

成都平原水稻土中铁的分异特点*

赵红挺

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文研究了成都平原发育于岷江冲积物、紫色土沉积物和黄壤残积物三种不同母质的六个主要水稻土剖面中各种形态氧化铁含量及其在剖面中的分异特点,探讨了各种形态氧化铁之间的关系及其与环境条件、成土母质的关系。此外,根据全铁含量在剖面中的分异,讨论了发生层的形成。

关键词 氧化铁,形态与转化,分异,发生层

元素在土壤剖面中的分异,是各种物质迁移的结果,并反映出成土过程和成土环境的特点。水稻土干湿交替过程中氧化还原状况的变化所引起的最重要的化学变化之一是铁和锰的形态转化。由于水稻土中铁的含量较高,重要性也较大,因此,长期以来,土壤氧化铁的形态、转化及其特性的研究,一直是土壤发生学和土壤化学的重要研究领域之一^[1]。而成都平原是我国古老农业区之一,也是全国水稻土集中分布地区之一^[2,3,6]。为此,我们研究了成都平原的主要水稻土的铁的形态及其含量和转化,试图探讨铁在土壤剖面中的分异特点。

一、材料与 方法

供试土壤样本采集于成都平原岷江流域,采集地点分布在成都西北(1、2号剖面)和西南(3、4、5、6号剖面)^[4],基本情况见表1。

测定方法:(1)全铁: $\text{HClO}_4\text{-HF-HCl}$ 三酸消煮,比色测定^[5];(2)游离氧化铁:连二亚硫酸钠提取,比色测定;(3)无定形氧化铁:草酸铵缓冲液提取,比色测定;(4)有机质含量: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 氧化法^[6]。游离氧化铁量占全铁量的百分数,称为铁的游离度,而无定形氧化铁占游离氧化铁的百分数称为氧化铁活化度^[7]。

二、结果与 讨论

(一) 氧化铁的形态和含量

岷江流域六个水稻土剖面土壤中各种形态氧化铁含量及其变异情况见表2、3。

* 本文承蒙龚子同和姚贤良两位研究员提供土壤样品;何群老师在工作中给予热情帮助;论文写作中还得到陈家坊研究员的细心指导,在此一并致谢。

表 1 供试土壤的基本情况

Table 1 Information about the soils used

| 剖面号 Profile No. | 土 壤 Soil | 采集地点 Location | 成土母质 Parent material | 剖面深度 Depth (cm) | 发生层 Horizon |
|--------------------|-------------|------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 大头油泥土 | 四川郫县 | 岷江冲积物 ① | 105 | APWW _c C |
| 2 | 二油土 | 四川灌县 | 岷江冲积物 属冲积扇顶部 ① | 100 | APWW _c C |
| 3 | 下湿潮土 | 四川双流 | 岷江冲积物 属冲积扇中下部 ① | 100 | APWW _c C |
| 4 | 槽湿田 | 四川新津 | 岷江冲积物 受古河槽影响 ① | 100 | APWG |
| 5 | 紫泥田 | 四川新津 | 紫色土沉积物 ② | 100 | APWW _c C |
| 6 | 二黄泥 | 四川眉山 | 黄壤残积物 ③ | 100 | APWW _c C |

Note: * A—plowed layer; P—plow pan; W—percologenic and submergenic horizon; W_c—W horizon influenced by C horizon; C—parent material.

** ①—Alluvium from the Minjiang River; ②—Purplish soil deposit; ③—Yellow earth residual deposit.

表 2 成都平原主要水稻土中各种形态氧化铁的含量

(Fe₂O₃/kg)Table 2 The contents of iron oxides of various forms in the main paddy soils of the Chengdu Plain (Fe₂O₃/kg)

| 剖面号 Profile No. | 采样深度 Sampling depth (cm) | 发生层 Horizon | 有机质 (g/kg) O.M. | 全 铁 Total iron | 游离铁 Free iron oxide | 无定形铁 Amor. iron oxide |
|--------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0—12 | A | 27.7 | 59.1 | 12.1 | 4.7 |
| | 12—20 | P | 31.8 | 58.8 | 12.0 | 4.8 |
| | 20—38 | W | 12.3 | 77.1 | 28.9 | 2.8 |
| | 38—78 | W _c | 8.9 | 66.9 | 20.2 | 1.2 |
| | 78—105 | C | 10.1 | 78.5 | 30.0 | 0.8 |
| 2 | 0—16 | A | 27.1 | 51.5 | 9.3 | 2.1 |
| | 16—24 | P | 20.8 | 52.9 | 10.2 | 2.4 |
| | 24—45 | W | 11.1 | 58.1 | 14.2 | 1.0 |
| | 45—57 | W _c | 11.5 | 74.1 | 35.2 | 1.8 |
| | 57—100 | C | 5.4 | 55.0 | 17.4 | 0.5 |
| 3 | 0—15 | A | 28.9 | 53.7 | 10.8 | 5.0 |
| | 15—23 | P | 15.3 | 57.1 | 13.6 | 1.9 |
| | 23—52 | W | 10.1 | 65.8 | 17.6 | 0.7 |
| | 52—72 | W _c | 7.3 | 57.1 | 13.9 | 0.6 |
| | 72—100 | C | 7.4 | 59.2 | 18.5 | 0.9 |

续表 2

| 剖面号 Profile No. | 采样深度 Sampling depth (cm) | 发生层 Horizon | 有机质 (g/kg) O.M. | 全铁 Total iron | 游离铁 Free iron oxide | 无定形铁 Amor. iron oxide |
|-----------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 4 | 0-15 | A | 31.9 | 51.7 | 13.4 | 9.0 |
| | 15-40 | P | 28.7 | 53.7 | 12.6 | 9.9 |
| | 40-60 | W | 30.6 | 59.2 | 15.4 | 12.1 |
| | 60-100 (90cm以下见 地下水) | G | 22.2 | 50.0 | 10.5 | 9.4 |
| 5 | 0-14 | A | 22.8 | 53.5 | 21.7 | 4.9 |
| | 14-22 | P | 17.8 | 54.2 | 22.9 | 3.9 |
| | 22-52 | W | 12.8 | 55.3 | 24.3 | 3.2 |
| | 52-74 | W _c | 10.5 | 55.2 | 24.5 | 3.4 |
| | 74-100 | C | 11.7 | 59.5 | 27.2 | 4.1 |
| 6 | 0-17 | A | 18.5 | 38.5 | 22.3 | 3.3 |
| | 17-25 | P | 14.6 | 40.9 | 24.1 | 2.3 |
| | 25-36 | W | 8.2 | 51.5 | 33.0 | 1.4 |
| | 36-63 | W _c | 7.2 | 43.1 | 26.3 | 1.4 |
| | 63-100 | C | 4.2 | 41.8 | 24.6 | 1.1 |

表 3 成都平原主要水稻土中各种形态氧化铁的平均含量 (Fe₂O₃/g/kg)(以 $M \pm S$, 变异系数 (S/M) 表示)

Table 3 The mean contents of iron oxides of various forms in the main paddy soils of the Chengdu Plain

| 剖面号 Profile No. | 剖面层数 Number of layers | 全铁 Total iron | 游离氧化铁 Free iron oxide | 无定形氧化铁 Amor. iron oxide |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 | 5 | 68.1±9.5 (0.14)* | 20.6±8.7 (0.42) | 2.9±1.9 (0.66) |
| 2 | 5 | 58.3±9.2 (0.16) | 17.3±10.5 (0.61) | 1.6±0.8 (0.50) |
| 3 | 5 | 58.6±4.5 (0.08) | 14.9±3.0 (0.21) | 1.8±1.9 (1.06) |
| 4 | 4 | 53.7±4.0 (0.07) | 13.0±2.0 (0.15) | 10.1±1.4 (0.14) |
| 5 | 5 | 55.5±2.3 (0.04) | 24.1±2.1 (0.09) | 3.9±0.7 (0.18) |
| 6 | 5 | 43.2±5.0 (0.12) | 26.1±4.0 (0.16) | 1.9±0.9 (0.47) |

* 括号内数字为变异系数。

从表 2、3 结果可见,由岷江冲积物发育的四种水稻土中(剖面 1、2、3、4),土壤全铁量在 50.0g/kg 至 78.5g/kg 之间,平均含量为 60.0 ± 8.5 ,变异系数为 0.14。而紫色土沉积物和黄壤残积物发育的水稻土(剖面 5 和 6),其全铁量分别在 53.5g/kg 至 59.5g/kg 和 38.5

g/kg 至 51.5g/kg 之间, 平均含量分别为 55.5 ± 2.3 (变异系数为 0.12) 和 43.2 ± 5.0 (变异系数为 0.12)。按成土母质类型来分, 全铁平均含量则是: 岷江冲积物 > 紫色土沉积物 > 黄壤残积物, 表明成都平原水稻土剖面中全铁平均含量受成土母质的影响。

土壤游离氧化铁的含量则与全铁量相反。岷江冲积物发育的水稻土最低, 紫色土沉积物和黄壤残积物发育的则均较高且相近, 但在剖面各层次间的差异均较全铁量为显著。从表 3 可见, 三种不同母质所发育的各水稻土剖面中全铁含量的变异系数在 0.04 至 0.16 之间, 平均为 0.10 ± 0.04 ($n = 6$)。而各剖面中游离氧化铁含量的变异系数在 0.09 至 0.64 之间, 平均为 0.27 ± 0.20 ($n = 6$), 变异系数为 0.27。表 2 结果计算表明, 岷江冲积物所发

表 4 成都平原主要水稻土中铁的游离度和氧化铁的活化度

Table 4 The degree of freeness of iron oxide and the activation degree of free iron oxide in the paddy soils of the Chengdu Plain

| 剖面号 Profile No. | 发生层 Horizon | 游离度 (%) Degree of freeness | 活化度 (%) Activation degree |
|--------------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | A | 20.47 | 38.84 |
| | P | 20.41 | 40.00 |
| | W | 37.48 | 9.69 |
| | W _c | 30.19 | 5.94 |
| | C | 38.22 | 2.67 |
| 2 | A | 18.02 | 22.58 |
| | P | 19.28 | 23.53 |
| | W | 24.44 | 7.04 |
| | W _c | 47.50 | 5.11 |
| | C | 31.64 | 2.87 |
| 3 | A | 20.11 | 46.30 |
| | P | 23.82 | 13.97 |
| | W | 26.75 | 3.98 |
| | W _c | 24.34 | 4.32 |
| | C | 31.25 | 4.86 |
| 4 | A | 25.92 | 67.16 |
| | P | 23.46 | 78.57 |
| | W | 26.01 | 78.57 |
| | G | 21.00 | 89.52 |
| 5 | A | 40.56 | 22.58 |
| | P | 42.25 | 17.03 |
| | W | 43.94 | 13.17 |
| | W _c | 44.38 | 13.88 |
| | C | 45.71 | 15.07 |
| 6 | A | 57.92 | 14.80 |
| | P | 58.92 | 9.54 |
| | W | 64.08 | 4.24 |
| | W _c | 61.02 | 5.32 |
| | C | 58.85 | 4.47 |

育的水稻土中游离氧化铁含量与全铁量呈极显著线性正相关 ($r = 0.911^{***}$, $n = 19$)。紫色土沉积物和黄壤残积物所发育的水稻土亦为如此, 其相关系数分别为 $r = 0.966^{**}$ ($n=5$) 和 0.998^{**} ($n=5$)。线性回归方程式中的 b 值(斜率)依次为 0.78, 0.85 和 0.83, a 值则依次为 -3.05 , -23.2 , 和 -9.9 。这些结果表明, 在一定的生物气候范围内, 游离铁含量与全铁量之间的关系因母质而异, 仍受母质来源的深刻影响。

水稻土中无定形氧化铁的含量的变幅则更大。表 3 所示的变异系数表明, 不仅反映在不同母质发育的水稻土之间, 同一剖面层次间亦很大。此外, 无定形氧化铁含量与全铁量和游离氧化铁含量之间无相关性, 而在某些剖面内各土层中的无定形氧化铁含量均与土壤有机质含量呈显著正相关, 如 1、3、6 号剖面, 但是土壤范围稍为扩大, 此一相关性则随之消失。表明土壤中无定形氧化铁含量与有机质的关系还受到游离氧化铁含量的影响。

(二) 氧化铁的转化

土壤中游离度和氧化铁的活化度是表征氧化铁转化作用的两个重要参数。另外, 氧化铁的晶胶率(游离氧化铁量一无定形氧化铁量/游离氧化铁量)作为氧化铁转化作用的另一参数, 它在水稻土研究中的应用也正在受到越来越多的重视, 但仍有一定的局限性^[9]。供试水稻土中铁的游离度和氧化铁活化度及其变异情况见表 4、5。

表 5 土壤剖面中铁的游离度与氧化铁活化度的变异 (以 $M \pm S$ 和变异系数 (S/M) 表示)

Table 5 Variation of the degree of freeness of iron oxide and the activation degree of free iron oxide in paddy profile

| 剖面号 Profile No. | 剖面层数 Number of layers | 游离度 (%) Degree of freeness | 活化度 (%) Activation degree |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | 5 | 29.4±8.72 (0.30)* | 19.4±18.43 (0.95) |
| 2 | 5 | 28.2±12.05 (0.43) | 12.2±10.00 (0.82) |
| 3 | 5 | 25.2±4.11 (0.16) | 14.7±18.23 (1.24) |
| 4 | 4 | 24.1±2.38 (0.10) | 78.5±9.42 (0.12) |
| 5 | 5 | 43.4±2.00 (0.05) | 16.4±3.77 (0.23) |
| 6 | 5 | 60.2±2.47 (0.04) | 7.67±4.53 (0.59) |

* 括号内数字为变异系数。

从表 4 可见, 成都平原水稻土中铁的游离度变动在 18% 至 64% 之间, 剖面中各层次的平均值以紫色土沉积物和黄壤残积物发育的水稻土为最高, 而岷江冲积物发育的则较低(表 5), 与长江和钱塘江冲积物、太湖平原湖积物^[10]以及江苏里下河河湖相沉积物^[1]发育

1) 张甘霖, 1990: 水耕条件下土壤发生特性及演变过程的研究。(中国科学院南京土壤研究所硕士毕业论文)。

的水稻土的游离度相近似。这些情况表明成都平原水稻土铁的游离度受成土母质的影响是明显的,而实质上乃是物质来源不同所致。从表 5 可以看出铁的游离度在剖面中各层次间的变异,在 1、2、3 号剖面中有较大的变异,变异系数在 0.16 以上,并均以 A、P 两层低于 W、W₁ 和 C 层(表 4); 4 号剖面以 G 层为最低,剖面中各层之间的变异系数为 0.10; 5 和 6 号剖面则变异不显著,变异系数分别为 0.05 和 0.04 (表 5),但亦有 A、P 两层次较高的趋势(表 4)。结合表 3 所示,各剖面中游离氧化铁的变异系数均较土壤全铁量的变异系数为高,亦同样反映铁在供试水稻土剖面中的分异。

从表 4 可见,成都平原水稻土中氧化铁活化度变动在 2.67% 至 89.52% 之间,比铁的游离度变幅还要大。剖面各层次间的变化,除 4 号剖面可能受地下水影响使其活化度自上而下递增,且数量特别高外,其余剖面仍可发现一定的规律性,即氧化铁活化度以耕层(A)和犁底层(P)为最高,W、W₁ 和 C 层则陡然降低。不同剖面同样发生层间氧化铁活化度的变异很高。例如,同为岷江冲积物发育的水稻土耕作层(A)的土壤氧化铁活化度变化在 22% 至 67% 之间,变异系数达 0.42($n=4$),犁底层(P)的亦高达 0.73($n=4$)。即使排除 4 号剖面,A、P 两土层氧化铁活化度的变异系数亦分别为 0.34 和 0.51 ($n=3$)。这些情况充分表明活化度受环境条件的深刻影响。

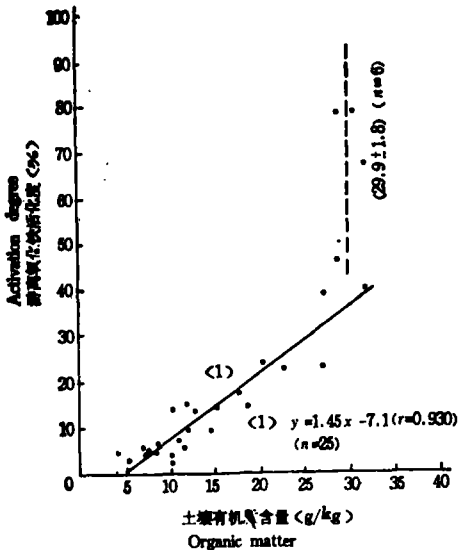


图 1 土壤有机质含量对游离氧化铁活化度的影响

Fig. 1 Effect of organic matter content of paddy soil on the activation degree of iron oxide

图 1 示供试水稻土中有机质含量和氧化铁活化度的关系,表明土壤有机质含量在很大程度上决定了土壤中氧化铁的活化度。这与太湖平原水稻土的完全一致,其回归方程式的 b 值也十分接近^[10]。但从图 1 中还可以看出平行于 Y 轴的黑线两旁 6 个点,其有机质含量平均为 2.99 ± 1.8 , 变异系数为 0.06, 而氧化铁活化度的平均值为 58.3 ± 18.8 , 变异系数高达 0.32。这表明土壤有机质含量超出某一数量时,它对氧化铁活化度的影响也就随之消失,而此时氧化铁活化度可能与其它因素有关,如水分含量,有机质的分解强度等。另外,结合表 2 可见,有机质含量与无定形氧化铁量之间无一定的相关性,而与氧化铁活化度在很大范围内呈显著线性正相关。这表明有机质的活性、结构特性等性质对于游离氧化铁的活化是重要的。

(三) 氧化铁在剖面中的分异

氧化物在剖面中分异并形成特殊的剖面形态是水稻土的重要特征。水稻土的剖面分化,实质上是铁质淋溶淀积所致^[2]。供试六种水稻土中全铁量、游离氧化铁量和无定形氧化铁量在剖面中的分布大体上已可从表 2 看出。现拟从剖面各层次间全铁量的变异情况(表 6)来讨论剖面中铁的分异及其与发生层形成的关系。

从表 6 可见,除紫色土沉积物发育的 5 号剖面外,其余各剖面中土壤的全铁含量垂直

表 6 全铁含量 ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{g/kg}$) 在剖面中的分异(以 $M \pm S$, 变异系数 (S/M) 表示)

Table 6 Differentiation of total iron in the profiles of paddy soils

| 剖面号 Profile No. | 发生层 Horizon | $M \pm S$ | 变异系数 Coefficient of variation |
|--------------------|----------------|----------------|----------------------------------|
| 1 | A P | 59.0 ± 0.2 | < 0.01 |
| | W C | 77.8 ± 1.0 | 0.01 |
| | W_c | 66.9 | |
| 2 | A P W C | 54.4 ± 2.9 | 0.05 |
| | W | 74.1 | |
| 3 | A P W_c C | 56.8 ± 2.3 | 0.04 |
| | W | 65.8 | |
| 4 | A P G | 51.8 ± 1.9 | 0.04 |
| | W | 59.2 | |
| 5 | A P W W_c C | 55.5 ± 2.3 | 0.04 |
| 6 | A P W_c C | 41.1 ± 1.9 | 0.05 |
| | W | 51.5 | |

分异明显,在W或 W_c 层中都有一淀积过程。众所周知,渗育层(W)具有既承接上层土层中渗淋下来的物质,又有物质从本层中被淋溶而下的特点,其成土作用主要是淋溶淀积过程。因此,该层是一个不稳定的层次,深受成土条件的影响。 W_c 层亦具有与W层相似的特点,且还受母质的影响。根据表 6 结果可知,岷江冲积物和黄壤残积物发育的水稻土剖面中W或 W_c 层的形成主要受淋溶淀积过程的控制,因为该层的全铁量明显地高于 A、P 层。而紫色土发育的水稻土其W层的形成机理可能是以原地分异为主,即在土层内部局部处在还原状况,使铁成为低价离子或络离子,经扩散和渗透至孔隙或结构面上被氧化而沉淀,使形态上层次分化显著。

三、结 语

成都平原岷江流域六种主要水稻土中全铁含量受成土母质的影响。在一定的生物气候范围内,游离氧化铁含量与全铁量之间的关系因母质而异,仍受母质来源的深刻影响,在相同母质发育的水稻土中,两者呈显著线性正相关。而无定形氧化铁含量主要受环境条件制约。土壤中铁的游离度主要受成土过程的影响,成土母质也有明显的影响。而游离氧化铁的活化度则在很大程度上与有机质含量有关,但有机质含量超过一定范围时,其它因素的影响为主。铁在剖面中的分异除母质为紫色土沉积物的水稻土主要受原地分异控制外,其余各剖面则以淋溶淀积过程为主。

参 考 文 献

- [1] 于天仁等,1983: 水稻土的物理化学。科学出版社。

- [2] 中国科学院南京土壤研究所, 1987: 中国土壤(第二版)。科学出版社。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析。上海科学技术出版社。
- [4] 沈思渊、徐琪、熊毅, 1986: 太湖流域主要生态区中土壤组合的性态变异规律。土壤学报, 第 23 卷 4 期, 354—367 页。
- [5] 余皓、李庆逵, 1945: 四川之土壤。土壤专报, 第二十四号。
- [6] 张先婉、李道纯, 1979: 成都平原漕田发生类型的研究。四川土壤通讯, 第 2 期, 11—22 页。
- [7] 徐琪等, 1980: 中国太湖地区水稻土。上海科学技术出版社。
- [8] 徐琪, 1989: 水稻土研究的进展。土壤, 第 21 卷 4 期, 192—195 页。
- [9] 熊毅等, 1983: 土壤胶体(第一册)——土壤胶体的物质基础。科学出版社。
- [10] Xu Zu-yi, Chen Jia-fang, 1980: Differentiation of iron oxide in the paddy soil in Taihu Lake regions. Symposium on paddy soil, 471—474, Science Press, Beijing.

DIFFERENTIATION OF IRON OXIDES IN PADDY SOILS OF CHENGDU PLAIN

Zhao Hongting

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210 008*)

Summary

Six paddy soils derived from three different parent materials were sampled from the Chengdu Plain which was one of the most important rice-growing regions in China to study the characteristics of the differentiation of iron oxides in various forms and its relation to the formation of the specific genetic horizon. The results showed that the extent of the variation of iron oxides in various forms in the paddy profiles studied decreased in the following order: amor. iron oxide > free iron oxide > total iron.

It was revealed that the content of total iron was closely related to the parent material from which the paddy soil was derived, and the content of free iron was positively linearly related to the content of total iron in the paddy soil, which suggested that it was also related to the parent materials to some extent, but the content of amor. iron oxide was greatly influenced by the environmental conditions.

As to the degree of freeness of iron oxide and activation degree of free iron oxide which were two important parameters used to describe the alteration of iron oxide, it was shown that both of them varied significantly among different horizons in profile, and the former was remarkably influenced by the soil-forming process while the latter was significantly positively correlated to the content of organic matter of soil within a given range. When the content of organic matter was beyond a definite value, the activation degree of free iron oxide was mainly influenced by other factors, such as the content of water and the decomposition intensity of organic matter.

The differentiation of iron oxide in soil played an important role in the formation of paddy soil. Based on the variation of iron content of different horizons in the soil, we found that the formation of the W horizon which was an important genetic horizon in the profile of paddy soil was due to the eluviation and illuviation of iron for the paddy soil derived from the alluvium from the Minjiang River and yellow earth residual deposit and the local differentiation of iron for the paddy soil derived from purplish soil deposit.

Key words Iron oxide, Form and transformation, Differentiation, Genetic horizon