

宜兴茶园土壤侵蚀及生态影响*

张 燕¹ 杨 浩¹ 金 峰¹ 张 洪² 彭补拙²

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008) (2 南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

摘 要 茶园是苏南丘陵坡地的一种典型利用方式, 其上发生的土壤侵蚀及产生的生态影响不容忽视。而要测度土壤侵蚀, ^{137}Cs 示踪法是目前使用较多的一种有用工具, 但要用此法, 需找到研究区的 ^{137}Cs 背景值, 并建立合适的估算模型。本文在对宜兴茶园研究时, 确定了这里的 ^{137}Cs 背景值为 $2\ 200\ \text{Bq}\ \text{m}^{-2}$, 并建立了估算耕作土壤的较合理的模型 $h = H c_i (C_{\text{ref}} - C_i) / (C_{\text{ref}} - C_{\text{in}})$ 。在此基础上衡量了研究对象的土壤侵蚀量; 并进一步探讨了由此引发的生态影响, 包括土层减薄、土壤质地改变和养分流失这样的直接影响, 以及与之相应的一些间接影响, 如能耗增加、水体富营养化及土地适宜性变化等; 并且, 还采用等值侵蚀模数这个指标, 在与其他地区尤其是黄土和红壤区比较中揭示了苏南地区土壤侵蚀的生态危害的严重性。

关键词 ^{137}Cs 背景值, 侵蚀模型, 等值侵蚀模数, 直接生态影响, 间接生态影响

中图分类号 S157.1, S158.1

苏南丘陵区的自然条件非常适宜茶树生长, 故有大面积人工栽培茶园, 但受耕作活动扰动, 茶园发生了一定规模的土壤侵蚀及养分流失, 然而, 对该地区土壤侵蚀及相关的养分流失的研究似嫌不足, 我们在此方面做了些尝试。作为研究对象的茶园位于有数千年土地开发史的江苏省宜兴市湖 镇, 属太湖流域, 地貌为低山丘陵区, 年均气温 15.6°C , 年降水日 136 d, 年均降水量 $1\ 385.8\ \text{mm}$, 无霜期 239 d; 山丘坡地土壤为红黄壤, 呈微酸性。

1 研究方法

1.1 土壤侵蚀的研究方法

^{137}Cs 自大气沉降至地表即被土壤颗粒牢固吸附且主要随土壤颗粒移动, ^{137}Cs 示踪法^[1~3] 即根据此特点研究土壤侵蚀。该法假定 ^{137}Cs 在小区均匀沉降并找到区域背景值 C_{ref} , 采样点的实测 ^{137}Cs 含量 C_i 小于 C_{ref} 表明该点存在土壤流失, C_i 大于 C_{ref} 意味着有土壤沉积。

1.1.1 样品采集与 ^{137}Cs 测试 2001 年 3 月中旬在阳羨茶场采样。共取 6 个采样点 B0~ B5, 每个采样点按 5 cm 间隔从表土向下分层采集 7~8 层土样, 深度至 35~40 cm。

采集的土壤样品经风干、研磨、过 10 目筛后, 分取一部分样品在 105°C 温度下烘至恒重, 然后称取样品约 100 g 测定 ^{137}Cs 含量。测定 ^{137}Cs 活度的仪器为美国 EG&G ORTEC 公司生产配有多道分析仪的 GEM 25210 高纯锗 谱仪。

1.1.2 研究区域 ^{137}Cs 背景值的确定 我们选择了一坡地上处于自然状态的竹园, 在基本未发生侵蚀与沉积的坡顶一块面积较大的平整地段采集了土样; 考虑到平坦的旱地可以认为基本既无侵蚀也无沉积, 较接近 ^{137}Cs 背景值, 还在研究区附近平坦的旱地里采集了土样进行对比; 为确保研究区背景值的可靠, 又在离竹园不远的一块平整的二级阶地上的自 50 年代以来未曾受到扰动的板栗林中采集了土样作为参照。

竹林坡顶的 ^{137}Cs 含量 $2\ 169.4\ \text{Bq}\ \text{m}^{-2}$; 旱地测量值则在 $2\ 100\ \text{Bq}\ \text{m}^{-2}$ 与 $2\ 200\ \text{Bq}\ \text{m}^{-2}$ 之间波动; 考虑

* 国家自然科学基金重点项目(49831070)和国家自然科学基金项目(49973027)资助

收稿日期: 2002-05-26 收到修改稿日期: 2002-08-03

发生微量侵蚀的可能和测量误差,区域背景值定为 $2\ 200\ \text{Bq m}^{-2}$ 。从板栗林存在微量侵蚀,其 ^{137}Cs 含量 $2\ 010.2\ \text{Bq m}^{-2}$ 来看,所定背景值较为可靠。又因 ^{137}Cs 沉降与降水有关^[4],江南降水远多于黄土高原,江南的 ^{137}Cs 沉降量自应较大,参照 Zhang 等的研究^[5](黄土高原 ^{137}Cs 背景值 $2\ 008\ \text{Bq m}^{-2}$),取 $2\ 200\ \text{Bq m}^{-2}$ 为研究区域的背景值亦符合 ^{137}Cs 的沉降规律。

1.1.3 耕作土壤侵蚀模型的建立 国内外用 ^{137}Cs 示踪法研究耕作土壤侵蚀的模型一般都包括一个假定前提,即 ^{137}Cs 全部集于耕层中,呈均匀分布^[9]。但据我们实测, ^{137}Cs 在耕层中呈均匀分布,而在耕层以下也仍有部分 ^{137}Cs 入渗,且在耕层以下随深度的增加逐渐递减为零(表 1,图 1)。因此,我们建立了考虑下渗 ^{137}Cs 部分的耕作土壤侵蚀模型。

由于耕作活动的扰动, ^{137}Cs 在耕层(Hc)中均匀分布,质量活度浓度为 (Bq kg^{-1}) ,但分布深度多深于耕层,则无侵蚀耕作剖面中 C_{ref} 和侵蚀耕作剖面中 C_t 均分作两部分:一部分是均匀分布于耕层中的 C_{ref1} 和 C_{t1} ,另一部分是入渗于耕层以下的 C_{in} ,即有

表 1 茶园土壤剖面 ^{137}Cs 含量 (Bq m^{-2})

Table 1 ^{137}Cs inventory in the soil of the tea plantation

层次 Layer	剖面号 Profile No		
	B0	B1	B4
0~ 50 mm	295.1	275.0	307.5
50~ 100 mm	348.4	300.9	421.9
100~ 150 mm	328.9	300.9	345.2
150~ 200 mm	348.4	342.6	299.0
200~ 250 mm	278.2	160.6	216.4
250~ 300 mm	76.1	0	150.3
300~ 350 mm	0	0	66.1
350~ 400 mm	0	0	0

注:耕层深度 200 mm

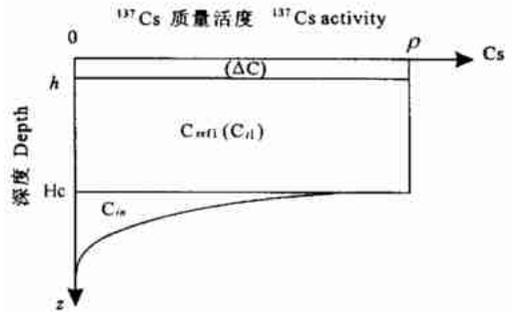


图 1 ^{137}Cs 在耕地土壤剖面中的垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of ^{137}Cs in cultivated soil

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{ref1}} + C_{\text{in}} = D \quad Hc + C_{\text{in}}, \quad C_t = C_{t1} + C_{\text{in}} = D \quad (Hc - h) + C_{\text{in}}$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ 流失量 } C = C_{\text{ref}} - C_t = D \quad h, \text{ 整理得}$$

$$h = Hc \quad (C_{\text{ref}} - C_t) / (C_{\text{ref}} - C_{\text{in}}) \quad (1)$$

由(1)式求出土壤流失总厚度 h 后, t 年来土壤年均流失厚度 h_t (mm) 和相应的年均侵蚀速率即土壤侵蚀模数 E_r ($t\ \text{km}^{-2}\ \text{a}^{-1}$) 为

$$h_r = h/t = h/(T-1963) \quad (2)$$

$$E_r = D \quad h_r \quad (3)$$

式中 D 为土壤容重 (g cm^{-3}); T 为采样年份, $T > 1963$ 年, 1963 年为 ^{137}Cs 输入最大年份。

1.2 土壤养分流失的测算方法

1.2.1 土壤养分的测定方法^[6] 将采集的分层土壤样品再分取一部分,研磨过 100 目筛,用于测定土壤养分含量。用重铬酸钾法测定土壤有机质(OM),硫酸-重铬酸钾消化法测定土壤全氮(TN),高氯酸-硫酸酸溶-钼锑抗比色法测定土壤全磷(TP)(以 P_2O_5 计)。

1.2.2 流失养分的测算方法 为探讨侵蚀造成的土地质量退化及流失的土壤养分对环境的影响,采用单位面积土壤养分绝对流失量(NE)与单位面积土壤养分相对流失量(E)二指标。

单位面积表层土壤第 j 种养分绝对流失量 NE_{j1} 为

$$NE_{j1} = N_{j1} \quad D_1 \quad h_r \quad (4)$$

耕层第 j 种养分含量 $N_{j1} = N_{ji} \quad D_i \quad h_i$, 则单位面积表层第 j 种养分的相对流失量 E_j 为

$$E_j (\%) = NE_{j1} / N_{j1} = N_{j1} \quad D_1 \quad h_r / N_{ji} \quad D_i \quad h_i \quad (5)$$

各式中, N_{ji} 为单位面积耕层剖面第 i 层中第 j 种养分的含量,当 $i = 1$ 时表示表层中第 j 种养分的含量;

D_i 为耕层剖面第 i 层的土壤容重; h_i 为耕层剖面第 i 层的厚度。

1 2 3 等值侵蚀模数 由于各地的土壤与生态条件不同, 因而侵蚀模数的高低并不能完全反映土壤侵蚀对生态环境的影响。为了揭示土壤侵蚀对生态环境的直接与间接影响, 并便于比较侵蚀对不同侵蚀区生态环境的影响程度, 我们提出某物质的等值侵蚀模数这个概念: 以流失土壤中所含某种物质的总量来衡量, 若两地单位面积流失的土壤量分别为 E_1 、 E_2 , 且 E_1 、 E_2 包含有等量的某种物质成分, 即有 $M_x = E_1 X_1 = E_2 X_2$, 其中 M_x 为单位面积一定时间内流失某物质的总量 ($\text{kg hm}^{-2} \text{a}^{-1}$), X_1 、 X_2 分别为两地流失土壤中该物质的单位含量 (g kg^{-1}), 则 E_1 、 E_2 互为此物质的等值侵蚀模数。

1 3 土壤质地改变的测算方法

适宜的土壤机械组成利于土壤水分与养分的保持, 植物顺利生长所需的许多理化条件也易满足。然而, 侵蚀会引起土壤机械组成的分选。以砂粒与粉粒粘粒之和的百分比 (即 [砂粒 / (粉粒 + 粘粒)] 100%) 来描述分选引起的土壤质地变化, 并称该比值为土壤质地粗化度。此值越大, 表明土壤所含粗颗粒越多, 粉、粘粒越少。按我国标准^[7]划分, 砂粒为 1~0.05 mm, 粉粒为 0.05~0.005 mm, 粘粒为 <0.005 mm。测量土壤质地采用的是比重计法^[9]。

1 4 计算补偿流失养分所需的物质与能量的方法

1 4 1 计算补偿流失养分所需化肥量 侵蚀引起肥沃表土流失, 要维持土壤肥力, 须弥补侵蚀引起的养分损失。为方便计, 仅考虑以化肥来弥补各种营养元素的损失, 则补偿 j 种养分所需 i 种化肥量 F_i ($\text{kg hm}^{-2} \text{a}^{-1}$) 为:

$$F_i = NE_{j_i} / F_j \quad (6)$$

式中 F_j 为 i 种化肥含 j 种营养元素的百分比 (%), 称 F_i 为替代化肥。

1 4 2 计算生产替代化肥所消耗的能量 化肥生产的原料开采与加工耗能极高, 土壤侵蚀的间接影响便是增加能耗。生产替代养分流失的某种化肥需消耗能量 EN_i ($\text{J hm}^{-2} \text{a}^{-1}$):

$$EN_i = F_i EF_i \quad (7)$$

式中 EF_i 为生产单位 i 种化肥消耗的能量 (J kg^{-1})。

2 结果与讨论

2 1 茶园土壤侵蚀状况

由¹³⁷Cs 测试结果, 用建立的侵蚀模型式(1)~(3)得茶园土壤年均侵蚀厚度、侵蚀速率列于表 2。其中耕层厚度根据当地的耕作情况取 20 cm, 土壤容重取 1.3 g cm^{-3} 。

表 2 茶园的地貌、土壤剖面¹³⁷Cs 含量及土壤侵蚀速率
Table 2 Landform, content of ¹³⁷Cs and soil erosion rate of the tea plantation

剖面号 Profile No	海拔高度 Altitude (m)	坡度 Slope (°)	坡长 Slope length (m)	¹³⁷ Cs 面积含量 ¹³⁷ Cs inventory (Bq m^{-2})	年均侵蚀厚度 Mean annual thickness of erosion (mm)	侵蚀模数 Erosion module ($\text{t km}^{-2} \text{a}^{-1}$)
B0	60.6	0	0.00	1 675.05	1.50	1 946.0
B1	61.7	3	31.98	1 379.95	2.12	2 751.2
B2	62.9	3	55.31	1 077.05	2.69	3 492.4
B3	64.5	3	85.87	1 061.45	2.72	3 540.9
B4	62.2	6	20.72	1 806.35	1.17	1 524.2
B5	63.0	6	28.71	941.85	3.01	3 912.9

这里的茶树种植在修整过的缓坡上, 坡面坡度均匀, 同一坡度下的坡长加长; 每年还沿垄沟松土施肥两次, 受此扰动, ¹³⁷Cs 在耕层中均匀分布; 人工干扰减少了地表覆盖, 便于水流冲刷, 因而整个采样线均为侵蚀, 且远高于自然状态的坡地 (附近一处于自然状态的竹园的侵蚀量仅 $214.3 \text{ t km}^{-2} \text{a}^{-1}$)。按水

利部拟定的标准^[8], 茶园坡地土壤侵蚀属中度侵蚀。

比较 B1~ B5 不难发现, 从坡顶到坡脚流失量渐减, 坡地上部以净流失为主, 坡地中下部除土壤流失外, 还接受坡上部流失的土壤, 因而坡耕地的土壤净流失上部大于中下部。

种植方式对土壤流失也有影响。B1~ B3 自下而上分布于顺坡种植的 3 坡面, B4~ B5 自下而上分布于横坡种植的 6 坡面, 土壤流失却是坡度小的流失量反较坡度大的高(除 B5 外), 说明横坡种植较顺坡种植有利于防止土壤流失。B0 处在两坡的汇水处, 可能汇水径流导致了土壤流失的增加, 其土壤流失量反高于 B4。

此外, 为考察对周围环境的影响, 还要了解研究区的土壤净流失量, 净流失量以坡脚采样点的侵蚀量来代替。从坡最下部的 B3 和 B4 的侵蚀量可看出, 各采样点的土壤侵蚀速率尽管较大, 但离开各坡面的土壤净流失量却不大; B0 代表的离开茶园两面坡的总净流失量也只有 $1\ 946\ 0\ \text{t}\ \text{km}^{-2}\ \text{a}^{-1}$ 。侵蚀土壤未远离侵蚀源地似是苏南低山丘陵区土壤侵蚀的特点。

根据其他学者的研究, 太湖年泥沙输入量 $44\ 10^4\ \text{t}^{[9]}$, 太湖流域水土流失面积 $0\ 296\ 10^4\ \text{km}^2^{[10]}$, 泥沙输移比以 $0\ 1$ 计^[11], 则太湖流域平均侵蚀模数 $1\ 486\ \text{t}\ \text{km}^{-2}\ \text{a}^{-1}$ 。此结果与代表茶园总净流失量的 B0 点侵蚀模数还是接近的。

2.2 土壤侵蚀的直接生态影响

2.2.1 土层减薄

侵蚀对侵蚀区的直接影响之一是土层减薄。茶园年均土壤侵蚀厚度 $1\ 17\sim 3\ 01\ \text{mm}\ \text{a}^{-1}$ (表 2)。据 Johnson^[12], 耕作土可在 30 年内形成 25 mm 表土层, 由此推算, 耕作土成土速率为 $0\ 83\ \text{mm}\ \text{a}^{-1}$ 。茶园土壤虽侵蚀强度不大, 流失速率却大于成土速率, 长此将使土壤资源消失, 且苏南土层厚度远不能与黄土相比, 侵蚀必将破坏种植业生存基础。

2.2.2 土壤质地粗化

伴随侵蚀的还有土壤机械组成的分选, 并造成土壤质地改变, 尤其是促使土壤质地粗化。在我们的研究中, 从总体来看, 侵蚀与质地粗化之间有一定相关性, 这与国内外相应研究^[13, 14]一致。但由表 3 可见, 侵蚀量与土壤质地粗化却不一一对应, 除侵蚀增加, 土壤颗粒变得粗糙外, 还存在侵蚀减少, 土壤质地仍继续粗化的现象, 表明土壤质地粗化可能受侵蚀与其他因素共同影响, 也许其他因素的作用更多些, 如受水流携沙能力的控制, 亦即水流的流速、流量及含沙量对土壤质地粗化的作用可能更为直接。

表 3 茶园耕层土壤机械组成与土壤质地粗化度

Table 3 Soil particle size distribution and coarseness of soil texture in the tea plantation (%)

剖面号 Profile No	1~0.5 mm	0.5~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.005 mm	0.005~0.001 mm	<0.001 mm	粗化度 Coarseness
B0	1.638	22.44	38.42	8.71	15.88	12.92	31.71
B1	0.259	11.36	35.74	12.43	15.54	24.66	13.15
B2	0.782	8.76	37.00	11.46	16.67	25.32	10.55
B3	1.890	12.91	35.82	10.86	16.02	22.51	17.37
B4	0.622	16.80	34.69	11.91	16.57	19.41	21.10
B5	0.726	12.64	31.71	10.91	16.64	27.37	15.43

坡上部水的流速、流量均低, 携沙能力弱, 只能将细颗粒冲至坡中部。在坡中部径流汇集, 流速、流量及含沙量都增加, 水流冲刷加强但携沙也过饱和, 来自上部的部分细颗粒泥沙在此沉积, 故土壤质地较细。流至坡下部时, 水流的冲刷与搬运能力更大, 且在两茶园间开掘排水沟, 虽利于水分排泄, 却因侵蚀基准面降低而加大了水的流速与流量, 增强其携沙能力, 加大对土壤的冲刷和分选, 使排水沟及两侧坡面的侵蚀加剧。况坡下部的剖面除本处土壤被冲流失外, 还接受上部的土壤沉积, 两者共同作用使净侵蚀相对减少, 但来自上部的土壤以易为水流携带的细颗粒为主, 结果坡下部土壤中原有的和沉积下的较细颗粒被水流带走, 在原地留下较粗颗粒; 加上耕作活动如松土培根的经常搅动, 细颗粒不断被带至

表层,更便于水流将其带走,长期作用之下,便出现了 B1、B4 的土壤流失相比之下并不很大,土壤质地却明显粗化的现象。排水沟中流量最大,带至 B0 处的泥沙和原有土壤中的粗大颗粒才能留下,故土壤质地粗化最为明显。再比较两坡面的土壤质地,6 坡汇流速度快,水流冲刷能力强,因而比 3 坡的质地粗。可见横坡种植虽可将泥沙截留,有效减少土壤侵蚀量,却不一定能阻止土壤质地粗化,要改善土壤质地恐得从增加地表覆盖以减少径流入手。

以上分析虽为我们的推断,但其既符合土壤侵蚀的基本动力要求,又与¹³⁷Cs 更易为细颗粒土壤吸附并随之移动的特点一致,因而我们认为是合理的。

2.2.3 养分流失 侵蚀还使养分损失,土壤贫瘠。茶园表土养分含量测量值、土壤养分绝对流失量与相对流失量汇总于表 4。对照表 2,土壤 OM、TN、TP 含量与侵蚀负相关,侵蚀量高的剖面养分含量低,侵蚀量最大的 B5 养分流失也最大。B0 的流失量即是茶园总净流失。每年两次施肥使茶园土壤养分含量很高,弥补了部分养分损失,也淡化了养分流失对地力的影响。尽管如此,土壤养分减退仍难以避免,0.58% ~ 2.27% 的养分相对流失量便反映了此。

表 4 茶园表层土壤养分含量及流失土壤养分

Table 4 Content of soil nutrients in the surface soil of the tea plantation and loss of soil nutrients

剖面号 Profile No	表层土壤养分含量 Topsoil nutrients content (10^4 mg kg^{-1})			年均流失养分绝对量 Mean annual absolute nutrient loss ($\text{kg hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)			年均流失养分相对量 Mean annual relative nutrient loss (%)		
	有机质 O M	全氮 Total N	全磷 Total P	有机质 O M	全氮 Total N	全磷 Total P	有机质 O M	全氮 Total N	全磷 Total P
	B0	6 958	0 151	0 304	1 354 0	29 4	59 2	1 112	1 084
B1	6 105	0 144	0 231	1 679 6	39 6	63 6	1 210	1 184	0 945
B2	4 455	0 195	0 198	1 555 9	68 1	69 2	1 690	1 832	1 320
B3	5 133	0 104	0 329	1 817 6	36 8	116 5	1 378	1 193	2 539
B4	7 289	0 241	0 377	1 111 0	36 7	57 5	0 722	0 851	0 583
B5	6 961	0 223	0 312	2 723 8	87 3	122 1	2 242	2 268	1 523

再用与养分流失联系的等值侵蚀模数,经与黄土和红壤区比较,更能说明苏南地区土壤侵蚀的潜在危害。黄土表土的 OM、TN 仅 0.34% 和 0.032%^[15],红壤区的 OM、TN、TP 为 0.91%、0.05% 和 0.05%^[16],肥沃的茶园表土的 OM、TN 是黄土的 13.1(B2) ~ 21.5(B4) 倍和 3.3(B3) ~ 7.5(B4) 倍,OM、TN、TP 是红壤区的 4.9(B2) ~ 8.0(B4) 倍、2.1(B3) ~ 4.8(B4) 倍和 4.0(B2) ~ 7.5(B4) 倍。以含等值养分(如 TN)折算,3.912 9 t km⁻² a⁻¹ 的茶园侵蚀模数相当于 27.390 3 t km⁻² a⁻¹ 的黄土区侵蚀模数和 17.451 5 t km⁻² a⁻¹ 的红壤区侵蚀模数,即以 TN 等值侵蚀模数衡量,茶园的土壤侵蚀当属重度侵蚀。

2.3 土壤侵蚀的间接生态影响

2.3.1 弥补侵蚀损失的养分所需的物质与能量估算 若以碳酸氢铵(NH₄HCO₃, 含氮以 17% 计^[17]) 或者尿素(CO(NH₂)₂, 含氮以 45% 计) 来补充流失的氮,过磷酸钙(Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 含 P₂O₅ 以 15% 计) 来补充磷,按生产吨标准氮肥(以 N 计)需能量^[18]2 402 76 10⁴ kJ,生产吨标准磷肥(以 P₂O₅ 计)需能量^[18]849 76 10⁴ kJ 计算,补偿茶园土壤侵蚀引起的养分损失需增施化肥量及生产化肥需能量如表 5。即使按低值估算,所耗能量折标准煤亦达 46.76 kg hm⁻² a⁻¹ (标准煤的低热值取 29 308 kJ kg⁻¹^[19]),更勿论按高值估算了。

2.3.2 土壤侵蚀的其他生态影响 虽然苏南地区土壤净流失量没有黄土高原及红壤地区那么严重,可苏南丘陵区的自然条件及精耕细作的传统使这里的土壤更肥沃,流失土壤携带的养分绝对量很大,结果引起水体营养元素过剩,水体质量下降,导致严重的环境问题,威胁苏南水生生态环境的安全,使江南水乡频频出现水质性水资源短缺的危机。

表5 补偿茶园土壤养分流失所需增施化肥量及由此引起的能量消耗

Table 5 Increase in consumption of fertilizers and energy compensating for the nutrient loss caused by erosion in the tea plantation

计算方法 Calculation method	增施化肥量 Increase in fertilizer application ($\text{kg hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)			能量消耗 Energy consumption ($10^4 \text{kJ hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)		总计耗能量 Total energy consumption ($10^4 \text{kJ hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)
	碳酸氢铵 NH_4HCO_3	尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	过磷酸钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	氮肥	磷肥	
				Nitrogenous fertilizer	Phosphate fertilizer	
按流失低值计	215 88	81 56	383 33	88 18	48 86	137 04
按流失高值计	513 53	194 00	814 00	209 76	103 76	313 52

土壤侵蚀还将影响土地适宜性。为减少土壤侵蚀引起的肥力减退就需增施化肥,结果增加土壤酸性,而适宜茶树良好生长的土壤 pH 值在 4.5~6.5 之间,土壤酸化将不再适宜种植茶树或者影响茶叶的品质,导致更严重的经济损失。

3 结论

人类活动有增加土壤侵蚀的危险,侵蚀会改变土壤理化性质即改变土壤质量,限制农作物生长,并危害人类生存环境。苏南地区土壤侵蚀的危害体现在:(1)流失区土壤厚度减薄,土壤资源退化。(2)细颗粒随水迁移流失使表层沙粒含量增加,改变土壤质地,促使土壤颗粒粗化。(3)营养物质随土壤颗粒迁移流失,肥沃表土丧失,低肥力底土裸露,土壤变贫瘠;流失的营养元素或在坡下部富积,或随径流与颗粒物进入水体,影响水质,造成水体富营养化。(4)粗化的土壤质地及缺乏养分使土壤结构变差,降低其蓄水保肥能力,影响作物有效利用土壤水分及养分,使土地适宜性改变。(5)增加土地利用中的物质与能量消耗。

为提高生产力,人们施肥以弥补养分损失,灌溉以改善土壤供水供肥能力,如此虽可减缓侵蚀引起的土壤质量退化进程,却因增加物质能量投入而提高了农业成本。且人类也难克服侵蚀引起的土壤粗化,因为,被水流冲刷的颗粒一旦离开原地便不易再使之返回,细颗粒不断损失,若粗颗粒风化分解过程又跟不上,留下的土壤将持续粗化,降低土壤质量。尤其若侵蚀速率大于自然成土速率,土壤终将损失殆尽,人类改善土壤肥力以提高土壤生产力的努力也将无果而终。何况补救措施应用不当还会引发诸多不利于环境的后果。因此,只有从防治土壤侵蚀入手,才是阻止土壤退化使土壤资源得以永续利用的最根本办法。

参考文献

- McHenry J R, Ritchie J C. Physical and chemical parameters affecting transport of Cs-137 in acid watersheds. *Water Resour. Res.*, 1977, 13: 923~927
- Ritchie J C, McHenry J R. A comparison of three methods for measuring recent rates of sediment accumulation. *Water Resources Bulletin*, 1985, 21(1): 99~103
- Montgomery J A, Busacia A J, Frazier B E, *et al.* Evaluating soil movement using cesium-137 and revised universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, 61(2): 571~579
- Ritchie J C, McHenry J R. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: A review. *J. Environ. Qual.*, 1990, 19(2): 215~233
- Zhang X B, Higgitt D L, Walling D E. A preliminary assessment of potential for using cesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrol. Sci. J.*, 1990, 35: 243~252
- 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 55, 68, 82, 95.
- 李天杰, 郑应顺, 王云编. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 1983. 21
- 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准. 北京: 中国水利水电出版社, 1977. 9~10
- 史德明. 长江流域水土流失与洪涝灾害关系剖析. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 15(1): 1~7

- 10 郭廷辅. 中国水土保持成就与展望. 水利水电科技进展, 1997, 17(4) : 7~ 10, 32
- 11 史德明. 长江流域水土保持跨世纪持续发展. 水土保持通报, 1996, 16(4): 1~ 6
- 12 Johnson L C. Soil loss tolerance: Fact or myth. J. Soil and Water Cons. , 1987, 42(3): 155~ 60
- 13 Kirkby M J. The problem. In: Kirkby M J, Morgan R P C. ed. Soil Erosion. Chichester: John Wiley and Sons Ltd. , 1987. 7
- 14 万勇善, 史德明, 席承藩. 南方花岗岩侵蚀区土壤退化的研究. 水土保持学报, 1991, 5(3): 80~ 87
- 15 陕西省农业勘察设计院主编. 陕西农业土壤. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982. 71
- 16 中国农业土壤概论 编委会. 中国农业土壤概论. 北京: 农业出版社, 1982. 192
- 17 陈东, 牛志礼主编. 中国经济大全. 北京: 中国人民大学出版社, 1990. 679~ 680
- 18 农业技术经济手册编委会. 农业技术经济手册(修订本). 北京: 农业出版社, 1983. 822, 1 089
- 19 国家统计局工业交通司编. 中国能源统计年鉴 1991~ 1996. 北京: 中国统计出版社, 1998. 17~ 19, 477

SOIL EROSION AND ITS ECOLOGICAL IMPACTS IN YIXING TEA PLANTATION

Zhang Yan¹ Yang Hao¹ Jin Feng¹ Zhang Hong² Peng Bt-zhuo²

(1 Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Summary

Planting tea is a typical way of land use of hillside fields in hilly regions of South Jiangsu Province. But the resultant soil erosion and its ecological impacts there should not be ignored. In order to measure soil erosion, the ¹³⁷Cs tracer method is a useful tool at present. However it is necessary to find out the background value of ¹³⁷Cs in the region and set up an applicable model for this method. After careful study the ¹³⁷Cs background value of the study area is 2 200 Bq m⁻² and a model for estimating erosion of cultivated soil is set up as $h = H_c \cdot (C_{ref} - C_t) / (C_{ref} - C_{in})$. Based on the above work, the soil erosion rates are estimated and both direct and secondary ecological impacts of soil erosion are further discussed. The direct ecological impacts are thinning surface soil layers, deteriorating soil structure and decreasing soil nutrients. The secondary impacts include increase in fertilizer application and energy consumption, eutrophication of waterbodies and change in landuse adaptability. In order to reveal seriousness of the damage of soil erosion to cultivated sloping fields in south Jiangsu Province by comparing with that in the Loess Plateau and red soil regions, an equivalent erosion module is put forward as index.

Key words ¹³⁷Cs background value, Erosion model, Equivalent erosion module, Direct ecological impact, Secondary ecological impact