

# 中国的灰化土\*

赵其国

(中国科学院南京土壤研究所)

## 摘 要

中国灰化土的分布面积较小,仅在大兴安岭北端和青藏高原山地的垂直带中有少量分布。这类土壤是在寒温带气候,针叶林植被及砂性母质条件下形成,其形成过程主要是在有机酸的螯合淋溶与淀积作用下产生的,具体表现为:(1)腐殖酸的螯合与淋淀;(2)二氧化硅的富集;(3)强酸性铁铝的淋淀;(4)粘土矿物的破坏与分异;(5)特殊的土壤微形态特征。按美国 *Keys to soil taxonomy* 标准所进行的初步对比,中国的两类灰化土均不属灰化土纲,而应归为淋溶土土纲,分别为石质冷冻性冷凉淋溶土及舌状冷冻性冷凉淋溶土两个土类,前者位于北纬 $50^{\circ}$ 以北的大兴安岭(过去称灰化暗棕壤),后者位于海拔4000米的青藏高原(过去称淋溶灰化土)。这两类土壤是中国针叶林发育的重要基地,在林业发展与生态环境保护上均具有重要意义。关于中国灰化土的分类,特别是与美国灰化土分类的对比问题,目前国内外均存在分歧,这项研究尚有待深入进行。

中国灰化土的分布面积较少,仅在大兴安岭北端和青藏高原山地的垂直带中有少量分布。过去曾将它命名为漂灰土(Bleached podzolic soil)<sup>[2]</sup>。关于这类土壤的发生特性及分类问题,过去研究甚少<sup>[1]</sup>。本文兹对其形成特点与分类进行初步论述。

## 一、灰化土的形成条件与基本特性

中国灰化土的形成与特殊的自然条件密切相关。大兴安岭北部灰化土的分布地区,位于北纬 $50^{\circ}$ 以北,属寒温带大陆季风气候,平均温度 $-5^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温1500—1700 $^{\circ}\text{C}$ ,一月均温 $-30^{\circ}\text{C}$ ,绝对低温 $-50^{\circ}\text{C}$ ,年雨量400—500毫米。冬季冰冻期长7个月,普遍存在季节性冻层及岛状永冻层。青藏高原的灰化土分布区,位于海拔4000米左右,气候冷湿,有季节性冻层,冻结期为4—5个月。从植被看,大兴安岭北部以兴安落叶松(*Larix clahurica*)及樟子松(*Pinus sylvestris* var. *Mongolica*)为主,青藏高原以冷杉(*Abies fabri*)及云杉(*Picea likangensis*)为主。此外,大兴安岭北部属中山地貌,海拔1000米左右,母岩为花岗岩及冰碛物,质地甚粗,青藏高原平均海拔3500—4000米,母质大多为变质岩类冰碛物。所有这些条件,均与世界其它灰土分布区相当。

灰化土主要是在有机酸的螯合淋溶与淀积作用下形成的。在此作用下,土体矿物遭到破坏并重新分配,而形成 $\text{SiO}_2$ 富集的灰化层及铁铝和腐殖质积累的淀积层。这些特

\* 本文曾于1988年10月在美国召开的灰土国际会议上宣读。

表 1 灰化土壤腐殖质组成及其性质(碳占土重%, 碳占有机碳总量%)

Table 1 Composition and properties of humus in the podzolic soils (% of C in soil. % of C in total organic C)

剖面号 Profile No.	土壤类型 Soil type	植被类型 Vegetation type	采样深度 (cm) Soil depth	发生层次 Soil horizon	土壤有机 质% O. M.	土壤有机碳 总量 Total organic C	腐殖质碳* Humic C	胡敏酸碳 (H)* HA-C	富里酸碳 (F)* FA-C	H/F	胡敏酸光密 度 E.:E. Optical density of HA	残渣碳 Residue C
兴 129	灰化土	落叶松-杜鹃、 杜鹃林	0-3	A <sub>1</sub>	27.02	$\frac{15.67}{100.00}$	$\frac{2.64}{16.85}$	$\frac{1.00}{6.38}$	$\frac{1.64}{10.47}$	0.61	5.2	$\frac{13.03}{83.15}$
			3-14	A <sub>1</sub>	4.76	$\frac{2.76}{100.00}$	$\frac{0.43}{15.58}$	$\frac{0.03}{1.09}$	$\frac{0.40}{14.49}$	0.08	4.9	$\frac{2.33}{84.42}$
			14-30	B	6.26	$\frac{3.63}{100.00}$	$\frac{0.97}{26.72}$	$\frac{0.17}{4.68}$	$\frac{0.80}{22.04}$	0.21	6.3	$\frac{2.66}{73.28}$

\* 用碱性焦磷酸钠溶液提取。

表 2 灰化土的生物地球化学特点\*

Table 2 Biogeochemical characteristics of podzolic soils

剖面号 Profile No.	土壤类型 Soil type	植被类型 Vegeta- tion type	项 目 Item	灰分总量 Total ash content	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
兴 78-07	灰化土	樟子松、落 叶松林	占残落物干物质%	16.61	8.68	0.55	1.31	3.91	1.43	0.06	0.40	0.23	0.04
			占残落物灰分%		52.26	3.31	7.89	23.54	8.61	0.36	2.41	1.38	0.24
			占土壤表层灼烧土重% 生物吸收系数		73.93	3.94	12.99	2.33	0.84	0.72	0.38	2.35	1.94
				0.71	0.84	0.61	10.10	10.25	0.50	6.34	0.59	0.12	
元素生物吸收序列: MgO>CaO>MnO>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >SiO <sub>2</sub> >Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >K <sub>2</sub> O>TiO <sub>2</sub> >Na <sub>2</sub> O													

\* 生物吸收系数=某元素占残落物灰分%/某元素占土壤表层灼烧土重%



性表现在以下几个方面:

1. 腐殖质酸的螯合 灰化土表层普遍覆盖 1—3 厘米的植被残落物,其中有大量真菌菌丝体,在以真菌为主的微生物作用下,进行着特殊的腐殖化过程。此外,从表 1 可见,土壤表层有机质含量高达 27% 以上,且多半为半腐解物质。用碱性焦磷酸钠溶液提取腐殖质时,仅能提取土壤有机碳的 15% 左右,而残渣部分占 80% 以上,在腐殖质组成中,富里酸含量大于胡敏酸, H/F 值为 0.08—0.61。根据胡敏酸光密度  $E_4:E_6$  值(即在 465 及 665m $\mu$  波长上分别测定的消光系数比值)接近 5.0,这表明灰化土腐殖酸结构缩合度低,芳香碳网减少,解离度大,亲水性强,大大增强对铁铝及其它多个离子的螯合与淋淀能力,并导致有机碳的淋移淀积。

2. 生物的分解与积累 从表 2 可见,其中  $SiO_2$  占 8.68%, 占总灰分 50% 以上,所以全年有大量  $SiO_2$  逐渐富集于土壤上部。薄片显微观察发现植物残体的硅化作用,表明生物体对土壤硅的富集过程。在生物吸收序列中,  $Fe_2O_3$  的位置居  $SiO_2$  之前,但在强酸性条件下,铁铝多与有机酸螯合,在剖面中淋溶淀积,而  $SiO_2$  在此环境中呈无定形  $SiO_2$ 、蛋白石或玉髓形式积聚表层,所以  $SiO_2$  的生物富集对灰化土形成有重要影响。

3. 物质的淋溶与淀积 灰化土呈强酸性反应,水提取 pH 值 3.95—4.60。盐提取 pH 值 2.70—3.45, 这种强酸性环境促进矿物质的分解与淋洗。其次,土壤交换性盐基大量淋失,其中  $H^+$ 、 $Al^{+++}$  占据优势,这种现象在灰化淀积层(B层)中表现明显(见表 3)。灰化土颗粒组成分异大,粘粒( $<0.002mm$ )含量在  $A_1$  层较少,而在 B 层中最多,而细粒(0.05—0.01mm)及粉粒(0.01—0.005mm)的分配相反,从全剖面看,质地甚粗,这些都是灰化土颗粒组成的特点(见表 4)。表 5 进一步说明灰化土矿物元素的淋移和淀积情况,按土壤胶体硅铁铝率的分异,  $SiO_2/R_2O_3$  在  $A_1$  及  $A_2$  层为 4.29—4.98, 而 B 层为 2.29。  $SiO_2/Al_2O_3$  分别为 4.72—5.67 及 3.28。  $SiO_2/Fe_2O_3$  率  $A_1$  及  $A_2$  层高达 41.10—46.88, 而 B 层仅 7.42, 这表明灰化淀积层中铁铝的明显淋淀作用。

表 5 灰化土胶体部分硅铁铝率的剖面分异

Table 5 Differentiation of silica-sesquioxide ratio of colloids in the profile of podzolic soils

田间号码 Field No.	土壤类型 Soil type	采样深度(cm) Depth	发生层次 Horizon	$SiO_2/R_2O_3$	$SiO_2/Al_2O_3$	$SiO_2/Fe_2O_3$
兴 129	灰化土	3—7	$A_1$	4.98	5.67	41.10
		7—13	$A_2$	4.29	4.72	46.88
		13—30	B	2.29	3.28	7.42

4. 矿物的破坏与分异 土壤薄片显微观察发现原生矿物如长石、云母等在风化中遭受冻裂、绢云母化、铁质化及水化等,由此导致次生粘土矿物蚀变,形成新的粘土矿物, X 射线鉴定,发现  $A_1$  及  $A_2$  层以蒙脱石与高岭石为主,而 B 层则以水云母、蛭石及绿泥石为主(图 1),这说明灰化土形成过程中,发生了水云母→蛭石→蒙脱石→高岭石的蚀变过程,石英在  $A_1$ 、 $A_2$  层相对聚累, B 层出现铁质凝聚,并形成褐铁矿、球形铁氧化物等新矿

物。

5. 土壤微形态特征的形成 灰化土具有特殊的微形态特征。一般讲来, A<sub>1</sub>层具有植物残体-腐殖质型微结构, A<sub>2</sub>层具有较致密的粉砂质微结构, 含有大量 0.01—0.002mm 的粉砂质, B层具有海绵状微结构, 微团聚体由粘粒及少量腐殖质胶结而成, 并可观察到铁的凝集。

## 二、灰化土的分类及其类型

关于灰化土的分类, 国内外意见并不统一<sup>[3]</sup>。为便于国际交流, 近年来, 我们按美国诊断分类指标, 对中国的几种灰化土进行分析研究, 结果表明, 中国称为灰化暗棕壤 (Podzolic darkbrown soil) 或淋溶灰化土 (Bleached podzolic soil) 的土壤, 按美国系统分类均不宜列入灰土, 而应列入淋溶土纲 (Alfisols), 按土类划分, 中国的灰化土, 共可划分为两个土类, 即石质冷冻性冷凉淋溶土 (Lithic cryoboralf) 及舌状冷冻性冷凉淋溶土 (Glossic cryoboralf)。

1. 石质冷冻性冷凉淋溶土 (Lithic cryoboralf) 按中国过去的分类为灰化暗棕壤 (Podzolic darkbrown soil), 此土类可以上述剖面兴-129 为代表。该剖面位于大兴安岭大白山海拔 1000 米处, 北纬 52°, 地形为中山上坡, 母质为安山岩残积物, 植被为落叶松-杜鹃。

0—3cm, A<sub>0</sub>, 松针等残落物, 湿润而富弹性, 菌丝。

3—7cm, A<sub>1</sub>, 7.5YR6/1, 土体夹干腐解残体, 有大量菌丝体。

7—13cm, A<sub>2</sub>, 5YR8/1, 较紧, 呈细粉砂状质地。

13—30cm, B, 10YR 3/1, 可见褐色胶膜, 夹岩屑。

30cm 以下可见冻层并过渡到砾石的母质层。

按美国 Keys to soil taxonomy 指标<sup>[3]</sup>, 对上述三个层次即 A, A<sub>2</sub>(E), B 层进行了对比分析(见表 6), 从表 6 可见, 除无定形物质累积指数 > 65 符合灰化土指标外, 其余两个指标如 Al<sub>p</sub> + C<sub>p</sub>/粘粒百分数 < 0.2 (仅表层为 0.22, 大于 0.2), (Al + Fe)<sub>p</sub>/(Al + Fe)<sub>d</sub> < 0.5 均与灰化土分类指标不相符合 (灰化土指标前者应为 ≥ 0.2, 后者应为 > 0.5), 为此, 这类土壤只能列入淋溶土纲之中, 根据 B 层粘粒含量达 26.9% 为 Bt 层(见表 4), 土

表 6 灰化土性质表\*

Table 6 Properties of podzolic soils

深度 Depth (cm)	游离态 Fe Fe <sub>d</sub> (%)	游离态 Al Al <sub>d</sub> (%)	络合态 Fe Fe <sub>p</sub> (%)	络合态 Al Al <sub>p</sub> (%)	络合态 C C <sub>p</sub> (%)	粘土 Clay (%)	代换量 CEC (me/ 100g)	$\frac{Al_p + C_p}{粘粒}$ $\frac{Al_p + C_p}{Clay}$	$\frac{(Al + Fe)_p^{**}}{(Al + Fe)_d}$	无定形物质累积指数 Accumulation index of amo- rphous material
0—6(A)	0.22	0.62	0.08	0.11	2.64	12.5	47.07	0.22	0.23	244.9
6—13(A <sub>2</sub> )	0.40	0.36	0.14	0.17	0.47	17.1	22.17	0.04	0.41	95.34
13—28(B)	0.40	0.31	0.08	0.11	0.97	26.9	28.50	0.04	0.26	225.0

\* 南京土壤研究所张连弟分析; \*\* P 表示络合, d 表示游离

层薄(不足 50 厘米)及所处冷冻气候的特点,应归为石质冷冻性冷凉淋溶土。这类土壤为兴安落叶松与樟子松生长基地,活立木蓄积量 100—150 米<sup>3</sup>/公顷,在采、育、用相结合的经营方式下,木材可高产稳产。

2. 舌状冷冻性冷凉淋溶土 (Glossic cryoboralf): 这类土壤按中国过去分类为淋溶灰化土 (Bleached podzolic soil)。代表性剖面位于西藏高原芒康县红拉山顶部,海拔 4000 米,母质为砂岩坡积物,植被为冷杉-苔藓林。

0—6cm, A<sub>0</sub>, 半分解枯枝落叶,少量菌丝。

6—10cm, A<sub>1</sub>, 2.5YR3/2, 粗腐殖质,疏松,有菌丝。

10—25cm, A<sub>2</sub>, 10YR 8/2, 稍紧实,有碎石块及木质根系。

25—52cm, B, 10YR 4/1, 粒状结构,大量石块,松润,往下逐渐向砂岩半风化体过渡。

按分析表明,这类土壤粘粒略有下移,但无粘粒淀积现象,全剖面呈强酸性反应,铁锰有一定淋移淀积, A<sub>2</sub> 层铁锰含量分别为 4.07% 与 0.06%, 而 B 层分别增至 6.45% 及 0.065%, 此外 B 层中粘土矿物以水云母及高岭石为主,并有一定量蛭石与绿泥石,而 A<sub>2</sub> 层仅以水云母及蛭石为主。按 Keys to soil taxonomy 标准,这类土壤有以下特点: (1) 在灰化淀积层下,有较明显的淀积粘化层; (2) 灰化淀积层厚度 > 10cm, 其上部 10cm 土体中有机碳含量 > 1.2%; (3) 灰化淀积层上部 10cm 内有机碳含量 < 6%; (4) 土表至 50cm 范围内无石质结构界面。

鉴于上述标准,按美国系统分类,应划为舌状冷冻性冷凉淋溶土。这类土壤是冷杉林生长基地,由于土壤淋溶作用强烈,为了提高林木生长力,必需施加或调节可给态养分,并注意改善其生长的生态环境。

从上可见,中国的灰化土与北美的灰化土相比,在发生特性上有明显差异,按美国土壤系统分类标准,只宜划归淋溶土,但从自然条件及利用状况看,这类土壤与北美灰化土相比,

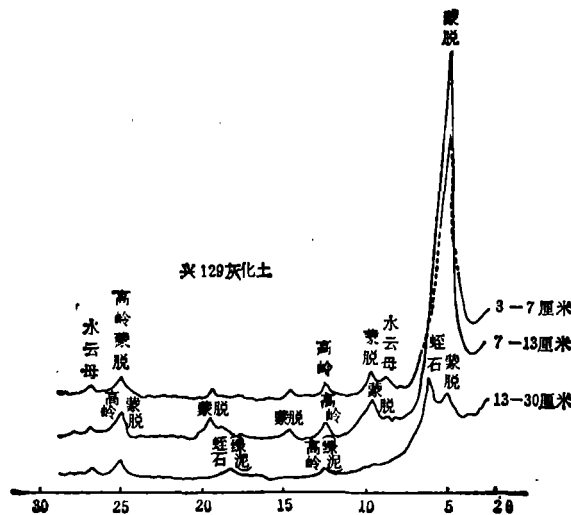


图 1 灰化土粘土矿物 X 射线衍射谱

Fig. 1 X-ray diffraction spectrum of clay minerals of podzolic soils

尚有许多共同之处。考虑到中国灰化土在自然条件与分布上的特殊性,仍将其命名为灰化土。关于这类土壤的分类与命名问题,尚有待今后深入研究解决。

### 参 考 文 献

- [1] 熊国炎、赵其国、王明珠,1979: 大兴安岭北部的灰化土。土壤学报,第16卷2期,110—126页。
- [2] 高以信等,1985: 西藏土壤。科学出版社。
- [3] 赵其国等译,1986: 美国土壤系统分类检索。科学出版社。

## PODZOLIC SOILS IN CHINA

Zhao Qiguo

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

### Summary

With a limited area, podzolic soils in China are only found in the northern part of the Da Hinggan Mts. and in the vertical sequence of mountain lands on the Qinghai-Xizang Plateau. The podzolic soils which are derived from sandy parent materials and formed under coniferous forests in cool temperate climate with a main soil forming process resulted from the chelation, eluviation and illuviation of humic acid are characterized by (1) chelation, eluviation and illuviation of humic acids, (2) enrichment of  $\text{SiO}_2$ , (3) strongly acid reaction and eluviation-illuviation of Fe and Al, (4) breakdown and differentiation of clay minerals, and (5) unique micromorphological features. According to the criteria of the Keys to Soil Taxonomy of U.S.A., the podzolic soils in China are tentatively sorted into Alfisols under which they are subdivided into two great groups, i.e. Lithic cryoboralf and Glassic cryoboralf. The former is spread in the Da Hinggan Mts. north of latitude  $50^\circ\text{N}$  and the latter is distributed mainly on the Xizang Plateau with an altitude of 4000 m. These soil regions are important production bases of coniferous forests of China, and are of great significance for the development of forestry and the protection of ecological environment. There are some divergences of views on the classification of podzolic soils among in China and other countries and much work remains to be done in this respect.