

泥石流滩地土地生产潜力评价 ——以云南小江流域蒋家沟为例

王道杰, 崔鹏, 朱波, 韦方强

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川成都 610041)

摘要: 小江流域泥石流滩地水源充足、热量丰富, 气候生产潜力(47641 kg hm^{-2}) 较高。本文应用加权指数和法确定了不同类型泥石流滩地(荒滩地、改良滩地和非改良滩地)土壤有效系数 $f(s)$ 分别为 0.405、0.684 和 0.594; 根据生产力阶乘公式计算其气候—土壤生产潜力分别为 19295 kg hm^{-2} 、 32586 kg hm^{-2} 和 28299 kg hm^{-2} 。通过实地调查验证, 本文对泥石流滩地生产潜力的估算与现实生产力水平基本吻合, 证明本文提出的泥石流滩地土壤有效系数切实可行。

关键词: 小江流域; 泥石流滩地; 生产潜力; 评价

中图分类号: F301-24

文献标识码: A

文章编号: 0564-3945(2004)06-0683-05

我国山区泥石流分布广, 数量多, 形成大面积的泥石流滩地^[1], 仅云南小江河谷两岸就有泥石流滩地 $4800 \text{ hm}^{2[2]}$, 其中蒋家沟流域内泥石流滩地面积为 $396 \text{ hm}^{2[3]}$ 。小江流域泥石流滩地地势平缓、水源充足、热量丰富, 是较好的土地资源, 具有广阔的开发前景, 其滩地的开发已成为贫困山区发展经济和改善生态环境的重要途径。据调查, 小江两岸 1 亩泥石流滩地的产量相当于 5 亩坡耕地的产量; 蒋家沟流域泥石流滩地开垦的水稻田年产可达 $10500 \text{ kg hm}^{2[4]}$ 。近年来, 国内外许多学者开展了对土地生产潜力的研究^[5-9], 但对泥石流滩地土地生产潜力研究目前仍为空白。本文以泥石流典型地段——蒋家沟泥石流滩地为研究样地, 以取样分析滩地肥力特性和调查现实生产力水平为基础, 应用加权系数和法探讨滩地生产潜力, 以为滩地改良和开发提供科学依据。

1 研究区域概况

小江流域位于云南东北部($25^{\circ}54' - 26^{\circ}33' \text{ N}$), 属金沙江 1 级支流, 是长江流域生态环境破坏最严重、泥石流危害最大的地区^[10]。流域内泥石流滩地主要位于河谷地区(海拔 $695 - 1600 \text{ m}$), 区内光照充足, 热量丰富, 据新村气象站(海拔 1254.1 m)资料^[11]: 区内年平均温度为 20.2°C , 年极端最高温 40.9°C , 极端最低温度为 -6.2°C , 最冷月平均温度 12.5°C , 最热月平均温度 25.2°C , 年活动积温为 7177°C , 相当于南亚热带; 年日照平均为 2292.4 h , 太阳辐射年总量为 138.8 千卡

cm^{-2} ; 日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 为 317 d , 无霜期为 318 天 ; 年均降水量为 691.3 mm , 年均蒸发量为 3752.7 mm , 降水量与蒸发量之比为 $1:5.43$, 相对湿度为 54% , 属半干旱区。

流域内水资源丰富, 人均占有水量为 3210 m^3 , 每亩耕地占有水量为 2880 m^3 。然而, 水资源利用率较低, 河谷区水资源利用率为 21.8% ; 半山区水资源利用率为 4.0% ; 高山区水资源利用率为 2.1% 。河谷区泥石流滩地灌溉方便, 水源保证率高, 坡耕地灌溉困难, 无水源保证。

2 泥石流滩地生产潜力估算

2.1 气候(光温水)生产潜力

2.1.1 光合生产潜力 根据郑霖^[12]等提出的光合生产潜力公式:

$$Y_p = (10000 \times 10^4) / (1000 \times C) \times F \times E \times Q$$

式中 C 为每克干物质结合的化学能(kJ g^{-1}), 以碳水化合物计算, $C = 17.85 \text{ kJ g}^{-1}$;

F 为作物理论光能利用率, $F = 4.9\%^{[3]}$;

E 为作物的经济系数, $E = 0.40^{[2]}$;

Q 为太阳年总辐射, $Q = 582.96 \text{ kJ cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$

计算得小江流域河谷区全年光合生产潜力(Y_p) 为 64011 kg hm^{-2} , 同四川省安宁河流域光合生产潜力^[13] ($5566464793 \text{ kg hm}^{-2}$) 接近, 比四川盆地 ($2250030000 \text{ kg hm}^{-2}$) 高出许多。

2.1.2 光温生产潜力 根据李秉柏^[14]的温度有效系数公式: $f(t) = -0.469 + 0.1058t - 0.0019t^2$ (t 为年平

收稿日期: 2003-09-16

基金项目: 本研究得到成都山地所青年种子基金(课题编号: 200320), 国家自然科学基金重点项目(项目编号: 49831010) 和中国科学院创新项目(专题编号: KSCX-07-01-04) 的共同资助

作者简介: 王道杰(1968-), 男, 四川人, 在职博士, 助研, 主要从事土壤学、农业生态的研究工作。Tel: 028-85247550

均气温 20.2 °C), 计算得: $f(t) = 0.893$

光温生产潜力为: $Y_{pt} = Y_p \cdot f(t) = 57262 \text{ kg hm}^{-2}$
可见, 小江流域河谷区全年光温生产潜力 (57262 kg hm^{-2}) 较高。

2.1.3 光温水生产潜力 据朱志辉等^[15]提出的水分有效系数模式及泥石流滩地实际灌溉情况, 求得小江流域河谷坝区泥石流滩地水分有效系数为:

$$f(w) = 0.832$$

$$\begin{aligned} \text{光温水生产潜力为: } Y_{ptw} &= Y_p \cdot f(t) \cdot f(w) \\ &= 47641 \text{ kg hm}^{-2} \end{aligned}$$

2.2 气候—土壤生产潜力(自然生产潜力)

2.2.1 泥石流滩地土壤肥力特性分析 小江流域泥石流滩地地势平坦、水源充足、热量丰富, 是较好的土地资源。然而, 滩地土壤结构较差, 砾石含量较高, 养分贫瘠, 土壤呈碱性。不同类型泥石流滩地土壤质地不同(见表1): 荒滩地表土层厚度不足 5cm, 砾石含量在 60%以上, 土壤质地类型为砂壤土; 开发过程中经引浑蓄淤改良 12 年的泥石流滩地(简称改良滩地, 下同)表土层厚度可达 35cm 左右, 砾石含量仅为 1%左

右, 土壤质地类型为粉质粘壤土; 开发利用 12 年而非经引浑蓄淤改良的泥石流滩地(简称非改良滩地, 下同)表土层厚度可达 25cm 左右, 砾石含量为 15%左右, 土壤质地类型为粉壤土。不同类型泥石流滩地土壤养分状况也不同(见表2): 泥石流荒滩地土壤养分除全钾极丰富外, 其它养分含量都处于缺乏或极缺乏状态, pH 为 8.9 左右; 滩地改良后土壤养分有较大的改善, 全氮由较缺提高为丰富状态, 有效钾、有效氮及有效磷含量也得到一定的提高; 非改良滩地土壤养分有一定改善, 但不及改良滩地。

表 1 不同类型泥石流滩地土壤颗粒组成及质地类型

Table 1 The soil particle composition and texture of different types of waste-shoal land

样地类型 Sample land	表土层 厚度 (cm) Topsoil thickness	砾石 * %(> 2 mm) Gravel	砂粒 % (>0.05 mm) Sand	粉粒 % (> 0.002 mm) Silt	粘粒 % (< 0.002 mm) Clay	土壤质地 类型 Texture
荒滩地	05	66.95	47.14	37.91	14.95	砂壤土
改良滩地	035	1.16	7.75	62.17	30.08	粉质粘壤土
非改良滩地	025	14.43	29.91	49.84	20.25	粉壤土

*注: 砾石含量未计入 < 2mm 土粒组成

表 2 不同类型泥石流滩地土壤养分状况

Table 2 The soil nutrient properties of different types of waste-shoal land

样地类型 Sample land	有机质 (g kg ⁻¹) Organic matter	全氮 (g kg ⁻¹) Total N	全磷 (g kg ⁻¹) Total P	全钾 (g kg ⁻¹) Total K	有效氮 (mg kg ⁻¹) Avai. N	有效磷 (mg kg ⁻¹) Avai. P ₂ O ₅	有效钾 (mg kg ⁻¹) Avai. K ₂ O
泥石流 荒滩地	4.47.0 极缺 缺乏	0.941.06 较缺	0.580.68 缺乏	31.7533.06 极丰富	21.0222.65 极缺乏	2.413.17 极缺 缺乏	35.2343.02 缺乏
引浑停淤 改良滩地	8.79.8 缺乏	1.622.46 丰富 极丰	0.690.77 较缺	34.8136.88 极丰富	38.3741.66 缺乏	5.349.01 较缺	57.4268.96 缺乏 中等
非引浑改 良滩地	7.48.1 缺乏	1.122.54 中等 极丰	0.800.88 较缺	28.4533.28 极丰富	29.8836.33 缺乏	8.5214.28 较缺 中等	33.0741.22 缺乏

2.2.2 泥石流滩地土壤有效系数 $f(s)$ 的确定 根据《中国土壤普查技术》^[16]中加权指数和法, 选择泥石流滩地生产力的主要影响因素对滩地土壤资源进行评价(表3)。参评项目总指数为 200, 根据泥石流滩地的实际情况及有关专家的咨询意见对各参评项目指数进行权重分配, 具体分配原则为:

(1) 由于泥石流滩地土壤结构对土壤生产力具有重要的影响作用, 因此在指数分配中土壤结构项目(包括坡度和灌溉条件)和土壤养分项目(包含 pH) 比率相等, 即分配指数各为 100。

(2) 土壤结构项目中, 由于滩地表土层厚度和耕层质地对生产力影响最大, 因此, 表土层厚度和耕层质地

分配指数各为 20, 其它各参评项目分配指数分别为 10。

(3) 土壤养分项目中, 由于有机质和有效氮、有效磷、有效钾对生产力影响最大, 因此, 有机质和有效氮、有效磷、有效钾分配指数各为 15, 其它各参评项目分配指数分别为 10。

泥石流滩地土壤评价结果表明(表4): 泥石流荒滩地总指数为 89.5, 占参评项目总指数的 0.45; 开发过程中经引浑蓄淤改良泥石流滩地总指数为 152, 占参评项目总指数的 0.76; 开发利用中非引浑停淤改良泥石流滩地总指数为 132.5, 占参评项目总指数的 0.66。

表 3 泥石流滩地土壤参评项目及评价指标、指数

Table 3 The item and index of assessment of waste-shoal land

参评项目 Item	权重指数 Power	指标指数 Index	等 级 Degree					
			1	2	3	4	5	6
表土层厚度(cm)	20	指标	>40	4030	3020	2010	<10	—
		指数	2016	1612	128	84	40	—
耕层质地	20	指标	轻壤土 中壤土 砂壤土 重壤土	砂土 粘土	砂砾土 重粘土	—	—	
		指数	2015	1510	105	50	—	—
剖面构型	15	指标	夹粘	均质	漏砂	漏石	—	—
		指数	1512	128	84	40	—	—
砾石含量(%)	15	指标	<5	510	1030	>30	—	—
		指数	1512	128	84	40	—	—
坡度(°)	15	指标	<3	37	715	>15	—	—
		指数	1512	128	84	40	—	—
灌溉条件	15	指标	有保证	不稳定	困难	无水源	—	—
		指数	1512	128	84	40	—	—
有机质(g kg ⁻¹)	15	指标	>40	4030	3020	2010	106	<6
		指数	1513	1311	119	97	74	40
全氮(g kg ⁻¹)	10	指标	>2	21.5	1.51.0	1.00.75	0.750.5	<0.5
		指数	108.5	8.57.0	7.05.5	5.54	42.5	2.50
全磷(g kg ⁻¹)	10	指标	>2	21.5	1.51.0	1.00.7	0.70.4	<0.4
		指数	108.5	8.57.0	7.05.5	5.54	42.5	2.50
全钾(g kg ⁻¹)	10	指标	>30	3020	2015	1510	105	<5
		指数	108.5	8.57.0	7.05.5	5.54	42.5	2.50
有效氮(mg kg ⁻¹)	15	指标	>150	150120	12090	9060	6030	<30
		指数	1513	1311	119	97	74	40
有效磷(mg kg ⁻¹)	15	指标	>40	4020	2010	105	53	<3
		指数	1513	1311	119	97	74	40
有效钾(mg kg ⁻¹)	15	指标	>200	200150	150100	10050	5030	<30
		指数	1513	1311	119	97	74	40
pH	10	指标	6.57.5	7.58.0	8.08.5	8.59.0	>9.0	—
		指数	108	86	64	42	20	—

表 4 不同类型泥石流滩地土壤评估状况

Table 4 Assessment of soil in different type of debris flow waste-shoal land

参评项目 Item	泥石流滩地 引浑停淤泥石流滩地 非引浑停淤泥石流滩地						
	Wasteland		Siltigation land		Non-siltigation land		
	指数 Index	比率 Ration	指数 Index	比率 Ration	指数 Index	比率 Ration	
土壤结构	表土层厚度	4	0.20	16	0.80	12	0.60
	耕层质地	10	0.5	18	0.9	14	0.7
	剖面构型	6	0.4	12	0.8	10	0.67
	砾石含量	2	0.13	15	1.0	8	0.53
	坡度	12	0.8	12	0.8	12	0.8
	灌溉条件	14	0.93	14	0.93	14	0.93
	有机质	4	0.27	7	0.47	6	0.4
土壤养分	全氮	5.5	0.55	9	0.9	8	0.8
	全磷	4	0.4	5	0.5	5.5	0.55
	全钾	10	1.0	10	1.0	10	1.0
	有效氮	4	0.27	12	0.8	10	0.67
	有效磷	4	0.27	8	0.53	10	0.67
	有效钾	6	0.4	8	0.53	7	0.47
	pH	4	0.4	6	0.6	6	0.6
总分	89.5	0.45	152	0.76	132.5	0.66	

孙惠南等^[17]以最高肥力土壤有效系数 $f(s)$ 为 0.90, 按各地自然条件及肥力状况进行修正。此观点比较合理, 因土壤总不会处于最佳状态而对潜力没有限制, 故取参评项目指数为 200 的土壤有效系数 $f(s)$ 为 0.90。通过换算, 泥石流荒滩地、经引浑停淤改良的泥石流滩地和引浑改良的泥石流滩地土壤有效系数 $f(s)$ 分别为: 0.405、0.684 和 0.594。

2.2.3 气候—土壤生产潜力估算 根据气候—土壤生产潜力(自然生产潜力)阶乘公式^[18]:

$$Y_{ptws} = Y_p \cdot f(t) \cdot f(w) \cdot f(s)$$

计算求得泥石流荒滩地、改良滩地和非改良滩地土壤自然生产潜力分别为: 19295 kg hm⁻², 28299 kg hm⁻² 和 32586 kg hm⁻²。夏明忠^[13]计算安宁河流域的自然生产潜力为 1969125607 kg hm⁻², 可见, 小江流域泥石流滩地自然生产潜力较高, 尤其是改良后的泥石流滩地生产潜力更为突出。

2.3 泥石流滩地自然生产潜力与现实生产力水平比较

通过对泥石流滩地农作物产量实地调查表明(见表5):新开垦1年的泥石流滩地种植水稻和红薯,产量分别为 $51006510\text{kg hm}^{-2}$ 、 $4602055020\text{kg hm}^{-2}$,红薯按折原粮系数0.2计^[19](下同),原粮产量为 $920411004\text{kg hm}^{-2}$ 。小江流域内光照充足,热量丰富,可满足一年两熟或二年五熟,若以一年两熟,则新开垦1年的泥石流滩地种植水稻和红薯全年生产力水平分别可达 $1020013020\text{kg hm}^{-2}$ 、 $1840422004\text{kg hm}^{-2}$;按相

同的原理推算,非引浑停淤改良滩地(老蒋家沟泥石流滩地)种植水稻和红薯全年生产力水平分别可达 17610kg hm^{-2} 、 26610kg hm^{-2} ;经引浑停淤改良滩地(泥得坪古泥石流台地)种植水稻和红薯全年生产力水平分别可达 24300kg hm^{-2} 、 28812kg hm^{-2} ;种植新品种红薯(苦马菜塘泥石流滩地)全年生产力水平可达 35538kg hm^{-2} 。可见,本文对泥石流滩地自然生产潜力的估算与现实生产力基本吻合,尤其是种植红薯的生产力水平已接近甚至高于滩地自然生产潜力。因此,从农作物经济产量角度出发,泥石流滩地种植红薯等块茎类作物是较好的开发模式。

表5 蒋家沟流域泥石流滩地作物经济产量调查表

Table 5 Crop economic productivities in waste-shoal land in Jiangjia Ravine

地点 Site	土样号 Soil No.	开发时间 (年) Exploitation time (year)	表土层厚 (cm) Topsoil thickness	施肥量(kg/亩) Fertilization (kg mu ⁻¹)			利用方式 Used-model	产量 (kg/亩) Productivity (kg mu ⁻¹)
				尿素 Carbamide	磷肥 Phosphor	有机肥 Manure		
苦马菜塘	J02-8-1	14	35	65	5	—	水稻	640
	J02-8-8	14	25	20	40	—	红薯	4589
	—	14	22	20	40	—	新品种红薯	5923
	J02-8-14	14	22	—	20	—	花生	288
	—	14	20	30	—	—	玉米	507
红山咀	J02-8-2	4	20	40	—	—	水稻	480
	J02-8-3	6	25	76	8	—	水稻	720
	J02-8-15	4	15	—	20	—	花生	272
	J02-8-9	6	18	20	25	—	红薯	4375
老蒋家沟	J02-8-4	14	33	40	5	—	水稻	587
	J02-8-10	14	27	30	20	200	红薯	4435
大凹子村	J02-8-5	1	10	40	5	200	水稻	434
	J02-8-6	1	8	25	5	—	水稻	340
	J02-8-11	1	5	10	—	—	红薯	3068
	J02-8-12	1	5	20	40	—	红薯	4375
	—	1	5	10	20	—	红薯	3668
泥得坪	J02-8-7	200	40	25	40	1200	水稻	810
	J02-8-13	200	35	25	50	1000	红薯	4802

2.4 泥石流滩地生产潜力主要限制因素分析

泥石流滩地生产潜力限制因素较多(表4):砾石含量较高,其指数仅为该参评项目的0.13;表土层厚度较薄,其指数为该参评项目的0.2;剖面构型和土壤质地指数分别为0.4和0.5;有机质、有效氮、有效磷、有效钾及pH的指数分别为0.270、40。由此可知,泥石流滩地主要限制因素是砾石含量高,土壤结构较差,养分贫瘠,对泥石流滩地生产力培育的关键任务是降低砾石含量,改善土壤结构,提高土壤肥力。

3 小结与讨论

(1)小江流域泥石流滩地地势平坦,光照充足,热量丰富,水源条件较好,自然生产潜力较高。不同类型泥石流滩地生产潜力因土壤结构和土壤养分的差异而不同,泥石流荒滩地、经引浑改良泥石流滩地及非引浑改良泥石流滩地的自然生产潜力分别为 19295kg hm^{-2} 、 28299kg hm^{-2} 和 32586kg hm^{-2} 。

(2)通过实地调查验证,本文估算的小江流域泥石流滩地自然生产潜力同现实生产力水平基本吻合。可见,本模型运用加权指数和法提出的不同类型泥石流

滩地土壤有效系数 $f(s)$ (0.405、0.594、0.684) 切实可行。

(3) 泥石流滩地主要限制因素是砾石含量高, 土壤结构较差, 养分贫瘠, 因此, 泥石流滩地生产力培育的关键任务是降低砾石含量, 改善土壤结构, 提高土壤肥力。

参考文献:

- [1] 唐邦兴主编. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 2000, 1—115.
- [2] 徐世光, 等. 云南小江泥石流与泥石流滩地开发[J]. 地学前缘, 2001, 3(2): 296—300.
- [3] 谭万沛. 泥石流扇的类型与土地利用模式[J]. 地理学与国土研究, 2000, 16(1): 71—75.
- [4] 胡发德, 等. 云南蒋家沟泥石流滩地开发[J]. 山地研究, 1997, 15(2): 114—118.
- [5] R S Loomis, et al. Maximum Crop Productivity: An estimate. Crop Sci., 1963, 3(5).
- [6] Hanks R J. Yield and Water — Use Relationships: An Overview [A]. In H. M. Taylor et al. (ed.), Limitations to Efficient Water Use In Crop Production [C]. 1983.
- [7] Doorenbos J, et al. Yield response to water [M]. FAO of The Unit-

ed Nations, Rome. P. 1—80.

- [8] 竺柯桢. 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系[J]. 地理学报, 1964, (1): 1—13.
- [9] 黄秉维. 农业现代化概念[M]. 北京: 中国农林科学院技术情报所, 1978—03.
- [10] 杜榕桓, 等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1987, 283.
- [11] 云南省东川市土壤普查办公室主编. 东川土壤[R]. 1985, 516.
- [12] 郑霖主编. 四川农业地理[M]. 四川人民出版社, 1980, 16—18.
- [13] 夏明忠. 安宁河流域的光温水资源及生产潜力分析[J]. 资源开发与保护, 1991, 7(1): 2832.
- [14] 李秉柏. 作物的光合生产及实际产量模拟模式的初步分析[J]. 农业气象, 1986, 7(4): 1—9.
- [15] 朱志辉, 张福春. 我国陆地生态系统的植物太阳能利用率[J]. 生态学报, 1985, 5(4): 343356.
- [16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1990, 81224.
- [17] 孙惠南. 自然地理学中的农业生产潜力研究及我国农业生产潜力分布特征[J]. 地理集刊, 1985, 17: 23—33.
- [18] 李世奎主编. 中国农业气候资源和农业气候区划[M]. 北京: 科学出版社, 1988, 125—126.
- [19] 张庆玉, 冯文强, 胡思农, 等. 旱地麦—玉—苕轮作中钾肥效益定位研究[J]. 西南农业学报, 2001, 14(Suppl.): 57—60.

Assessment of Potential Productivity of Debris Flow Waste—shoal Land

— A Study on Jiangjia Ravine, Xiaojiang Valley

WANG Dao—jie, CUI Peng, ZHU Bo, WEI Fang—qiang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences

& Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: There is a good climate potential productivity (47641kg hm^{-2}) for the debris flow waste—shoal land with abundant light, heat and water resources in Xiaojiang Valley. Through the soil classification with the measure of power index summation, the results of soil available coefficients are 0.405 in wasteland, 0.594 in farm land with no—siltigation and 0.684 in improved farm land with siltigation. And the climate—soil potential productivities are 19295 kg hm^{-2} , 2899 kg hm^{-2} and 32586 kg hm^{-2} respectively. Validated in field sampling, the results of land potential productivity are nearly equaled to the real productivity. Therefore, the soil available coefficients calculated in this paper are rational.

Key words: Xiaojiang valley; Debris flow waste—shoal land; Potential productivity; Assessment