

三峡库区坡地物质的地球化学特征

——以三峡草堂河流域为例

陈可锋 杨达源 姜洪涛 周彬 徐永辉 刘庆友 董杰

(南京大学城市与资源学系,江苏南京 210093)

摘要:三峡水库建成后,三峡库区坡地物质成为三峡水库泥沙主要来源之一,三峡库区坡地物质的地球化学特征的研究对于三峡库区坡地水土保持与管理利用具有重要的意义。通过分析各坡度段物质的常量元素含量、磁化率特征以及粘土矿物种类等地球化学的特征,定性地说明了各坡度段从缓坡→斜坡→陡坡段风化作用强度依次减弱,相应的坡面侵蚀作用逐渐增强。而在相同坡度段,表层与一定深度物质的地球化学特征值变化不大,这说明土壤年轻化,成土作用比较弱。

关键词:草堂河流域;地球化学特征;三峡库区;坡地

中图分类号:P931.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-2251(2004)02-141-06

三峡库区地处亚热带湿润区,山地丘陵面积占96.2%,库区山地垂直高差达2000m左右。坡地是山地从山脊至山麓具有斜面坡面的总称,坡地过程则主要表现为侵蚀与堆积关系。在三峡地区侏罗系砂岩出露段,一个完整山体的山坡可分成既相互联系又相互区别的4个地段,4个地段具有迥然不同的物能结构和形成过程,也具有不同的生产潜力和不同的改造利用途径(郑度等,1998;崇婧等,2002)。三峡库区的坡地以紫色土坡地为主,52%以上的库区面积为紫色砂页岩。由于自然因素和人类活动的长期影响,三峡库区坡地剥蚀十分严重,坡地物质的地球化学性质也发生了明显的变化。三峡库区的草堂河流域紫色土坡地剥蚀十分强烈,本文以此为例研究不同坡度坡地物质的地球化学特征,为库区坡地水土保持提供基础信息。

1 区域概况及研究区坡地特点

草堂河位于奉节县东部,地理坐标介于东经108°24'32"—109°14'51"、北纬30°35'6"—31°26'36"之间,是长江的一级支流(图1),河长33.3km,流域面积210.0km²,平均流量7.51m³/s,年径流量2.369×10⁸m³。该流域水系十分发育,河网密度大,平均达0.79km/km²。本区地层全为沉积层,以三叠系中统巴东组地层出露较多。地貌类型主

要为低山河谷。



图1 实验区地理位置示意图

Fig.1 A sketch map of the experimental site

本区气候属中亚热带大陆性季风气候,年平均气温13~16.6℃,年降水量137~1100mm。流域内森林植被稀疏,水土流失严重,大部分陡坡是旱地或灌丛草坡,有的地段上土壤强烈侵蚀,只剩下红色裸岩。滑坡与沟谷泥石流活动频繁,河床逐年提高。

2 实验材料与方法

2.1 样品

参考杜榕桓对奉节县坡地划分方案,考虑到物质运动方式及植被覆盖特征等的不同,将草堂河流域的坡地划分为三段(表见1)。

在二坪村不同的坡段分别取样,从顶面垂直向下等距离采样,缓坡段每样间隔7cm左右,斜坡段、陡坡段间隔约3~4cm左右,每个剖面采7个

收稿日期:2003-09-20

基金项目:国家自然科学基金项目“长江三峡库区地貌发育过程”资助(4072126)

作者简介:陈可锋(1981—),男,硕士研究生,研究方向为环境演变与生态规划。

样品,共21个。

表1 草堂河流域紫色土不同坡度的分类

Tab.1 Classification of different slopes of the purple soil in CaoTang river drainage areas

坡段	坡角	厚度/cm	物质成分	物质运动方式
缓坡段	<15°	约80	主要是黄色含岩块沙土、紫色砂泥土	主要是蠕动,其次是片蚀
斜坡段	15~45°	20~30	坡地表面为含岩块砂屑砂土层,局部为粗碎屑坡积层	片蚀、沟谷侵蚀为主
陡坡段	>45°	<20	该坡段地面为粗碎屑砂土层	崩塌侵蚀和沟谷侵蚀为主

2.2 分析方法

(1)采用X射线荧光光谱仪进行常量元素氧化物地球化学分析,测试得到 Na_2O , MgO , CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , TiO_2 , MnO , TFe (全氧化铁), Fe_2O_3 , FeO , LoI (烧失量)共13组数据。在化学全量分析的基础上,主要选取了4个风化系数($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{R}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$, $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$),详细计算了不同坡段的沉积物化学元素迁移特征值。分析仪器VF-320型X射线荧光光谱仪,样品由南京大学现代分析中心X-荧光室测试。

(2)磁化率分析。在常温下自然阴干样品后,将样品置于碾钵内压碎成粉末状,然后将样品取出装入10 ml容量的圆柱状塑料盒内压实、称重后进行测试。在南京中科院地理所采用德国产 Barting-

ton Magnetometer MS2型磁化率仪进行测试,测量工作频率选用低频(0.47 kHz)。

(3)粘土矿物分析。所有样品经粉晶压片进行X射线衍射分析,在南京大学现代分析中心采用日本理学公司产D/max-RA X射线衍射进行分析。

3 结果与讨论

3.1 元素迁移特征与各坡度段的风化作用强度对比分析

分析成果表明,二坪村15°左右的缓坡段、40°左右的斜坡段、60°左右的陡坡段剖面的主要化学成分为: SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ,四者的平均含量之和分别可达71.84%,77.25%,73.94%。各成分的化学含量如表2。

表2 草堂河流域不同坡度段沉积物的氧化物测试结果

Tab.2 The measure results of oxides in the sediment of different Slopes in CaoTang river drainage area %

坡段	深度/cm	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	TFe	Fe_2O_3	FeO	LoI
缓坡段	5	0.07	1.66	9.92	35.75	0.04	1.74	21.68	0.50	0.05	4.03	3.21	0.74	23.45
	12	0.07	1.66	9.89	35.82	0.04	1.73	21.92	0.05	0.05	4.42	3.54	0.79	21.34
	19	0.07	1.82	10.81	39.05	0.03	1.92	19.22	0.06	0.06	4.42	3.69	0.65	21.34
	26	0.05	1.96	11.49	41.61	0.04	1.95	17.55	0.08	0.08	4.64	3.81	0.74	19.97
	33	0.06	1.82	10.73	38.66	0.03	1.90	19.72	0.06	0.06	4.43	3.68	0.59	22.07
	40	0.05	1.82	10.72	38.36	0.12	1.93	19.70	0.07	0.07	4.39	3.58	0.72	21.48
	47	0.05	1.79	10.52	38.15	0.13	1.90	19.87	0.07	0.07	4.28	3.43	0.76	22.07
斜坡段	4	0.15	20.4	10.66	34.29	0.11	2.03	23.01	0.54	0.50	4.07	2.35	1.54	24.05
	8	0.15	2.07	10.93	37.30	0.11	2.19	20.43	0.57	0.04	4.34	2.81	1.37	23.00
	12	0.19	2.01	12.14	42.10	0.13	2.42	17.38	0.62	0.04	5.03	4.12	0.18	18.23
	16	0.23	2.49	15.00	54.26	0.11	3.16	7.47	0.72	0.06	6.01	4.92	0.98	10.71
	20	0.25	2.33	13.89	50.74	0.10	3.00	10.13	0.70	0.05	6.14	5.11	0.92	12.82
	24	0.15	2.43	13.96	51.46	0.10	2.90	9.55	0.70	0.06	6.04	4.91	1.01	11.87
	28	0.34	2.53	11.65	55.41	0.11	3.14	6.60	0.73	0.06	6.35	5.30	0.94	9.48
陡坡段	2	0.18	2.24	10.63	40.93	0.08	2.15	18.23	0.52	0.07	4.25	2.90	1.21	19.68
	5	0.18	2.33	11.07	41.29	0.08	2.21	18.55	0.53	0.07	4.38	3.31	0.96	18.96
	8	0.18	2.20	10.54	40.45	0.07	2.08	19.48	0.52	0.07	4.22	3.28	0.84	19.10
	11	0.18	2.31	10.88	40.88	0.07	2.20	18.64	0.53	0.07	4.41	3.58	0.74	18.99
	14	0.18	2.27	10.73	40.60	0.07	2.2	19.19	0.52	0.07	4.31	3.50	0.72	19.32
	17	0.17	2.29	10.62	40.09	0.08	2.11	19.60	0.51	0.07	4.24	3.16	0.97	19.63
	20	0.18	2.24	10.44	39.44	0.08	2.06	20.15	0.51	0.07	4.22	3.31	0.81	19.18

注:LoI为烧失量。

在化学全量分析的基础上,详细计算了不同坡度段物质的化学元素迁移特征(表3)。

表3 草堂河流域不同坡度段沉积物的地球元素迁移特征值
 Tab.3 The transference characteristic of Earth elements in the sediment of the different slopes in CaoTang river drainage areas

坡段	深度/cm	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	R ₂ O ₃ /SiO ₂	SiO ₂ /Fe ₂ O ₃
缓坡段	5	6.12	4.84	0.19	29.69
	12	6.15	4.38	0.19	28.98
	19	6.14	4.59	0.19	29.22
	26	6.15	4.73	0.20	29.12
	33	6.13	4.57	0.19	28.01
	40	6.08	4.69	0.19	28.57
	47	6.16	4.81	0.19	29.65
斜坡段	4	5.46	4.29	0.20	38.91
	8	5.80	4.33	0.20	35.39
	12	5.94	4.62	0.20	27.24
	16	6.14	4.45	0.20	29.40
	20	6.17	4.78	0.19	26.47
	26	6.26	6.10	0.19	27.94
	28	6.42	7.11	0.19	27.87
陡直坡段	2	6.45	5.74	0.18	37.14
	5	6.34	5.24	0.18	33.26
	8	6.25	5.04	0.18	32.88
	11	6.38	4.76	0.18	30.45
	14	6.43	4.80	0.18	30.96
	17	6.41	5.27	0.18	33.83
20	6.42	4.94	0.18	31.77	

风化系数反映风化壳本身元素的迁移和累集及绝对风化程度,适用于同一风化壳剖面各层单一元素的对比分析。在分析岩石化学风化程度时,铁铝的富积程度是最能反映风化程度且灵敏性较高的一个指标,在计算化学风化特征值时主要选取的风化系数有:①硅铝系数(SiO₂/Al₂O₃);②铝铁系数(Al₂O₃/Fe₂O₃);③硅铁系数(SiO₂/Fe₂O₃);④铝铁硅系数(R₂O₃/SiO₂)。这四个系数主要反映的是脱硅和铁铝的富集程度,前三个化学风化特征值的共同特点是随着风化程度的加深,值趋向于减小,即值越小,反映的风化强度越深。铝铁硅系数则刚好相反,值越大,风化强度越深(张丽萍,2003)。

在相同的坡度段,随着深度的增加,硅铝系数、铝铁系数、铝铁硅系数、硅铁系数值的变化不大,且无明显的规律;而在不同坡段,四项指标值具有一定的变化规律。从缓坡→斜坡→陡坡段,硅铝系数平均值从6.13→6.08→6.43;铝铁系数平均值从4.45→4.15→5.15;铝铁硅系数平均值从0.19→

0.19→0.18;硅铁系数值平均值从28.61→30.60→32.89。从缓坡→斜坡→陡坡段,铝铁硅系数呈递减趋势;其他三项均呈递增趋势,变化幅度大于前者,规律明显,尤其是硅铁系数变化最明显,这表明不同坡度段的风化作用强度存在明显的差异性;在陡坡段风化残留物的风化程度浅,缓坡段风化程度深,这是因为在陡坡段风化剥蚀快,风化表面的强风化部分被剥蚀较多的原因(Thompson,1986)。风化强度由强到弱的顺序依次为从缓坡→斜坡→陡坡段。但在相同坡度四个系数值的变化很小,这说明紫色土的成土时间短,比较年轻。

3.2 磁化率特征及不同坡度段的风化作用强度对比分析

自70年代Oldfield F和Thompson R创立环境磁学以来,磁化率作为一个重要的环境指标,得到了广泛的应用(刘良梧,2001)。磁化率也是反映沉积,成土作用环境和土壤发育程度的一个良好指示剂(李小虎,2003)。草堂河不同坡地段的风化壳的

磁化率特征值如表4。

表4 草堂河流域不同坡度段的磁化率值

Tab.4 The susceptibility of different grade in Cao Tang river drainage area

坡段	深度/cm	磁化率值/ $10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
缓坡段	5	19.59
	12	18.25
	19	19.19
	26	19.73
	33	21.74
	40	20.76
	47	18.87
斜坡段	4	14.48
	11	15.75
	18	14.89
	25	15.15
	32	15.02
	39	14.64
	46	15.85
陡坡段	3	9.61
	8	9.48
	13	7.05
	18	7.68
	23	6.82
	33	7.58

从表4可见,在相同坡度段随着深度的增加,磁化率变化幅度不大,没有明显的变化规律。但在不同的坡度段,随着坡度的变化,磁化率值呈现出明显的规律性。在二坪村剖面,缓坡段的磁化率值在 $18 \times 10^{-8} \sim 22 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $15 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; 陡坡段的磁化率值在 $6 \times 10^{-8} \sim 10 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值约为 $7 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; 陡坡段的磁化率值在 $7 \times 10^{-8} \sim 9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,平均值为 $7.9 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由此可以看出从缓坡→斜坡→陡坡段,磁化率值由高→低规律性变化。分析结果说明,不同坡度段土壤的成熟度及侵蚀作用强度不同,陡坡段年轻土壤的成土作用弱,磁化率值低;缓坡段成土作用强,磁化率值高。各坡度成土作用由强到弱的顺序依次为缓坡→斜坡→陡坡段,相应的侵蚀作用则由弱到强。

3.3 各坡度段粘土矿物特征及不同坡度段的风化程度对比分析

粘土矿物特征由源区母岩岩性和形成时的风化环境特征所控制(何良彪,1997),土壤中大量的粘土矿物是在表生风化作用下形成的(汤艳杰等,2002)。通过对土壤矿物,尤其是粘土矿物特征的研究,可以揭示土壤的发生学特征、呈色机理、成土作用及环境(章明奎等,1999)。

本研究区不同坡度物质的粘土矿物 X 衍射线曲线如图2、图3、图4、图5。

从图2-图5可以看出,各坡度段物质的粘土矿物种类主要有云母类、高岭土、蛭石+蒙脱石类等,此外还有一定量的石英和方解石。长江流域气候温暖、雨量充沛、风化作用较强,由于雨水多,碱金属和碱土金属容易流失,所以形成贫钾伊利石、富铁蒙脱石等粘土矿物(李德文等,2002)。在不同的坡度段,粘土矿物的含量各不相同,主要反映在粘土矿物峰值的变化上,通常用高岭土的峰值变化来推测各坡段的成土作用强弱。峰值大表明其含量高,相应的成土作用也强。由上述试验分析可知,高岭土的峰值高度随着深度的增加变化不大(缓坡段从 $1.2 \text{ cm} \rightarrow 0.9 \text{ cm}$,斜坡段从 $0.7 \text{ cm} \rightarrow 0.6 \text{ cm}$,陡坡段均未出现);而在不同坡度段,从缓坡→斜坡→陡坡段高岭土的峰值高程呈递减变化规律($1.3 \text{ cm} \rightarrow 1.0 \text{ cm} \rightarrow 0 \text{ cm}$)。

从各坡度段的粘土矿物含量变化上,可以定性推测不同坡度段的侵蚀程度。在缓坡段,高岭土峰值高度大,说明成土作用强,土壤的风化程度、成熟度高,相应的地表侵蚀作用最弱;斜坡段,高岭土峰值高度中等,说明成土作用,土壤成熟度相应减弱,地表侵蚀作用加强;陡坡段,高岭土峰值最小,说明成土作用最弱,土壤的成熟度也最低,相应的地表侵蚀作用最强。表生地球化学认为,风化壳粘土矿物组合主要取决于壳内水流速度,高的水流速度意味着体系内硅的活动较低,脱硅富铝作用得以进行,有利于高岭土-水铝石类粘土矿物的形成;低的水流速度意味着体系内硅不能及时地迁移,结果只能形成以蒙脱石为主的粘土矿物组合(徐义芳等,1999)。因此,坡地紫色土壤的发育程度除了与成土环境有关外,还可能与各坡度段风化时间和侵蚀速率不同有关。

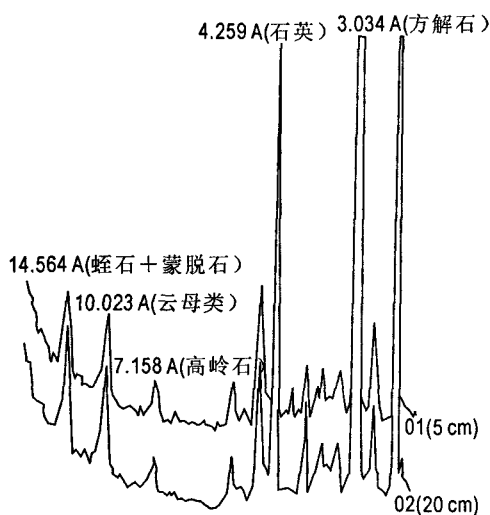


图2 缓坡段物质的粘土矿物 X 射线衍射图
Fig.2 The X-rays diffraction map of the clay mineral in the gentle slope

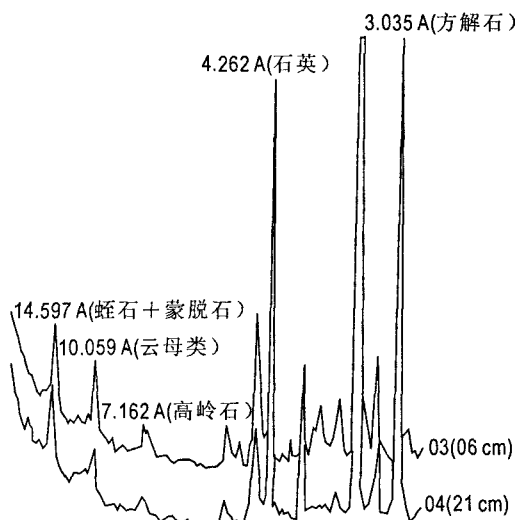


图3 斜坡段物质的粘土矿物 X 射线衍射图
Fig.3 The X-rays diffraction map of the clay mineral in the incline slope

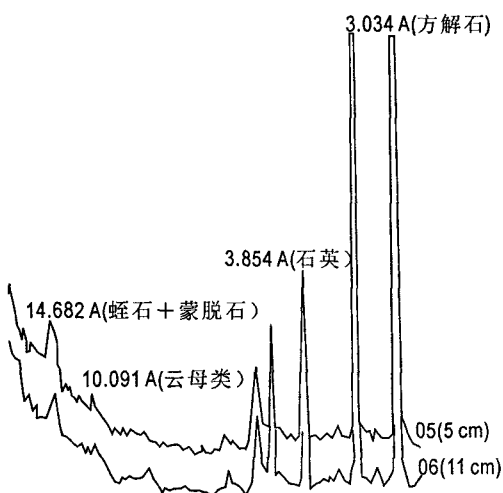


图4 陡坡段物质的粘土矿物 X 射线衍射图
Fig.4 The X-rays diffraction map of the clay mineral in the stiff slope

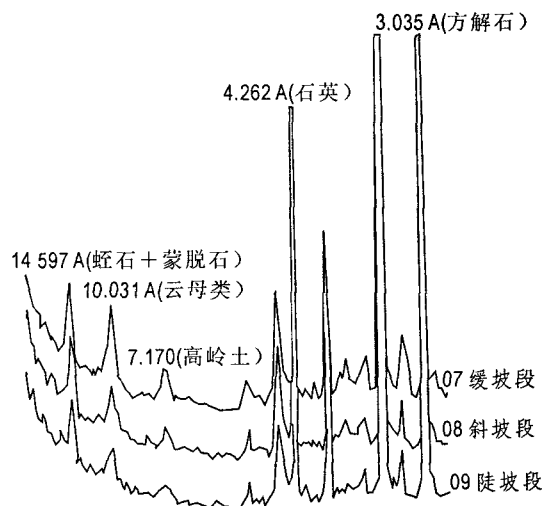


图5 各坡段物质的粘土矿物 X 射线衍射图
Fig.5 The X-rays diffraction map of mineral in the different slopes

4 结论与讨论

(1) 按坡度的不同可将草堂河流域的坡地分为:缓坡($<15^\circ$)、斜坡($15 \sim 45^\circ$)和陡($>45^\circ$)。

(2) 各坡度段物质的地球化学特征定性的说明了成土作用及其侵蚀作用强度。从缓坡→斜坡→陡坡段,硅铝系数、铝铁系数、硅铁系数值递增、铝铁硅系数递减;磁化率递减,高岭土衍射峰值递减,说明成土作用依次减弱。

(3) 相同坡度段,表层与一定深度的地球特征

值变化不大,风化壳的风化程度没有明显的变化,说明紫色土的成土时间短,比较年轻。

参考文献

崇婧,杨达源. 2002. 长江三峡地区坡地发育初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 11(3): 264 ~ 268.
何良彪. 1997. 黄河与长江沉积物中粘土矿物的化学特征[J]. 科学通报, (7): 732 ~ 733.
李德文, 崔之九. 2002. 风化壳研究的现状与展望[J]. 地球学报, 23(3): 283 ~ 287.
李小龙. 2003. 土壤矿物学研究综述[J]. 甘肃地质学报, (12): 37 ~

- 40.
- 刘良梧. 2001. 磁化率-沉积、成土作用环境的剂[J]. 土壤, (2): 98 ~ 101.
- 汤艳杰, 贾建业. 2002. 粘土矿物的环境意义[J]. 地学前缘, 9(2): 337 ~ 344.
- 徐义芳, 朱照宇. 1999. 英峰岭剖面红土的粘土矿物和化学特征与成土环境关系[J]. 地球化学, 28(3): 281 ~ 288.
- 张丽萍. 2003. 三峡坝区花岗岩风化分带的化学特征指标研究[J]. 浙江大学学报, 30(4): 471 ~ 476.
- 章明奎, Wils M J. 1999. 我国主富铝化土壤砂粒矿物特征及其发生学意义[J]. 土壤通报, 30(6): 245 ~ 247.
- 郑度, 申元村. 1998. 坡地过程及退化坡地恢复整治研究[J]. 地理学报, 53(2): 116 ~ 122.
- Thompson R. Oldfield F. 1986. Environmental Magnetism [M]. London: Allen&unwin. 11 ~ 18.

The Geochemistry Characteristic of Weathering Crust in the Three Gorge Areas

—— The Example of CaoTang river drainage area in the Three Gorge Areas

CHEN Ke-feng, YANG Da-yuan, JIANG Hong-tao, ZHOU Bin, XU Yong-hui, LIU qing-you, DONG jie
(Department of Urban and Resource Sciences, NanJing University, Nanjing, JS 210093, China)

Abstract: Slope substance will become one of the main sources of mud and sand in the three gorges areas after the three gorges reservoir being built. It is very important to study the geochemistry characteristic of weathering crust in these areas for the preserve, management and using of water and soil. It is shown that there are obvious differences in the weathering intensity of the different slope segment with the same depth, and the intensity is descending in sequence from the gentle slope to the incline and further to the stiff slope by analyzing the geochemistry characteristic of ordinary elements, clay mineral and susceptibility. While there are small differences in the geochemistry characteristic of surface layer and some depth segments in the same slope. It is shown that the soil is young and the forming soil action is weak.

Key Words: CaoTang river drainage area; geochemistry characteristic; Three Gorge Areas; sloping fields