与产量之间的通径分析

性状	R	$R^2(i)$	D.E	IE			
				X_1	X_2	X_3	Σ
X_1	0.775	0.502	0.526		0.182	0.091	0.273
X_2	0.666	0.353	0.345	0.260		0.053	0.313
X_3	0.568	0.158	0.154	0.290	0.120		0.410

注: R 相关系数; D.E 直接通径系数; $R^2(i)$ 决策系数; IE 间接通径系数。

4 结论

在渭北旱塬的红沟流域,不同立地条件对紫花苜蓿生物量影响极其显著。从不同坡位上来看,下坡位紫花苜蓿的生物量比上坡位总体提高了53.7%,株高提高了12.1%,分枝数提高了20.5%,单茎重提高了30.8%。

这是由于降水是该地区土壤水分及作物生长需水的主要来源,该地区年降水量仅为550mm,雨热同季,由于草地土壤水分降低和土壤干层的形成,加之气候干旱,降雨稀少,致使土壤水分亏缺严重,极大地影响和抑制了紫花苜蓿的正常生长^[13],导致了阴阳坡紫花苜蓿生长状况的差异。

从不同坡向看来,阴坡的紫花苜蓿生物量比阳坡总体提高了94.7%,株高提高36.0%,分枝数提高3.9%,密度提高22.6%,单茎重提高2.1%。一些国

外学者发现土壤有机质含量从坡顶到坡脚逐渐增加,土层逐渐增厚。高雪松等^[14]对四川盆地西缘山的典型坡面进行研究,发现3个坡面地形部位,下坡位土壤物理结构性能较好,养分含量较高。所以下坡位的紫花苜蓿产量要高于上坡位,长势要优于上坡位。

通过对紫花苜蓿生物量和生长性状的通径分析得株高的通径系数高达0.526,分枝数的通径系数为0.345,而单茎重的通径系数仅为0.154。所以株高和分枝数对生物量的直接影响极显著,单茎重对产量只是间接影响,大部分是通过作用于株高对产量起作用的。韩路等的研究表明单株分枝数对产草量起决定作用。Rumbaugh等认为,随着种植密度的增加,分枝数对产草量的影响加大。曹志忠等^[16]也认为苜蓿产草量与植株高度呈正相关。彭宏春,刘明秀,刘明启^[17-19]的研究结果也表明紫花苜蓿生长高度与生物产量呈显著正相关,本研究的结果也与其相似。

[参 考 文 献]

- [1] 高雪松, 邓良机, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-56.
- [2] 刘晓宏, 郝明德. 长期种植苜蓿对土壤氮素营养的作用[J]. 中国农业生态学报, 2001, 9(2): 82-841.
- [3] 张国盛, 黄高宝, 张仁陟, 等. 种植苜蓿对黄绵土表土理化性质的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(5): 88-931.
- [4] 杨玉海, 蒋平安, 艾尔肯, 等. 种植苜蓿对土壤肥力的影响[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 248-251.
- [5] 曹永红, 贾志宽, 韩庆芳. 苜蓿生长年限对其产量及土壤性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3): 104-107.
- [6] 贾志清. 晋西北黄土丘陵沟壑区典型灌草植被土壤水分动态变化规律研究[J]. 水土保持通报, 2006, 26(1): 10-15.
- [7] 王鑫, 刘建新, 雷蕊霞, 等. 不同种植年限苜蓿土壤熟化过程中腐殖质性质的研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 98-102.
- [8] 王刚, 孙广玉. 不同紫花苜蓿品种光合能力的比较[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(4): 19-21.
- [9] 张庆霞, 宋乃平, 陈林, 等. 不同灌溉量对紫花苜蓿生长特性及生物量的影响[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2): 150-154.
- [10] 韩路, 贾志宽, 韩清芳, 等. 影响苜蓿产草量相关性状的通径分析[J]. 西北农业学报, 2003, 12(1): 15-20.
- [11] 余家林. 农业多元试验统计[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993.
- [12] 许广波, 吕龙石. 影响田间持水量主要因子的通径分析[J]. 延边大学农学学报, 1997, 19(4): 242-245.
- [13] 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): 435-438.
- [14] 高雪松, 邓良机, 张世熔. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 53-58.
- [15] 韩路. 不同苜蓿品种的生产性能分析及评价[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [16] 曹致中. 优质苜蓿栽培与利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [17] 彭宏春. 柴达木盆地弃耕盐碱地紫花苜蓿生物量季节动态[J]. 草地学报, 2001, 9(3): 218-222.
- [18] 刘明秀. 12 个紫花苜蓿品种在川西南湿热区的生产性能及生态适应性初步研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2005.
- [19] 刘明启, 孙建义, 王成章. 不同紫花苜蓿品种生产性能比较试验[J]. 中国饲料, 2004(13): 18-21.

(上接第 11 页)

- [3] 林承坤, 吴小根. 长江径流量特性及其重要意义的研究[J]. 自然杂志, 1999, 21(4): 200-205.
- [4] 史玉虎, 王栋, 潘磊, 等. 三峡库区典型流域降雨变化与径流的关系研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 118-120.
- [5] 邓聚龙. 社会—经济灰色系统的理论和方法[J]. 中国社会科学, 1984(1): 47-60.
- [6] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 2 版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 74-76.
- [7] 余钟波. 流域分布式水文学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [8] 宋新山, 邓伟, 张琳. MATLAB 在环境科学中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 201-202.
- [9] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
- [10] 雷铁拴, 郭瑞林, 王新海, 等. 灰色系统理论在农业上的应用[M]. 河南: 河南科学技术出版社, 1996: 18-28.
- [11] 许峰, 张光远. 三峡库区坡地生态工程控制土壤养分流失研究: 以等高植物篱为例[J]. 地理研究, 2000, 19(3): 303-310.
- [12] 东亚斌, 段志善. 灰色关联度分辨系数的一种新的确定方法[J]. 西安建筑科技大学学报, 2008, 40(4): 589-592.
- [13] 吕锋. 灰色系统关联度之分辨系数的研究[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(6): 49-54.
- [14] 姚治君, 廖俊国. 云南玉龙山东南坡降雨因子与土壤流失关系的研究[J]. 自然资源学报, 1991, 6(1): 45-54.