

渭北旱塬坡耕地玉米—苜蓿间作 对土壤养分和产量的影响

成婧, 吴发启, 云峰, 王健, 吴光艳

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 选取 5°, 10° 和 15° 共 3 个不同坡度的耕地, 对玉米—苜蓿间作模式和玉米单作模式(对照处理)下的土壤养分含量以及作物产量进行了对比, 以研究坡耕地粮草间作在保持土壤肥力和提高作物产量方面的作用。结果表明, 间作和单作的土壤养分在播前差异不显著, 在收获后差异显著, 间作的养分损失量要小于单作, 有机质、全氮、全磷、硝态氮、铵态氮、速磷和速钾含量分别相对减少了 0.04 g/kg, 0.05 g/kg, 0.01 g/kg, 1.6 mg/kg, 1.2 mg/kg, 0.1 mg/kg 和 3.2 mg/kg; 两种种植模式坡上的土壤养分含量均小于坡下, 且间作坡上与坡下的养分含量差值比单作的小, 其中有机质、全氮、全磷、硝态氮、铵态氮、速磷和速钾含量分别相差了 0.13 g/kg, 0.05 g/kg, 0.01 g/kg, 0.5 mg/kg, 0.3 mg/kg, 0.2 mg/kg 和 0.4 mg/kg; 各坡度下间作的玉米产量均高于单作的玉米产量, 5°~15° 间作地的玉米产量分别为 7 426.3, 7 280.3 和 6 802.5 kg/hm², 比单作玉米的产量分别提高了 1.35%, 0.92% 和 0.89%, 且间作地的苜蓿产量达到了当地单产水平, 表明在渭北旱塬区玉米—苜蓿间作措施是可行的。

关键词: 坡耕地; 玉米—苜蓿间作; 玉米单作; 土壤养分; 产量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0228-05

中图分类号: S344.2

Effect of Intercropping Corn and Alfalfa on Soil Nutrients and Yield of Sloping Field in Weibei Dryland

CHENG Jing, WU Fa-qi, YUN Feng, WANG Jian, WU Guang-yan

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To investigate the effect of corn—alfalfa intercropping on maintaining soil fertility and improving crop yields, soil nutrients and crop yield in both corn—alfalfa intercropping and corn monocropping (CK) lands were studied on different slopes (5°, 10° and 15°). The results indicate that, soil nutrients showed little difference between corn—alfalfa intercropping and corn monocropping land before sowing, but significant changes were showed after harvest, as nutrient losses of intercropping were less than monocropping. Difference in contents of organic matter, total N, total phosphorus, nitrate, ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium between intercropping and monocropping were 0.04 g/kg, 0.05 g/kg, 0.01 g/kg, 1.6 mg/kg, 1.2 mg/kg, 0.1 mg/kg, 3.2 mg/kg. Soil nutrients at lower slopes were higher than that at upper slopes under both crop patterns, while this nutrients differences among slopes were less in intercropping than monocropping. And the differences on contents of organic matter, total N, total phosphorus, nitrate, ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium were 0.13 g/kg, 0.05 g/kg, 0.01 g/kg, 0.5 mg/kg, 0.3 mg/kg, 0.2 mg/kg and 0.4 mg/kg between lower slope and upper slope. Corn yields of intercropping were higher than corn yields of monocropping. From 5° to 15°, corn yields of intercropping were 7 426.3, 7 280.3 and 6 802.5 kg/hm², which was higher by 1.35%, 0.92% and 0.89%, respectively, compared to corn yields of monocropping. Moreover, alfalfa yield of intercropping reached the local level, which indicated that the pattern of corn—alfalfa intercropping was feasible in Weibei dryland.

Keywords: slope land; corn—alfalfa intercropping; corn monocropping; soil nutrient; yield

收稿日期: 2012-05-23

修回日期: 2012-09-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“水蚀过程中地表糙度的演化及其侵蚀响应规律研究”(40871133); 国家重点基础科学“973”研究发展计划项目(2007CB407201)

作者简介: 成婧(1987—), 女(汉族), 内蒙古自治区凉城县人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀方面的研究。E-mail: xiwen_chengjing@126.com。

通信作者: 吴发启(1957—), 男(汉族), 陕西省黄陵县人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀与流域管理方面的研究。E-mail: wufaqi@263.net。

我国有坡耕地约 4.0×10^7 hm^2 , 由于其本身地形条件的限制, 加之人为不合理的耕作和种植制度, 造成了大量的水土流失, 导致地表土壤养分损失, 作物大幅减产^[1-2]。在控制坡耕地水土流失方面, 我国已做了许多调查研究并总结出一系列措施和方法, 如坡改梯田^[3], 打坝淤地工程^[4]等, 取得了显著的成效。但这些措施投资大, 耗时长, 应用推广上有一定的局限性。改变旱作农田的种植制度是一种简易有效的方法。许多研究表明^[5-15], 粮草间作能够有效地减少坡耕地地表径流和土壤侵蚀量, 具有显著的蓄水保土效果。国内外对粮草间作的研究多有报道, 但大多数是以研究水分和产量, 针对土壤养分和作物产量方面的研究较少。为了明确说明坡耕地上粮草间作对土壤养分以及作物产量的影响, 选取坡耕地普遍, 水土流失现象较为严重的合阳县, 在不同坡度的耕地上设置粮(玉米 *Zea mays* L.)草(苜蓿 *Medicago sativa* L.)间作以及单作(玉米)的种植模式, 探索在保证坡耕地种植粮食作物, 并获得相当产量的同时, 能够保持水土和提高土壤肥力, 实现产量和水土保持效益双丰收的种植模式, 为旱区农业的持续发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于陕西省合阳县甘井镇, 该地海拔 890 m, 多年平均降水 571.9 mm, 主要集中在 7—9 月份, 气候干旱, 蒸发量 1 832.8 mm, 属半湿润易旱区。农作物所需水分全部依赖自然降水, 属雨养农业区。供试土壤为瘠土, 中性偏碱, pH 值为 8.4, 土壤有机质含量 7.1~12.8 g/kg, 全氮含量 0.47~0.89 g/kg, 硝态氮含量 39.5~69.9 mg/kg, 铵态氮含量 12.2~24.5 mg/kg, 全磷含量 0.45~0.63 mg/kg, 速效磷含量 6.0~18.9 mg/kg, 速效钾含量 77.9~175.5 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设计种植模式和坡度两个因素。(1) 种植模式。玉米单作和玉米—苜蓿间作。其中单作地投影面积为 $2 \text{ m} \times 20 \text{ m}$, 间作地从坡顶沿坡长方向依次种植苜蓿, 玉米, 苜蓿, 玉米地的投影面积均为 $2 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 。(2) 坡度。设置 5° , 10° , 15° 共 3 个不同的坡度。

试验按不同种植模式和坡度设置 6 个处理, 3 次重复, 共 18 个小区。各小区为随机区组排列, 每个小区用石棉瓦相隔。试验所用玉米品种为沈单 16, 于 2008 年 4 月 16 日播种, 行距 0.6 m, 株距 0.3 m, 种植密度 49 500 株/ hm^2 , 同年 9 月 28 日收获。苜蓿品种为紫花苜蓿, 播种日期同玉米, 条播行距 30 cm, 播

种量为 15 kg/ hm^2 , 分别在 6 月 22 日、8 月 10 日和 9 月 30 日进行 3 次刈割。小区施肥量为纯氮 300 kg/ hm^2 , P_2O_5 150 kg/ hm^2 , K_2O 150 kg/ hm^2 。玉米和苜蓿收获时均以小区为单位单收单称分别计产。

1.3 测定方法

玉米播种前和收后, 按照蛇形分别从各小区采集 0—20 cm 和 20—40 cm 土层的土样, 其中玉米单作取 10 个点混合为一个样品, 玉米—苜蓿间作中的玉米带和苜蓿带分别取 5 个点, 两者混合为一个样品。采集的样品经风干, 磨细后过 1 和 0.149 mm 筛。有机质含量测定采用硫酸—重铬酸钾法, 全氮用全自动凯氏定氮仪法, 铵态氮和硝态氮用氯化钾浸提—流动分析仪法, 全磷用高氯酸—硫酸消化钼锑抗比色法, 速效磷用 0.5 mol/L NaHCO_3 法浸提钼锑抗比色法, 速效钾用 1.0 mol/L NH_4OAc 浸提火焰光度法^[16]。

玉米在成熟后进行全部收获记产, 最终产量按小区实际产量和种植的实际面积进行折算。苜蓿在一年内刈割 3 次, 所得总和即为各小区苜蓿的实际总产量, 并根据种植面积计算最终产量。

试验数据用 Excel 2003 进行整理分析, 用 SPSS15.0 软件做相关的统计分析, 采用 LSD 法, 显著水平为 0.05 和 0.01。

2 结果与分析

2.1 不同坡度下单作和间作的土壤养分

从表 1 可以看出, 不论是玉米单作还是玉米—苜蓿间作, 各土壤养分含量均呈现出随坡度的增加而降低的趋势。对于收获后的土壤养分, $5^\circ \sim 15^\circ$ 玉米—苜蓿间作的土壤有机质含量减少了 0.56 g/kg, 单作玉米的有机质含量减少了 0.60 g/kg; 间作的全氮含量减少了 0.08 g/kg, 单作减少了 0.13 g/kg; 间作的全磷含量减少了 0.04 g/kg, 单作减少了 0.05 g/kg; 间作的硝态氮和铵态氮分别减少了 2.9 和 1.3 mg/kg, 单作的减少了 4.5 和 2.5 mg/kg; 间作的速磷减少了 1.1 mg/kg, 单作减少了 1.0 mg/kg; 间作的速钾减少了 3.2 mg/kg, 单作减少了 3.8 mg/kg。由数据分析可知, 玉米—苜蓿间作的土壤有机质及各养分含量随坡减少的程度要小于玉米单作, 可见玉米—苜蓿间作能够减小土壤养分的损失。

在同一坡度下, 两种种植模式的土壤养分在播前收后的变化有所不同。对于播前间作和单作的土壤有机质及各养分含量差异不大, 差异并不显著, 而作物收获后两者的土壤养分表现出显著性差异。对于有机质, 玉米—苜蓿间作和玉米单作播前的含量无显著性差异, 而收后间作的有机质含量增加, 单作的含

量减少,差异较为显著;全磷和速磷在播前收后均无显著性差异;全氮,硝态氮,铵态氮以及速钾的含量在播前均差异不大,收后间作和单作的含量虽然均有所

下降,但单作下降的幅度较间作的大,因此依然表现出显著性差异。采用玉米间作苜蓿的种植模式,可以增加土壤中有机质及其他养分含量。

表 1 不同坡度玉米单作和玉米—苜蓿间作的土壤养分含量

坡度	采集时间	种植模式	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
5°	播前	玉米—苜蓿间作	10.79 ^a	0.88 ^a	0.62 ^a	18.9 ^a	13.4 ^a	15.4 ^a	131.8 ^a
		玉米单作	10.73 ^a	0.85 ^a	0.61 ^a	19.1 ^a	13.9 ^a	15.3 ^a	130.6 ^a
5°	收后	玉米—苜蓿间作	11.57 ^a	0.71 ^a	0.60 ^a	18.3 ^a	12.9 ^a	15.1 ^a	144.1 ^a
		玉米单作	10.47 ^b	0.62 ^b	0.58 ^a	17.7 ^b	13.1 ^a	14.8 ^a	140.7 ^b
10°	播前	玉米—苜蓿间作	10.66 ^a	0.79 ^a	0.60 ^a	16.8 ^a	12.9 ^a	15.1 ^a	132.6 ^a
		玉米单作	10.69 ^a	0.76 ^a	0.59 ^a	16.4 ^a	12.6 ^b	14.8 ^a	132.1 ^a
10°	收后	玉米—苜蓿间作	11.20 ^a	0.58 ^a	0.57 ^a	15.6 ^a	12.0 ^a	14.5 ^a	146.8 ^a
		玉米单作	10.37 ^b	0.47 ^b	0.55 ^a	14.5 ^b	10.9 ^b	13.9 ^b	143.7 ^b
15°	播前	玉米—苜蓿间作	10.68 ^a	0.74 ^a	0.61 ^a	17.1 ^a	12.8 ^a	14.8 ^a	130.1 ^a
		玉米单作	10.61 ^a	0.73 ^a	0.58 ^a	15.6 ^b	12.4 ^a	14.9 ^a	128.8 ^a
15°	收后	玉米—苜蓿间作	11.01 ^a	0.63 ^a	0.56 ^a	15.4 ^a	11.6 ^a	14.0 ^a	143.9 ^a
		玉米单作	9.87 ^b	0.49 ^b	0.53 ^b	13.2 ^b	10.6 ^b	13.8 ^a	139.9 ^b

注:数据为 3 个重复的平均值;数值后同列不同的小写字母分别表示差异达 5% 显著水平。下同。

2.2 不同坡位单作与间作的土壤养分含量

由表 2 可知,无论是玉米单作还是玉米—苜蓿间作,对于同一坡度,坡下的土壤养分均高于坡上的土壤养分,表现出显著性差异。随着坡度的增大,坡下与坡上的差值也越大。相同坡度下,单作坡上与坡下养分的变化差值要高于玉米—苜蓿间作。5°~15°对于有机质来说,间作坡下的有机质比坡上平均增加 1.12 g/kg,单作则平均增加 1.25 g/kg,表明单作土壤有机质随径流流失量较间作多;间作地全氮的差值

平均为 0.12 g/kg 单作地为 0.17 g/kg;间作地全磷的差值平均为 0.04 g/kg,单作地为 0.05 g/kg;间作的硝态氮和铵态氮含量的差值平均为 1.7 和 1.2 mg/kg,单作的平均为 2.3 和 1.5 mg/kg;速磷间作地的差值平均为 0.6 mg/kg,单作地为 0.8 mg/kg;间作地速钾的差值平均为 14.1 mg/kg,单作地平均为 14.5 mg/kg。这些数据表明,玉米间作苜蓿,能在一定程度上减少土壤养分随水土流失向坡下迁移的损失量,起到了蓄水保土的作用。

表 2 不同坡位下玉米单作与玉米—苜蓿间作的土壤养分含量

种植模式	坡度	坡位	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
玉米— 苜蓿间作	5°	坡上	10.56 ^b	0.68 ^b	0.60 ^a	17.9 ^b	12.8 ^b	14.9 ^a	129.3 ^b
		坡下	11.68 ^a	0.76 ^a	0.62 ^a	19.1 ^a	13.6 ^a	15.2 ^a	142.9 ^a
	10°	坡上	10.52 ^b	0.67 ^b	0.56 ^b	15.4 ^b	11.8 ^b	14.3 ^b	132.6 ^b
		坡下	11.60 ^a	0.79 ^a	0.59 ^a	17.2 ^a	13.1 ^a	15.1 ^a	146.9 ^a
	15°	坡上	10.55 ^b	0.63 ^b	0.54 ^b	15.2 ^b	11.4 ^b	13.9 ^b	126.7 ^b
		坡下	11.28 ^a	0.79 ^a	0.61 ^a	17.3 ^a	12.9 ^a	14.7 ^a	140.8 ^a
玉米单作	5°	坡上	10.45 ^b	0.63 ^b	0.57 ^b	17.4 ^b	12.9 ^b	14.7 ^b	128.6 ^b
		坡下	11.48 ^a	0.74 ^a	0.61 ^a	19.3 ^a	14.0 ^a	15.1 ^a	142.6 ^a
	10°	坡上	10.21 ^b	0.58 ^b	0.52 ^b	14.2 ^b	10.6 ^b	13.8 ^b	131.2 ^b
		坡下	10.45 ^a	0.76 ^a	0.58 ^a	16.4 ^a	12.1 ^a	14.9 ^a	146.1 ^a
	15°	坡上	9.84 ^b	0.54 ^b	0.50 ^b	13.0 ^b	10.1 ^b	13.5 ^b	124.8 ^b
		坡下	11.33 ^a	0.77 ^a	0.57 ^a	15.6 ^a	12.2 ^a	14.8 ^a	139.3 ^a

2.3 不同坡度单作与间作的产量

从表 3 可以看出,苜蓿和玉米的产量均随着坡度

的增加而降低,间作下的玉米产量要高于单作下的玉米产量。对于不同坡度下的玉米—苜蓿间作,各间作

地的玉米产量随坡度的增加而减少,5°~15°坡地间作玉米产量分别为7 426.3,7 280.3,6 802.5 kg/hm²,差异较为显著。相同坡度下,间作的玉米产量高于单作的玉米产量,5°坡的间作地较单作提高1.35%,10°坡耕地的间作地较单作提高0.92%,15°坡的间作地较单作提高0.89%。从玉米和苜蓿产量的变化情况来看,随坡度的增大苜蓿产量减小的幅度要低于玉米,也就是说,在保证间作玉米产量达到一定水平的同时,苜蓿也可以实现稳产。

表3 各种种植模式下玉米和苜蓿产量 kg/hm²

种植模式	坡度	苜蓿		玉米产量
		鲜重	干重	
玉米— 苜蓿间作	5°	11 702.7 ^{aA}	4 427.559 ^{aA}	7 426.3 ^{aA}
	10°	11 556.2 ^{bB}	4 315.794 ^{bB}	7 280.3 ^{bB}
	15°	11 098.2 ^{cC}	4 106.334 ^{cC}	6 802.5 ^{cC}
玉米单作	5°	—	—	7 327.9 ^{aA}
	10°	—	—	7 213.7 ^{bB}
	15°	—	—	6 742.2 ^{cC}

注:不同的小、大写字母分别表示差异达5%和1%显著水平。

3 结论

坡耕地由于其地形原因,往往是水土流失的重要策源地。一方面坡耕地养分流失导致土壤肥力下降,另一方面造成土壤水分和黏粒物质减少,使土壤板结、退化,从而影响作物产量^[18-19]。改变种植模式是实现防治水土流失的一项有效措施。在坡耕地上采用粮草间作模式能够有效地减少地表径流,改善土壤环境,从而提高土壤肥力^[20]。粮食作物一般根系较浅,只吸收表层水分^[21-22],而牧草根系很深,可以利用土壤深层水分^[5],尤其是在旱塬地区,各间作物在水分缺乏的条件下,根系之间有向自己根区聚集的趋势^[23-28],因此粮草间作不会对土壤水分产生太大影响。同时,豆科牧草可以固定土壤中的氮素,增加土壤养分含量。宿庆瑞^[21]通过对玉米和草木樨间作的土壤养分进行研究后发现,粮草间作区较玉米单作对照区的土壤有机质含量及其他速效养分含量均有所提高。本试验得出的结果显示,不论是玉米单作还是玉米—苜蓿间作,各土壤养分含量均随着坡度的增加而降低,且玉米单作的减少量要小于玉米—苜蓿间作,对于同一坡度的两种种植模式,播前各土壤养分均无差异,而收后间作的土壤养分较单作增加的幅度大,表现出显著的差异性。

在坡面上,地形部位是决定土壤理化性质变化的重要因素^[22],由于地形的原因,土壤养分随水土流失

迁移到下方,使不同坡位的土壤养分逐渐发生变化。刘鑫等^[23]研究了不同坡位对小叶杨人工林生长和土壤养分空间差异的影响,结果显示从坡上到坡下,土壤养分含量逐渐增大,在坡底部位大多数土层中土壤养分含量都较高。本试验研究结果表明,单作和间作这两种种植模式均呈现出坡上的土壤养分含量小于坡下的土壤养分,且差异显著。随着坡度的增大,坡上与坡下的养分差值也越大,表明养分迁移量随坡度的增大而增加。相同坡度下,玉米单作坡上与坡下养分的变化差值要比间作的大,表明养分随坡损失的多,可以从这一方面说明间作在拦沙蓄水方面要优于单作。

作物产量与土壤营养密切相关,土壤养分的变化直接影响着作物产量的高低。时安东等^[24]研究了烤烟单作和间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响,结果表明间作下单位面积的烟叶产量和产值显著高于烤烟单作。与烤烟单作系统相比,间作更能保持适宜的土壤有效养分比例,促进烤烟均衡吸收养分。本试验结果显示,各坡度下间作的玉米产量均高于单作的玉米产量,表明玉米—苜蓿间作模式要比传统的单作模式更能提高粮食产量,与时安东等所得出的结果相一致。不论是玉米—苜蓿间作还是玉米单作,对于这两种种植模式下的玉米产量都呈现出了随坡度的增加而递减的趋势,表明在坡耕地,坡度依然在很大程度上影响着粮食产量的高低。

[参考文献]

- [1] 苏广实,陈健飞. 我国坡地资源利用生态环境效应的研究现状综述[J]. 热带地理,2007,27(4):306-310.
- [2] 吴发启,赵晓光,刘秉正,等. 耕作活动对坡耕地径流及产沙的影响[J]. 西北林学院学报,1998,13(2):20-25.
- [3] 胡建民,胡欣,左长清,等. 红壤坡地坡改梯水土保持效应分析[J]. 水土保持研究,2005,8(4):271-273.
- [4] 付会芳. 黄土高原水土流失及其防治措施[J]. 水土保持研究,1997,1(4):161-165.
- [5] 汪立刚,梁永超. 坡耕地粮草间作的培肥保土效果及生态环境经济效益[J]. 生态农业科学,2008,24(10):482-486.
- [6] 刘忠宽,曹卫东,秦文利. 玉米—紫花苜蓿间作模式与效应研究[J]. 草业学报,2009,18(6):158-163.
- [7] Schmidt O, Curry J P, Hackett R A, et al. Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat-clover intercropping systems[J]. Ann Applied Biology, 2001, 138(3):377-388.
- [8] McDonald M A, Healey J R, Stevens P A. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains

- of Jamaica. Agriculture [J]. Ecosystems and Environment, 2002, 92(1):1-19.
- [9] 李洪勋. 草带在防治坡耕地土壤侵蚀中的作用[J]. 草业科学, 2005, 22(1):94-97.
- [10] 徐创军, 杨立中, 唐家良. 紫色土坡地不同种植模式生态经济效益综合评价[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1):196-199.
- [11] 谢颂华, 曾建玲, 杨洁. 南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9):81-86.
- [12] Alegre J C, Rao M R. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1996, 57(1):17-25.
- [13] 云峰, 王健, 吴发启. 坡面首蓄蓄水保土效益试验研究[J]. 节水灌溉, 2009(12):8-11.
- [14] 王德轩, 彭珂珊, 张正斌. 黄土高原拦流蓄水保墒的有效途径和措施[J]. 生态经济, 1994(3):26-30.
- [15] 庞良玉, 张鸿, 罗春燕. 四川紫色丘陵农区坡耕地饲草种植模式及效益[J]. 草业学报, 2010, 19(3):110-116.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正. 缓坡耕地侵蚀环境及动力机制分析[M]. 陕西西安: 陕西科学技术出版社, 2001.
- [18] 蔡强国, 吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 1-8.
- [19] Peoples M B, Herridge D F. Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture[J]. Advances in Agronomy, 1990, 44(3):155-223.
- [20] 夏锦慧, 邓英, 陈明华, 等. 黔中地区坡耕地水土流失及坡面防护技术研究[J]. 贵州农业科学, 2004, 32(1): 39-40.
- [21] 刘晶淼, 安顺清, 廖荣伟, 等. 玉米根系在土壤剖面中的分布研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(3): 517-521.
- [22] 慕自新, 张岁岐, 郝文芳, 等. 玉米根系形态性状和空间分布对水分利用效率的调控[J]. 生态学报, 2005, 25(11):2895-2900.
- [23] Adiku S G K, Ozier-Lafontaine H, Bajazer T, et al. Patterns of root growth and water uptake of a maize-cowpea mixture grown under greenhouse conditions [J]. Plant and Soil, 2001, 235(1):85-94.
- [24] 高阳, 段爱旺, 刘浩, 等. 间作条件下水分在作物间的分配与利用研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 281-285.
- [25] 宿庆瑞. 东北玉米主产区玉米草木樨间种轮作农牧结合综合效益的研究[J]. 中国草地, 1998(4):17-20.
- [26] 高雪松, 邓良基, 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, 60.
- [27] 刘鑫, 满秀玲, 陈立明. 坡位对小叶杨人工林生长及土壤养分空间差异的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5):76-81.
- [28] 时安东, 李建伟, 袁玲. 轮间作系统对烤烟产量、品质和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):411-418.

(上接第 223 页)

2.3 监测预警系统的功能实现与预警分析

通过对数据库系统中基础信息的提取, 通过叠加分析功能对矢量图进行属性叠加, 用不同颜色对石漠化危险性进行区分, 直接观察石漠化分布、面积、等级等相关信息, 利用系统的属性查询功能, 查询出任意地点的石漠化信息, 分析该地区的石漠化发展趋势, 对该地区的石漠化预警防治工作做出有效指导。

3 结论

以 3S 技术为支撑, 在地理信息系统与遥感技术支持下, 通过建立多元线性回归模型, 搭建 GIS 数据库, 充分考虑了数据的开放性和共享性, 研究石漠化的 6 个评价等级, 选取了自然、人为共计 8 个石漠化评价因子, 通过模型确定其权重系数并对石漠化等级划分的影响, 划分 5 个预警等级, 从而建立石漠化预警模型, 利用预警模型分析影响石漠化的因素并进行石漠化预警分析, 根据分析结果, 集成预警系统。

本研究只是针对影响喀斯特石漠化发生的因子

进行了评价, 建立了相应的预警系统, 但是未对喀斯特地区石漠化的预防与治理、生态环境修复等提供决策支持信息。后续研究的重点将着眼于喀斯特小流域的综合治理上, 经过典型样点的应用研究之后, 对系统的不足加以完善之后推广于大尺度区域, 为喀斯特地区石漠化的监测与预警工作提供一个更准确的平台。

[参 考 文 献]

- [1] 张冬青, 林昌虎, 何腾兵. 贵州喀斯特环境特征与石漠化的形成[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1):220-223.
- [2] 蓝安军, 熊康宁, 安裕伦. 喀斯特石漠化的驱动因子分析: 以贵州省为例[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6):19-23.
- [3] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨: 以贵州省为例[J]. 热带地理, 2004, 24(2):145-149.
- [4] 周忠发. 喀斯特地区石漠化与地形坡度的关系分析: 以贵州省清镇市为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(5): 1-3.
- [5] 熊康宁, 黎平, 周忠发等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS 典型研究: 以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002.