

华南石灰化水稻土的特性及其形成过程

龔子同 陈志誠

(中国科学院土壤研究所)

我国华南地区的石灰化水稻土是由于长期施用石灰使土壤剖面中具有石灰結核或石灰硬盘的一种低产水稻土,每造水稻产量仅120—200斤/亩。早在1941年,郭魁士^[1]称之为石灰岩水稻土。1958年,王卓仁^[2]在調查桂北土壤时,称此种土壤为石灰性水稻田土壤;经过1958—1959年的土壤普查,获悉广西农民根据它们的发育程度,分别称之为石灰板結田,硬底田和鍋巴田。但从此种土壤的发生特点来看,主要是由于施用石灰而使土壤产生石灰化,因此,本文称此种土壤为石灰化水稻土。

郭魁士^[1]认为石灰化水稻土是先經灰化,而后又起复鈣的水稻土。石华等^[4]认为石灰化水稻土的形成有施石灰,地下水和側流水三个途径。李庆遠^[3]、王卓仁^[2]等曾从石灰化水稻土的形成強調石灰合理施用的重要性。1961—1962年間,我們曾在广东南海、英德和广西临桂进行了土壤調查,曾比較了石灰化水稻土和相应的肥沃水稻土。希望对石灰化水稻土的形成,作进一步的了解,并研究了这种土壤的农业生产性质。

一、石灰化水稻土分布概况和特性

石灰化水稻土多分布于我国南亚热带(包括中亚热带南緣部分地区),主要集中在广东、广西有长期施用石灰习惯的农地。主要分布地区如南海、英德和临桂等地的年平均温度为19.5—22.1℃,年雨量1124—1736毫米,相对湿度75%左右,是一个高温多雨地区。

石灰化水稻土的面积,在广东約有30万亩,广西更多,仅临桂一县就有强度石灰化水稻土五万多亩。因此,华南石灰化水稻土的总面积,估計不下80—100万亩。

石灰化水稻土多分布于泥盆紀一下石炭紀石灰岩溶蝕盆地,石灰化程度較深,其次是珠江流域大小支流的老冲积平原上,也有一定分布。酸性岩的丘陵谷地,虽也有零星分布,但石灰化程度最輕。梯田地表水型的水稻土,淋失較为強烈,不利于石灰积聚,只有在石灰岩区大量施用石灰,才有地表水型石灰化水稻土的形成。丘陵谷地平緩处和广大冲积平原的良水型—地下水型水稻土,淋失强度較小,石灰容易聚积,有利于石灰化水稻土的形成。由于农民施用有机肥料多靠近村庄,所以离村庄越远,有机肥料施用量越少,石灰施用量相对增加,因而造成石灰化水稻土多分布于距离村庄較远的地区。

石灰化水稻土的耕层仅10—15厘米,干时土块巨大,淹水后亦不易散碎。在犁底层中积聚的石灰結核形成石灰板結层(P_{Ca}),有时可成石灰硬盘,此种結核含氧化鈣約14%,含氧化鉄約7—8%(表1),又可称为鉄質石灰結核。結核体很坚硬,难于击碎,与一般干旱区域的石灰結核不同^[5,6]。石灰結核的直径一般为5—10毫米。大者可超过20毫米,小者不及1毫米,形状各异,表面多皺褶。石灰板結层的容重約1.7以上。石灰板結层以下为淀积层,有鉄錳淀积現象,通常具有稜块状結構,結構体表面,有时可見有胶膜。

表 1 石灰化水稻土中石灰盤及石灰結核的化学組成

名 称	采集地点	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	MgO(%)
石灰盤(桂 2 号)	广西临桂	44.58	8.46	11.66	14.90	1.70
石灰結核(粵土 1 号)	广东南海	42.58	7.48	11.05	14.39	1.05

分析者：黄 鈺

石灰化水稻土的机械組成变幅很大,自輕壤至中粘不等,以重壤—輕粘居多。石灰化水稻土耕层結構不良,大土块含量很高,5—10 厘米大土块約 32—49% (表 2),在水稻生长期間亦不易化开,妨碍水稻的正常生长。再因石灰板結层使土壤的滲漏緩慢,通透性恶化,更不利于水稻的生长。

表 2 石灰化水稻土耕层結構状况(按約德尔夫法間測定)

土壤名称	土 号	采集地点	測定时期	土块含量(%)				大团聚体含量(%)				
				10—5 (厘米)	5—3 (厘米)	3—1 (厘米)	1—0.5 (厘米)	5—2 (毫米)	2—1 (毫米)	1—0.5 (毫米)	0.5—0.25 (毫米)	<0.25 (毫米)
輕度石灰化水稻土	粵土 1 号	广东南海	水稻分蘖初期	49.4	15.1	12.1	5.1	0.9	0.2	0.4	0.2	16.7
泥肉田(对照)	广定 1 号	广东南海	水稻分蘖初期	7.3	15.1	9.4	5.5	1.4	0.3	1.1	0.4	69.7
中度石灰化水稻土	英德 2 号	广东英德	水稻分蘖盛期	32.8	14.4	9.3	6.7	1.9	0.5	1.4	0.5	32.8
黄泥肉田(对照)	英德 1 号	广东英德	水稻分蘖盛期	8.7	23.6	15.7	5.3	1.6	0.4	1.3	0.5	43.0

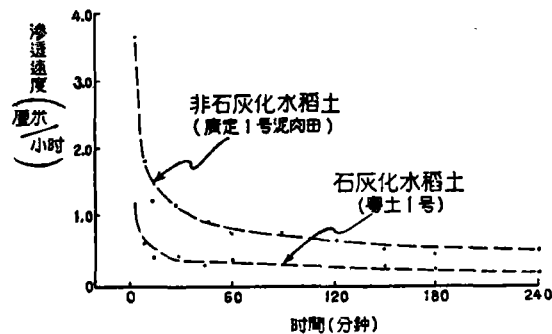


图 1 石灰化水稻土渗透速度曲线(晚稻收获后測定)

石灰化水稻土中的碳酸盐(表 3),不論在土体部分或粘粒部分均以碳酸鈣为主,剖面中碳酸鈣的含量,由上而下漸次减少;碳酸鎂虽有同样趋势,但变化不大。石灰化水稻土中碳酸鈣含量,耕层可高达 10%,底层不到 1%。碳酸盐主要集中在較粗的粒級中,<0.001 毫米粘粒部分的碳酸鈣和碳酸鎂的含量都很低。

由于石灰的积聚,石灰化水稻土的 pH,一般在 7.5 左右,酸性母质上发育的石灰化水稻土,底土的 pH 仍在 5 以下。有机碳的含量,表土約为 1.2—1.7% (表 3),其粘粒部分約为 2% 左右;有机质的碳氮比較同地区其他水稻土为窄,表土的 C/N 为 9.5 左右。磷的含量是随深度增加而降低。鉀的含量約为 1.2—2.0%。

表3 石灰化水稻土的化学性质

土 壤 名 称	土 号	层 次	深 度 (厘米)	pH (H ₂ O)	CaCO ₃ (%)		MgCO ₃ (%)		碳酸盐总量 (%)		有机碳(C) %		全氮(N) %		C/N		全磷 (P ₂ O ₅) %	全钾 (K ₂ O) %	吸收容量 (亚甲基 蓝法) m.e./ 100克土	粘粒含量 (<0.001 毫米) %
					土体	粘粒	土体	粘粒	土体	粘粒	土体	粘粒	土体	粘粒	土体	粘粒				
轻度石灰化 水稻土(石 灰板结田)	粤 土 1 号	A	0—14	7.2	6.65	0.24	0.38	0.14	7.03	0.38	1.74	1.91	0.188	0.279	9.3	6.9	0.080	1.63	8.64	14.1
		P _{Ca}	14—25	7.5	5.95	0.21	0.13	0.13	6.16	0.34	1.14	—	0.096	0.152	11.9	7.1	0.083	1.65	11.44	14.0
		B	25—46	7.0	1.23	0.18	0.23	0.09	1.46	0.27	0.66	1.20	0.084	0.200	7.9	6.0	0.026	1.53	11.67	8.0
		B _G	46—85	5.9	0.43	0.18	0.10	0.02	0.53	0.20	0.93	—	—	—	—	—	0.020	1.23	—	12.0
		G	85—100	4.3	0.87	—	0.36	—	1.23	—	1.02	—	0.112	—	9.1	—	0.048	1.25	—	—
中度石灰化 水稻土(硬 底田)	英 德 2 号	A	0—10	7.7	10.90	0.25	0.59	0.12	11.49	0.37	1.26	2.08	0.133	0.241	9.5	7.5	0.126	1.64	10.09	12.6
		P _{Ca}	10—19	7.6	5.80	0.19	0.23	0.09	6.03	0.28	0.57	1.67	0.063	0.081	9.0	7.0	0.117	1.93	10.24	18.0
		B ₁	19—23	7.6	4.10	—	0.28	—	4.38	—	0.47	—	0.043	—	10.9	—	0.106	1.87	8.67	16.5
		B ₂	23—55	7.4	1.62	0.22	0.13	0.08	1.75	0.30	0.22	0.31	0.033	0.081	6.7	3.9	0.087	2.00	8.81	9.5
		CG	55—100	7.2	0.37	0.15	0.08	0.08	0.45	0.15	0.16	0.16	0.024	0.112	6.7	1.4	0.057	1.47	—	12.0

分析者: 张国栋, 周瑞荣等

在石灰化水稻土上进行耕作,比較困难。水稻返青慢,不发棵,生长弱,产量低。石灰化水稻土中施用有机肥料效果良好(表 4),氮肥的增产作用显著,氮、磷、鉀配合施用效果更好,单施石灰不但不增产,反而可能減产。

表 4 石灰化水稻土对各种肥料的效应

土壤名称	土号	对照产量 (克/盆)	增 产 百 分 数				
			对 照	猪 粪	石 灰	氮	氮磷鉀
輕度石灰化水稻土 (石灰板結田)	粵土 1 号	24.46	100	155	104	176	191
中度石灰化水稻土 (硬底田)	英德 2 号	12.08	100	165	79	186	209

注：盆栽用土 7.5 公斤,产量为水稻谷粒重。肥料用量按每盆計:猪粪 300 克, CaO 10 克,硫酸銨 5 克,过磷酸鈣 5 克,硫酸鉀 2 克。

二、石灰化水稻土的形成过程

碳酸盐在土壤剖面中的积聚和气候条件是有一定关系的。气候愈干旱,碳酸盐的积聚量愈大。随着降雨量的增加,碳酸盐被淋失而少有聚集。华南热带、亚热带地区,高温多雨,有強烈的淋溶作用,石灰大都淋失,即令是石灰岩发育的土壤或石灰性冲积物形成的土壤,石灰也有逐漸被淋失的趋势。再就地形和母质条件来说,不論丘陵谷地或冲积平原,不論是地表水型水田或地下水型水田,不論是由石灰岩或花崗岩、砂岩发育的土壤,都有石灰化水稻土的分布,这说明石灰化水稻土中碳酸盐的积聚不是气候条件引起的,而地形和母质条件只能加速或延緩石灰化水稻土的发育,并非决定性因素。

有人认为,地下水可引起石灰化水稻土的形成。但一般石灰化水稻土 80—100 厘米深处土壤溶液的鈣含量只 0.1 克/升,并且在水稻土的表面經常保持有一定的水层,特别是双季稻区,雨量充沛,灌水时间漫长,水分以向下渗透为主。这样的情况,怎能說地下水上升引起土壤石灰化!当然,含鈣很高的石灰岩岩口縫水是不同的,这种水可以引起碳酸盐在土壤中积聚,但是本文所耕的石灰化水稻土并不是这种情况。

本文所述的石灰化水稻土是由于人类长期施用石灰而形成的。石灰是难溶于水的盐类,土壤中长期施入的大量石灰,并不能随水向下运行,而留存于土壤剖面的上部,并在犁底层中形成石灰結核或硬盘。特别是在有机肥料施入較少的地区,土壤中缺少溶解石灰的酸性物质,同时土壤渗透也較低,不能淋失多余的石灰,更使土壤中的石灰,日积月累地聚积起来。石灰是土壤顆粒的胶結剂,由表 5 可以看出,石灰化水稻土中的細小顆粒因石灰而被团聚的情况是很显著的。但是这种作用要看土壤中有机质含量的多少来决定,土壤中有机质愈少,石灰胶結作用愈大,土壤石灰化的程度愈深。有机质含量丰富的土壤,渗漏良好,石灰大部淋失,不形成石灰板結层,也沒有石灰結核,土壤碳酸鈣和碳酸鎂的比值較小,一般不超过 3—5。輕度石灰化水稻土,有机质含量不高,土壤渗漏較差,碳酸鈣和碳酸鎂的比例增大,但石灰板結层以下各层,碳酸鈣和碳酸鎂的比例仍然很小,石灰結核的含量也不多,即使在石灰板結层中也只有 0.5% 的石灰結核,其中 90% 的結核直径在 5—10 毫米之間(表 6)。中度石灰化水稻土,有机质含量較低,土壤渗漏性能差,碳酸鈣与

表5 石灰对土壤胶结的影响

土壤名称	土 号	处 理	顆 粒 含 量(直径: 毫米, %)					胶 结 系 数* (%)
			0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001	
輕度石灰化水稻土(石灰板結田)	粵土1号	不脱鈣	11.7	30.3	17.0	26.9	14.1	63.0
		脱 鈣	8.6	22.0	11.6	19.7	38.1	
泥 肉 田 (对照)	广定1号	不脱鈣	41.1	16.4	8.3	17.2	17.0	35.6
		脱 鈣	39.8	10.6	10.7	12.5	26.4	

分析者: 施守蓉, 王伏雄

$$* \text{胶 结 系 数} = \frac{\text{脱鈣的 } <0.001 \text{ 毫米顆粒含量}(\%) - \text{不脱鈣的 } <0.001 \text{ 毫米顆粒含量}(\%)}{\text{脱鈣的 } <0.001 \text{ 毫米顆粒含量}(\%)} \times 100$$

碳酸鎂的比例仍較大, 从表层到 50 厘米左右都是如此, 石灰板結层中石灰結核可达 18%, 其中有 30% 的結核直径在 10—20 毫米之間。強度石灰化水稻土中, 有机質含量很低, 滲漏性能很差, 碳酸鈣与碳酸鎂的比例更大, 犁底层中可达 30 以上, 石灰板結层中的結核含量可高达 28%, 其中 60% 的結核直径大于 20 毫米, 形成硬盘, 羣众称之为鍋巴层。

如上所述, 土壤石灰化作用的特征之一为碳酸鈣与碳酸鎂的比例特別大, 超过 20, 石灰結核随石灰化作用的加深而增多, 其体积也愈大, 土壤的板結程度也愈严重。

当然, 施用石灰越多, 越容易形成石灰板結田, 但因环境条件不同, 施用等量的石灰, 不一定都形成石灰板結田。除土壤有机質含量密切影响石灰板結田的形成外, 土壤粘粒

表6 石灰化水稻土發育过程中石灰結核在剖面中的分布

土 壤 名 称	土 层 号 次	深 度 (厘米)	結 核 含 量 (%)	結 核 中 碳 酸 盐 (%)			CaCO ₃ / MgCO ₃	各 級 結 核 占 結 核 总 量 (% , 直 径 : 毫 米)					
				CaCO ₃	MgCO ₃	总 量		>20	20—10	10—5	5—3	3—1	1—0.5
輕度石灰化水稻土	A	0—14	0.13	14.17	0.61	14.78	17.5	0	0	30.6	69.4	0	0
	PCa	14—25	0.51	15.78	1.19	16.97	28.5	0	0	89.5	10.5	0	0
	B	25—46	0.02	10.37	1.41	11.78	5.4	0	0	0	100.0	0	0
	BG	46—85	0.40	1.36	0.80	2.16	4.3	0	0	49.4	39.4	11.2	0
	G	85—100	0.12	2.25	0.17	2.42	2.4	0	0	53.7	40.4	5.9	0
中度石灰化水稻土	A	0—10	4.50	10.46	0.50	10.96	18.5	0	0	71.5	28.2	0.3	0
	PCa	10—19	18.60	12.03	0.54	12.57	25.2	0	35.0	53.3	11.4	0.3	0.1
	B ₁	19—23	4.83	11.31	0.77	12.08	14.6	0	39.8	48.3	11.3	0.4	0.2
	B ₂	23—55	1.28	11.23	0.46	11.69	12.5	0	0	86.2	13.8	0	0
BG	55—100	1.16	6.82	0.41	7.28	4.6	0	0	70.1	29.9	0	0	
強度石灰化水稻土	A	0—11	0.93	10.88	0.11	10.99	12.0	0	0	46.2	18.3	0	0
	PCa	11—22	28.50	7.59	0.27	7.86	33.2	61.5	0	8.9	0.3	0.2	0.1
	B ₁	22—28	2.33	5.51	0.15	5.66	20.3	0	0	34.4	15.1	0.3	0
	B ₂	28—45	0.72	5.48	0.19	5.67	13.5	0	0	31.0	0	3.3	0
	B ₃	45—68	0.97	1.03	0.15	1.18	11.3	0	0	50.4	39.2	0.6	0
BG	68—100	0.91	0.75	0.09	0.86	4.9	0	0	51.7	27.2	0.3	0	

的含量和土壤滲漏性都有关系。广西北部在大量施用石灰的同时,栽种了綠肥,所以少有石灰板結田的形成,土壤生产力也很高。但在沒有种植綠肥习惯的地区,年年以石灰为主要肥料,使土壤逐漸板結,严重影响农业生产。

根据上述三个石灰化水稻土的石灰含量,換算为每亩的斤数(表 7),可以得一个惊人的数字,即石灰板結田的 1 米土层中,每亩含有三万至五万多斤的石灰。土壤中石灰損失的途径主要有三个:(1)植物吸收;(2)滲漏淋失;(3)地表流失。如以水稻每亩年产 300—400 斤計,每年被水稻吸收的石灰約 5—6 斤,根据年滲漏量以及滲漏水与灌溉水中鈣含量的差值来計算,每年滲漏淋失的石灰約 25 斤,由于华南的降雨強度大,約有 1/2—1/3 的降雨自田面淋失,如以年地表流失量等于滲漏量的一倍計算,估計可淋失石灰約 50 斤。如每年每亩施用石灰 200 斤(含碳酸鈣 90%),則除去上述各种損失外,土壤中可殘留 100 斤左右的石灰。按此計算,上述三种水稻土至少有 340、540 和 490 年連續施用石灰的历史。本文所研究的輕度石灰化水稻土(粵土 1 号)位于我国四大古鎮之一——佛山市附近,早在宋代就已有相当发达的农业,或可說明不合理的施用石灰,是很久以前就有的。

表 7 石灰化水稻土 1 米土层內碳酸盐含量(斤/亩)

土壤名称	土号	土体部分			結核部分			总量		
		CaCO ₃	MgCO ₃	碳酸盐	CaCO ₃	MgCO ₃	碳酸盐	CaCO ₃	MgCO ₃	碳酸盐
輕度石灰化水稻土(石灰板結田)	粵土 1 号	33,340	3,650	36,990	222	34	256	33,562	3,684	37,246
中度石灰化水稻土(硬底田)	英德 2 号	47,060	4,107	51,167	7,391	353	7,744	54,451	4,460	58,911
強度石灰化水稻土(鍋巴田)	桂 2 号	42,730	2,574	45,304	6,234	222	6,456	48,964	2,796	51,760

石灰化水稻土的形成,不論在土壤发生和农业实践上,都具有很大意义。除 B. B. 杜庫恰耶夫所提出的五大土壤形成因子之外,人类活动对土壤形成也有不可忽視的作用。人类活动对土壤形成所起作用的大小并不相同,輕的不易察觉,重的可改变成土过程的方向。石灰化水稻土就是在人类生产活动下所产生的一种土壤。在人类长期施用石灰的影响下,酸性的地带性土壤,也可以变成含有大量石灰的石灰化水稻土,并由此而使土壤性质产生一系列的改变。我們认为石灰化水稻土,可作为水稻土中的一个亚类,并可根椐石灰化的程度,再作进一步的划分。

当然,我們不否認在酸性土壤中施用石灰,可以改良土壤性质,可以促进有机物质的分解,繁育微生物,对农业生产是有好处的。但在施用石灰时,必須适当配合施用有机肥料或在輪作中插种綠肥,以免土壤性质恶化,形成石灰板結田。

摘 要

1. 华南的石灰化水稻土是具有石灰結核或石灰硬盘的一种低产水稻土。主要分布在华南有长期施用石灰习惯的农地,每造水稻产量每亩仅 120—200 多斤。

2. 石灰化水稻土中碳酸鈣含量可高达 10% 以上,碳酸盐組成中,以碳酸鈣占绝对优

势,碳酸鈣与碳酸鎂的比例可高达 30 以上。碳酸盐在剖面中的分布,随深度增加而减少,一般以耕层含量最高,而石灰結核則以石灰板結层最多,这和一般干旱区域的鈣成土和亚热带地区的石灰性土壤不同。

3. 石灰化水稻土的形成,主要是由于长期而过量地施用石灰的结果。土中有机质含量少,土壤渗漏差和耕作粗放,更引起石灰的聚积,形成石灰板結田。

4. 根据三个石灰化水稻土中碳酸鈣的含量计算,1 米土层内每亩含石灰約三万至五万多斤,如每年每亩土壤聚集 100 斤石灰,則須連續施用石灰 340—540 年。

5. 石灰化水稻土,可作为华南水稻土的一个亚类划分出来。防止水稻土的石灰化,应注意有机肥料的配合使用,在輪作中插种綠肥也是有效的措施。

参 考 文 献

- [1] 郭魁士:1941。广西石灰岩区土壤的初步观察。土壤季刊 1(4): 32—47。
- [2] 王卓仁:1958。桂北部石灰性水稻田土壤的性状及水稻石灰施用问题的初步探讨。中国土壤学会水稻土学术会议文件。
- [3] 李庆远:1959。晚近我国土壤化学和农业化学的研究。土壤学报 7(1—2): 1—8。
- [4] 石华、侯传庆:1961。广西鍋巴田的形成及其改良。土壤通报第 3 期, 5—10。
- [5] Доровольский, В. В.: 1956 Карбонатые стяжения в почвах и почвообразующих породах цит Райно-Чернозёмной области. Почвоведение 5: 32—42。
- [6] Розанов, А. Н. (文振旺等译): 中亚細亞灰鈣土。科学出版社, 1958 年。

ON THE CHARACTERISTICS AND FORMATION OF CALCIFIED PADDY SOIL IN SOUTH CHINA

T. T. KUNG AND T. C. CHEN

(Institute of Soil Science, Academia Sinica)

(SUMMARY)

The calcified paddy soil induced by long time overliming is a poor agricultural soil in Southern China. Contrary to the usual soil types in this area which use to have a narrow Ca/Mg ratio in their carbonate salts, the calcified paddy soil contains mainly calcium carbonate in its accumulated salts. The accumulation of calcium carbonate increases with the decrease of depth in soil profile. It varies from >10% in surface layers and around 1% in deeper subsoils. A plowpan layer composed by lime concretions and pans usually presents below the surface soil.

Liming is a usual practice in rice plantation in Southern China, but formation of calcified paddy soil confines only in soils of poor permeability with low organic matter content. Application of organic fertilizers and increase of green manures in rotation system seem to be effective practice for the reclamation of calcified paddy soil.

The calcified paddy soil contains calcium carbonate about 33,562 to 54,451 Kin/Mow to a depth of one meter. Under the present agricultural practice, an annual accumulation of 100 Kin CaCO₃/Mow will be expected, and the formation of the calcified paddy soil in this area is estimated having through a period of 340—540 years.