

鋼鐵炉渣的性質及施用于不同土类中 对农作物的作用*

朱 淇 陈恩鳳

(中国科学院林业土壤研究所)

一、前 言

研究和利用鋼鐵炉渣作为肥料,国外在十九世紀下半叶就已开始。由于其所含成分相当复杂,所涉及的范围也較广泛,并因其成分的不同,应用中的效益也就有別。如在德、苏等国,用改良貝斯麦(Bessemer)法及馬丁(Martin)法所得的鋼渣,因其中含磷較多,故主要用作磷肥^[1,6,9]。在日本,因高炉渣含硅酸較多,故主要用做硅肥^[11,13]。由于鋼鐵炉渣含鈣均多,用作鈣肥的也最多^[2,4,5,8]。此外,亦有作其他元素的肥料施用的^[3,10]。

我国在解放以前,由于鋼鐵工业不发达,废渣很少,因此对炉渣的利用几乎没有研究。解放以后,所产炉渣虽随鋼鐵产量的增涨而大增,但由于含磷少,粉碎难,研究和利用的仍然不多。大跃进以后,工农业生产突飞猛进,一方面鋼鐵工业所产各种炉渣除小部分作为工业原料外,大部未加利用;另一方面,在农业生产中由于各种增产措施的加强,肥料尤感缺乏,开辟肥源乃成为当务之急。因此,鋼鐵炉渣如能作为肥料,不但开辟了肥源,而且还解决了废渣利用的問題。为此,于1958年夏开始研究鋼鐵炉渣的性質与肥效,并在各有关单位的协助与协作下,在三年時間内,获得一些初步結果。

二、鋼鐵炉渣的性質

从全国各地采集的炉渣标本共有高炉、平炉、电炉和轉炉渣四种。前一种为炼鉄炉渣,后三种为炼鋼炉渣。由于前者的产量高于后者很多倍,因此分析高炉渣的标本較多。化学成分的測定項目为:CaO、SiO₂、MgO、Al₂O₃、Fe₂O₃、MnO、P₂O₅、S、B、Mo、Zn、Cu与pH等。前六項还测定了2%柠檬酸溶性部分。測定方法除B、Mo、Zn、Cu等用光譜仪外,其他各成分都用一般化学分析法。Zn由于鈣綫干扰,多未能測出。Co因含量极微,未繼續进行。

(一) 物理性質 各种炉渣自然冷却时,都呈坚硬的块状或蜂窝状。炼鋼炉渣一般为黑色或灰黑色,炼鉄炉渣为暗灰或浅灰色。但因冶炼温度、出炉部位等不同,即使同时同地出产的同种炉渣,也具有不同的顏色。在光泽和硬度上也有类似現象:自然冷却的炉渣有时表面及断面均有光泽,有时沒有。有光泽的硬度大,粉碎較难。但在出炉时用冷水

* 参加分析与觀測工作的有张玉英、程飞剑、王素春、党連超、安連貴、陈万发、孟繁榮、王承祖、富聰照、吳維中、楊祖范等。此外,还承姚归耕教授提供宝贵意見,本所有机肥料組和理化分析組协助分析部分試料和辽宁、吉林、黑龙江三省农业試驗机关、农場、公社以及本所各地駐点試驗同志协助或协作进行田間試驗,特此一并志謝。

冲击或导入水池中急冷則呈蜂窝状或小粒状，可免初軋手續。在重量上，一般鋼渣重于鉄渣。經測定各种炉渣粉碎后（均通过 80 号标准篩）的容重（克/厘米³）：鞍鋼平炉渣为 2.17—2.20；撫鋼电炉渣为 1.62，轉炉渣为 1.74；鞍鋼高炉渣块渣为 1.55，水渣为 1.58。

（二）化学性質 如表 1 所示，各种炉渣的化学組成都各具特点。如炼鉄的高炉渣所含 SiO_2 、 Al_2O_3 和 B，一般比炼鋼炉渣高，而 MnO 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 P_2O_5 及 Cu 的含量則相反；同样，炼鋼炉渣的 pH 值亦高于炼鉄炉渣。在同种炉渣中，由于产地和冶炼时所用燃料、原料的性質及温度等的不同，炉渣的組成也就有別。如同为高炉渣块渣，辽宁地区所含 SiO_2 、CaO、Cu、B、Mo 較其他地区多，而 Al_2O_3 則少。即使同一产地，采自不同时期，組成也不一样。如同采自鞍鋼，但時間相差一年（1958—1959 年）或堆放時間不同（新产的和已风化了的），某些成分含量大有差別。但所有这些差异，一般均比异种炉渣之間的差异小得多。因此，总的說来，同种炉渣的組成大体上还是一致的。至于同种炉渣取自不同部位（如在高炉的上部或下部）或冷却条件不同（如自然冷却或急冷），即使同时同地所产的其成分差异則較大。如高炉渣中的块渣和水渣，前者含 Al_2O_3 、 MgO 少，而含 P_2O_5 、 MnO 、Cu、B、Mo、 Fe_2O_3 多，后者則相反。因而在肥力上亦显出較大的差异（見后）。同样，上渣与下渣之間某些成分也有一些差別。

所有各种炉渣中， SiO_2 与 CaO 的含量最高，各占全量的 20—40%，其次是 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 和 MgO ，再次是 MnO 、 P_2O_5 的含量少部分标本在 1.0—1.8%，多数小于千分之四，硫的含量則多在 0.15—0.20% 間。此外，还含有很少量的 B、Zn、Cu、Mo 等。这些成分，除个别元素外，均是植物所必需的养分。并由于炉渣是在冶炼过程中經高温煅烧的产物，其溶解度已大大改变，各种炉渣的主要成分所含易溶量达全量的 1/2—2/3，有的甚至更高。可見这些炉渣所含成分是半速效性的，容易被植物吸收。因此，我国鋼鐵炉渣是一种以鈣硅为主的、含多种养分的、既具速效又有后劲的复合矿質肥料。

三、鋼鐵炉渣施于不同土类中对不同作物的作用

为了探明鋼鐵炉渣的肥效和施用条件，我們在 1958—1960 年的三年中，共进行了 4 次盆鉢試驗（1958—1959 年的夏季和冬季）和两年（1959—1960）的田間試驗。前者先后用 5 种作物和炉渣在 6 种土壤上进行，后者先后用 11 种作物与 3 种炉渣在东北三省不同地区的試驗机关、农場与公社的多种土壤上进行。試驗所用各种炉渣和土壤的基本性質分別列于表 1 及表 2（均未包括 1960 年田間試驗的）。这些試驗所得主要結果簡述于下。

（一）盆鉢試驗 1958 年夏，先用鞍鋼高炉渣进行了肥效試驗。指示作物为大豆、小麦和甜菜。每盆 7 公斤白浆土，施炉渣 50 克。除大豆每盆施 N 0.1 克外，余均施 N、 P_2O_5 、 K_2O 分別为 0.5、1.8 与 0.5 克。大豆和小麦重复 3 次，甜菜 5 次。試驗結果表明（表 3），高炉渣施于白浆土中，对小麦、大豆与甜菜均有良好作用，既显著地促进植株的生长、发育及增加收获物的产量，还提高了产品的品質。在此基础上，又于同年冬增加两种土壤和炉渣在温室繼續对小麦进行試驗。炉渣用量同前，基肥中有机肥料为每盆馬粪 0.5 公斤，N、 P_2O_5 、 K_2O 分別为 1、1.5 和 1 克。各重复四次，結果表明（表 4），除个别处理外，均有明显的肥效。

为了进一步了解炉渣在辽宁省主要土类上对主要作物的肥效，1959 年冬又进行了大

表 1 全國各地鋼鐵爐渣成分含量

炉渣名称	分析个数	产地	SiO ₂ (%)		CaO(%)		MgO(%)		MnO(%)		FeO _s (%)		Al ₂ O ₃ (%)		P ₂ O ₅ (%)	S(ppm)	Cu(ppm)	B(ppm)	Mo(ppm)	pH
			全量	易溶	全量	易溶	全量	易溶	全量	易溶	全量	易溶								
高炉渣块渣*	1	本溪鋼鐵公司	40.9	34.7	43.5	17.2	5.4	2.3	0.67	0.63	1.25	6.3	0.11	0.14	3	45	<1	11.0		
高炉渣块渣*(1958年采)	1	鞍山鋼鐵公司	40.2	25.3	41.5	15.4	4.5	3.3	0.10	0.08	3.10	7.8	0.10	0.21	55	155	65	10.2		
高炉渣块渣*(1959年采)	1	鞍山鋼鐵公司	38.3	26.5	43.5	33.1	5.9	2.4	0.39	0.03	3.95	7.6	4.20	0.19	160	280	700	9.5		
高炉渣块渣(已风化)	1	鞍山鋼鐵公司	39.7	33.9	28.2	16.7	4.6	4.1	1.01	0.86	0.95	7.6	3.50	0.14	53	24	290	8.5		
高炉渣块渣上渣平均	2	上海与阜新钢厂	43.8	41.5	33.9	23.0	3.4	2.0	0.24	0.12	5.20	9.9	0.33	0.15	26	92	11	9.9		
高炉渣块渣下渣平均	2	上海与阜新钢厂	44.9	34.1	34.7	20.4	4.6	2.5	0.68	0.13	5.64	7.4	0.43	0.10	39	55	10	10.0		
高炉渣块渣平均	11	辽宁各地	42.3	33.7	38.3	23.7	4.9	3.4	0.38	0.28	4.03	9.1	4.51	0.29	19	51	204	9.9		
高炉渣块渣平均	14	辽宁以外各省	37.8	23.9	34.4	24.1	4.3	1.4	0.82	0.27	4.06	15.1	10.54	0.20	22	27	105	3	10.2	
高炉渣水渣*(1959年采)	1	鞍山鋼鐵公司	37.8	32.9	37.6	36.6	7.9	4.2	0.34	0.23	1.55	10.7	6.40	0.16	24	19	290	5	8.5	
高炉渣水渣平均	5	辽宁各地	42.0	34.7	35.5	26.3	6.9	4.7	0.23	0.11	1.47	13.8	3.99	0.12	13	10	173	10	9.4	
高炉渣总平均	30	全国各地	40.7	30.8	36.1	24.7	5.4	3.2	0.48	0.22	3.19	12.7	6.34	0.30	18	29	161	58	9.8	
平炉渣(已风化)	1	鞍山鋼鐵公司	18.0	9.4	44.0	25.1	10.9	7.0	0.70		15.40	5.7	1.43							
平炉渣(1959年冬采)	1	鞍山鋼鐵公司	32.1	16.3	29.8	15.0	6.2	3.1	1.25	0.80	21.00	3.3	1.04	0.15	300	50	155	9.5		
平炉前期渣*(1959年春采)	1	鞍山鋼鐵公司	27.4	18.4	24.6	22.8	17.5	5.1	0.67	0.48		1.7	1.77	0.20	300	99	90	11.0		
平炉后期渣*(1959年春采)	1	鞍山鋼鐵公司	28.1	20.4	21.5	19.7	9.3	4.0	0.67	0.53		3.2	4.72	0.14	195	195	55	10.9		
平炉渣平均	9	全国各地	24.5	15.0	29.8	18.9	11.5	4.9	2.33	1.75	23.60	3.4	1.40	1.79	18	140	95	10.6		
轉炉渣平均	3	全国各地	26.9	18.3	45.1	34.8	6.1	4.6	2.38	1.63	6.25	4.1	3.51	1.13	85	59	13	11.8		
电炉渣*	1	撫順鋼鐵公司	33.2	9.6	16.8	13.0	18.6	2.1	0.38	0.34	9.82	4.1	0.26	0.14	100	10	<1	11.1		
电炉渣平均	4	全国各地	27.3	14.6	28.7	19.4	10.3	3.5	2.20	1.70	16.30	3.9	2.28	0.69	15	52	33	11.0		
平、轉、电炉渣平均	16	全国各地	26.2	16.0	34.5	24.4	9.3	4.3	2.30	1.69	15.38	3.8	2.40	1.20	17	92	62	11.1		

* 系盛鉄和1959年田岡試驗所用炉渣。

表 3 在白浆土中鞍钢高炉渣对小麦、大豆与甜菜的生长、产量和品质的影响

处 理	小 麦							大 豆						甜 菜						
	籽实产量		千粒重(克)	有效分蘖数(个/盆)	株高(厘米)	穗长(厘米)	小穗数(个/穗)	氮(籽实, %)	籽实产量		千粒重(克)	荚数(个/盆)	株高(厘米)	总节数(个/株)	油脂%	块根重		叶重		蔗糖(干测)%
	克/盆	增加%							克/盆	增加%						克/盆	增加%	克/盆	增加%	
NPK	9.3	—	24.4	18	56.5	5.8	10.2	2.28	28.9	—	135.0	86	36.5	24.4	17.8	236.1	—	101.9	—	38.8
NPK+鞍钢高炉渣	14.3	43.0	27.6	22	61.4	7.3	11.2	2.40	48.7	48.0	137.8	136	45.0	25.5	18.4	257.8	9.3	119.4	17.2	45.9

表 4 鞍钢高炉渣施于不同土类中及不同炉渣施于白浆土中小麦的籽实产量结果

土 类	处 理	籽 实 产 量		千 粒 重	
		克/盆	增 加 %	克	增 加 %
白 浆 土	NPK	30.8	—	36.6	—
	NPK + 鞍钢高炉渣	38.3	24.4	38.8	6.0
	NPK + 本钢高炉渣	35.6	15.6	40.8	9.8
	NPK + 扶钢电炉渣	38.0	23.4	39.0	6.6
	有机肥料	11.5	—	32.7	—
	有机 + 鞍钢高炉渣	18.6	61.7	35.2	7.7
	有机 + 本钢高炉渣	18.2	58.3	36.0	10.1
	有机 + 扶钢电炉渣	19.0	66.1	35.0	7.0
生草棕壤	NPK	35.5	—	40.6	—
	NPK + 鞍钢高炉渣	38.0	7.0	39.0	2.0
	有机肥料	10.9	—	33.2	—
	有机 + 鞍钢高炉渣	14.7	34.4	33.4	0.6
冲积性草甸土	NPK	31.4	—	37.2	—
	NPK + 鞍钢高炉渣	34.5	9.5	37.8	1.6
	有机肥料	10.4	—	26.6	—
	有机 + 鞍钢高炉渣	10.8	3.8	27.0	1.5

量盆钵试验。炉渣为鞍钢平炉渣、高炉渣块渣和水渣；每盆用量(克数)谷子分别为 50、20；甜菜与棉花为 90、40；大豆与小麦为 80、30，土壤为棕壤型草甸土，生草棕壤，草甸土、冲积性草甸土和褐色土。这些试验表明，高、平炉渣施于这些土类中对这些作物除极个别处理外，余均有增产作用。但各种炉渣对不同作物和土壤有强弱不同的反应。其次，除施于褐色土中的高量有抑制作用外，一般高量均优于低量。可见在其他四种土类中炉渣的施用量还可提高。第三，块渣的肥效一般较水渣为高，这可能与块渣含铝少而磷、锰、铜、钼较多有关。

关于炉渣的肥效与施用量的关系，根据 1959 年夏的试验结果(每盆分别用鞍钢高炉渣 10、20、50 和 100 克施于白浆土中，种植小麦)，表明高炉渣的肥效与施用量呈正相关。如籽实的增产百分比分别为 5.7、16.2、41.0 和 77.1，植株的有效分蘖数、穗长、小穗数及每穗粒数等亦均随施用量而递增。同时，还表明每盆施至 100 克时所有这些指标似乎仍未达到顶峰。为了找出炉渣的用量界限，作为大田施用的参考，冬季又在温室进行了试验。各处理重复 5 次，生长期中每盆追施硫酸铵 1 克，未施基肥。试验结果表明(表 5)，

表 5 高、平炉渣的施用量对小麦生长和产量的影响(生草棕壤)

处 理	籽 实 产 量		千 粒 重 克	株 高 厘米	穗 长 厘米	小 穗 数 个/穗	籽实重/茎 叶重
	克/盆	增加 %					
对 照	9.8		34.0	84.7	4.0	7.6	0.54
高炉渣 20 克/盆	13.8	40.8	31.4	95.2	4.8	9.2	0.66
高炉渣 50 克/盆	21.3	117.3	36.0	101.8	6.2	11.2	0.86
高炉渣 100 克/盆	21.5	119.4	34.0	101.6	6.3	11.4	0.84
高炉渣 200 克/盆	22.0	124.5	32.2	100.0	6.0	11.6	0.84
高炉渣 400 克/盆	9.6	-2.1	31.2	86.6	4.7	8.3	0.63
高炉渣 800 克/盆	0.1	-9.9	16.6	45.2	2.7	4.5	0.03
平炉渣 20 克/盆	11.2	14.3	33.4	89.1	4.3	7.9	0.62
平炉渣 50 克/盆	15.4	57.1	32.4	99.0	4.6	9.1	0.68
平炉渣 100 克/盆	20.3	107.1	37.0	101.1	6.0	11.4	0.88
平炉渣 200 克/盆	23.1	135.7	35.2	101.0	6.8	12.1	0.88
平炉渣 400 克/盆	25.4	159.2	33.6	94.9	6.9	11.9	0.91
平炉渣 800 克/盆	15.8	61.2	32.4	95.8	5.4	10.3	0.85

根据小麦的生长情况和产量结果,高炉渣用量极限为 200 克,而平炉渣则为 400 克,但从增产效益来说,如图 1 所示,高炉渣似可至 20—50 克为止,而平炉渣施用量则可相应提高。

关于炉渣的细度问题,一般总认为愈细愈好。但加工过细,一般生产部门较难做到,且加工费用较大。因此,在容许施用的细度范围内,以加工过程尽量简便、加工成本尽量减省的细度为宜。以此为出发点,我们用纯通过 40、60、80、100、120、160 目的六种不同细度的鞍钢高炉渣施于生草棕壤中对小麦进行了试验。每盆施炉渣 50 克,余同前。不同细度的炉渣亦进行了几种主要速效成分含量的测定。这些结果分别列于表 6 及表 7。

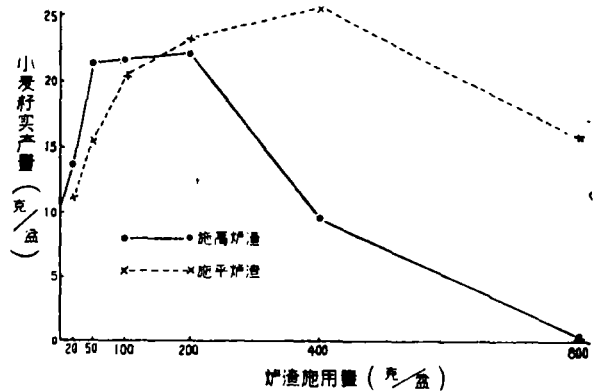


图 1 高、平炉渣不同用量对小麦籽实产量的影响

如表 6 及表 7 所示,从小麦的生长、发育和产量上看,炉渣愈细,生长发育愈好,千粒重愈高,产量也愈大。所测炉渣的速效成分含量、土壤 pH 值与盐基饱和度的提高以及腐殖质分解速度的加快等也与细度呈正相关(所不同的,仅籽实中的氮、磷含量在 40—60 目处理时即开始下降,这可能由于生物总产量递增,速度比氮磷积累较快之故)。但就增长速度来看,炉渣的细度超过 60—80 目时,除个别的外,各指标即停止上升或上升较慢。因此,炉渣的施用细度似可以此为限。并由于供试的各细度是较纯的,即每一筛目中的粉末都不包含高于该筛目的粉末,而一般加工并不如此,即通过某一筛目的粉末中,常有 1/2 以上是高于该筛目的。因此,为了简便加工过程,节省加工费用和减少炉渣粉末产量,炉渣的细度,一般达到 60—80 目就可,但加工过粗,则肥效显著降低。

表 6 不同細度的高炉渣施于生草棕壤中对小麦生长、產量和品質以及对土壤性質的作用

处 理	籽实产量		千粒重 (克)	株高 (厘米)	穗长 (厘米)	小穗数 (个/穗)	籽实重/茎叶重	籽实含氮量 (%)	籽实含磷量 (%)	土 壤 性 質				
	克/盆	增加 %								pH (水浸)	盐基飽和度 (%)	腐殖質 (%)	速效氮 (毫克/100克土)	速效磷 (毫克/100克土)
不施炉渣	8.6	—	29.6	87.2	4.4	7.8	0.54	2.84	1.26	6.8	50.4	4.03	9.2	1.8
施 40 目高炉渣	11.9	38.4	28.4	92.0	4.5	8.3	0.60	3.36	1.29	6.9	52.6	3.73	14.1	1.9
施 60 目高炉渣	13.3	54.7	31.4	95.9	5.5	10.0	0.65	3.22	1.31	7.0	68.9	3.63	12.6	2.2
施 80 目高炉渣	14.8	72.1	31.6	99.0	5.6	10.5	0.68	3.11	1.31	7.1	67.5	3.60	13.4	2.4
施 100 目高炉渣	16.2	88.4	29.6	97.3	6.2	11.1	0.73	3.07	1.27	—	88.2	3.52	11.1	2.6
施 120 目高炉渣	17.7	105.8	32.6	97.6	6.7	11.3	0.80	3.06	1.18	7.2	88.3	3.06	10.4	2.9
施 160 目高炉渣	18.8	113.6	32.0	97.6	6.7	11.6	0.81	3.03	1.17	7.2	89.9	2.83	11.1	2.9

表 7 不同細度的高炉渣易溶成分含量(%)

炉渣細度	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO
40 目	15.4	0.53	3.0	0.22	14.5	3.4
60 目	21.1	0.70	4.8	0.28	15.7	3.6
80 目	22.1	0.70	7.3	0.32	15.7	4.2
100 目	26.6	0.78	7.5	0.34	15.8	4.4
120 目	28.6	0.87	8.5	0.36	16.5	4.8
160 目	30.9	1.28	9.0	0.39	17.1	5.3

为了探明炉渣的后效，我們用 1958 年冬供試的生草棕壤和白浆土于 1959 年夏再种第二槎(大豆)，在冬季再种第三槎(小麦)。每处理重复 5 次，未施基肥。这一試驗在生长期間已明显地看出炉渣的后效，即原施炉渣的大豆的茎高、叶长、叶寬、总节数、根瘤干重、莢数和叶綠素含量及小麦的株高、穗长、小穗数等等均比原不施炉渣的对照大大提高，因而最后增产显著(表 8)。

表 8 高炉渣施于白浆土及生草棕壤中对第二槎大豆和第三槎小麦的產量和品質的肥效

土 类	处 理	大 豆				小 麦		
		籽实产量		千粒重 (克)	油脂 %	籽实产量		千粒重 (克)
		克/盆	增加 %			克/盆	增加 %	
白 浆 土	原不施炉渣	25.5	—	92.5	16.4	6.3	—	25.6
	原施炉渣	36.2	42.0	102.5	19.2	13.0	106	29.4
生草棕壤	原不施炉渣	45.2	—	94.0	15.2	16.3	—	29.8
	原施炉渣	54.0	19.5	98.0	17.5	18.5	13.5	32.0

根据土壤的測定結果，凡原施炉渣的，pH 值和盐基飽和度提高了，腐殖質的分解加速了，土壤中速效氮、磷含量也提高了(表 9)。由此可知，施用炉渣，一方面由于較长时地直接供給作物以必需的养料，另一方面，也由于較长时地改善了作物生长的环境和提高了土壤的现实肥力，因而加速了作物的生长和发育，提高了作物的產量和品質。

表 9 炉渣对白紫土性质的影响

試驗土壤	处 理	盐基饱和 度(%)	pH		速 效 氮 (毫克/100克土)	速 效 磷 (毫克/100克土)	腐 殖 质 (%)
			水 浸	盐 浸			
第一棧試 驗后的土	原不施炉渣	83.9	7.2	5.9	7.48	6.00	无土未测
	原施炉渣	99.3	7.7	6.8	13.6	15.94	无土未测
第二棧試 驗后的土	原不施炉渣	80.9	6.7	6.5	4.31	3.60	无土未测
	原施炉渣	99.6	7.4	7.0	6.80	5.15	无土未测
第三棧試 驗后的土	原不施炉渣	50.2	6.7	6.4	10.4	1.40	4.85
	原施炉渣	81.8	6.8	6.5	13.4	2.60	3.90

(二) 田間試驗 在 1959 和 1960 年进行了田間試驗。1959 年是与东北三省的試驗机关、农場和公社协作进行的。供試炉渣有鞍鋼高炉渣及平炉渣前期渣与后期渣三种，統一由我所供給，一般做基肥施用(以下未注明者即指此)。其施用量原定为每公頃(折合,下同)3,000 公斤(以下未指明者即指此),但各地施用时有改变。并由于各单位条件不同,有的仅做三种炉渣中的一种或两种。試驗結果分述于下。

1. 在沈阳市中朝友誼人民公社和撫順市李石寨上游人民公社灌溉污水的草甸土上对水稻的試驗。上游公社試驗地小区面积 40 平方米,重复 3 次,每公頃施馬粪 25,000 公斤,土粪 80,000 公斤,煤灰 50,000 公斤。化肥处理各施 P_2O_5 、 K_2O 250 公斤,基肥追肥各半。中朝公社地每公頃施杂粪 15,000 公斤,小区面积 100 平方米,无重复。两地試驗結果表明(表10),施用炉渣于稻田中肥效特別显著,甚至比施大量磷、鉀肥优越。除了增加产量外,还提高了籽实的淀粉含量和飽滿度。值得注意的是,凡施炉渣的均提高了茎秆強度和重量。这在高肥密植、特別在灌溉污水而易使水稻貪青倒伏的情况下,更有着现实而重大的意义。

表 10 高、平炉渣施于水田中对水稻產量、品質及茎秆強度的作用*

处 理	籽 实 产 量		千 粒 重 (克)	茎平均強度假 (克/株)	茎平均重 (克/株)	淀 粉 (%)
	公斤/公頃	增加 %				
上 游 人 民 公 社						
对 照	5330	—	18.5	82.4	0.242	70.2
高 炉 渣	6235	16.9	21.6	118.0	0.262	72.3
平炉后期渣	6650	26.6	20.3	105.9	0.270	73.0
高炉渣 + PK	7415	39.1	21.5	95.0	0.272	71.0
PK	6205	16.4	20.5	63.9	0.207	77.0
中 朝 人 民 公 社						
对 照	4750	—	24.0	145.5	0.143	66.9
高 炉 渣	6250	31.6	28.0	156.6	0.152	78.9
平炉前期渣	6600	38.8	26.0	208.0	0.193	77.9
平炉后期渣	6375	34.0	25.0	163.2	0.158	80.4

* 于拔节末期取样,将近根10厘米一段的茎秆进行強度和重量的称测,強度假用悬碼法測定。

2. 在沈阳市郊孤家子試驗农場的冲积性草甸土上对馬鈴薯、倭瓜、向日葵,在吉林榆

树五棵树镇人民公社的黑土上对大豆及在黑龙江桦川国营曙光农场 6 队的白浆土上对小麦的试验。马铃薯地小区面积 48 平方米,重复 3 次;向日葵每小区 5 穴,重复 3 次;倭瓜每处理 10 穴。向日葵和倭瓜每穴施炉渣 50 克。均用混合畜粪做基肥。大豆地每公顷施有机肥料 75,000 公斤,过磷酸钙 2,500 公斤。生长期间每小区追施混合肥(过磷酸钙 1 份,猪粪 50 份) 15 公斤。小区面积 72 平方米,重复 3 次。大豆密度为每公顷 40 万株。小麦地每公顷施 N、P₂O₅、K₂O 分别为 500、500、250 公斤。小区面积 30 平方米,重复 4 次。三地试验结果列于表 11。

表 11 高、平炉渣对马铃薯、倭瓜、向日葵、小麦、大豆产量和品质的肥效

处 理	马 铃 薯		淀 粉 (%)	倭 瓜		向 日 葵		小 麦		大 豆						
	块茎产量			个 数	产 量		籽实产量		油脂	籽实产量		油脂				
	公斤/ 公顷	增加 %	大		小	公斤/ 10穴	增加 %	公斤/ 株		增加 %	(%)		公斤/ 公顷	增加 %	(%)	
对 照	12710	—	67.4	3	3	13.2	—	0.088	—	35.8	1225	—	2.40	3175	—	19.2
高 炉 渣	12400	-2.4	74.4	5	2	16.6	25.4	0.103	17.0	46.2	1380	12.7	4.48	3350	5.0	20.3
平炉前期渣	13445	5.8	70.6	6	7	32.9	149	0.099	10.0	41.8	1303	6.4	2.53	3450	9.3	18.0
平炉后期渣	14250	12.1	73.2	5	3	26.9	104	0.112	28.0	42.9	1307	6.7	2.26	3200	1.5	20.1

这些试验证明,炉渣施于冲积性草甸土中除了马铃薯施用高炉渣无反应外,余均有增产作用。其中以倭瓜最好,向日葵为次,马铃薯较差。马铃薯施高炉渣虽未增产,却大大提高淀粉含量。在小麦和大豆两试验中,施用炉渣产量虽有增加,但均不够显著。这是由于小麦地在抽穗以前适逢干旱,炉渣未发挥应有的作用;而大豆试验是在高肥密植的基础上进行的(注:这是该社的卫星田),增产百分比虽不大,但每公顷增产绝对数还是可观的(如施平炉渣处理,每公顷增产达 275 公斤)。施用炉渣对上述五种作物一般都提高了品质。

3. 在辽宁省辽阳棉麻研究所的草甸土中对棉花的试验。试验地每公顷施土粪 90,000 公斤,生长期间追施过磷酸钙 365 公斤,硫酸铵 85 公斤,棉籽饼 115 公斤。炉渣每公顷沟施 1,000 公斤,密植 130,000 株。小区面积 56 平方米,重复 3 次。试验表明,施用炉渣对棉花的总产量虽增加不显(仅 1.8—2.6%),但霜前花增加 14—15%。这是由于施用炉渣的现蕾早、现蕾百分率高、每株铃数增多和霜前开絮百分率大之故。但在高肥密植、且未进行整枝的情况下,因施炉渣的较对照长得繁茂,致在现蕾盛期通风透光较差,故落蕾较多(每株平均落蕾数较对照高出 0.3—1.2),结果影响了后期产量,拉平了总产量。

4. 在黑龙江鹤岗市国营宝泉农场试验场的冲积性草甸土上和黑龙江呼兰特产研究所与北安良种繁殖场的黑土上分别对大豆、甜菜和马铃薯进行了肥效试验。大豆地沟施高炉渣 300 和 450 公斤/公顷,熏土 170,000 公斤/公顷。小区面积 270 平方米。施炉渣两处理分别比对照增产 4.1 和 8.9%。而株高、根长、叶宽、根瘤数亦较对照有所提高。可见在冲积性草甸土上施小量炉渣亦有肥效。甜菜试验地小区面积 50 平方米,重复 3 次。施高炉渣处理比对照增产 10%。马铃薯地小区面积 16 平方米,重复 3 次。炉渣及其他肥料施于种薯上,复土 8 厘米。由于炉渣施得很浅,又逢干旱,故单施炉渣处理虽有增产,但不显著(施高、平炉渣分别增产 3.7 和 4.8%),而每公顷增施马粪 15,000 公斤的处理,由

于增加了土壤的吸湿性而与植株争夺水分,影响萌芽与初期生长,同时还可能由于以后降雨时,炉渣促进了微生物的大量繁殖而与植株争夺养分,又影响了后期生长,结果反而减产。

上述试验,已明显看出施用炉渣对不同土壤和作物均有大小不等的肥效。由于辽宁炉渣产量最大,运输和加工等条件亦较优,为了有效利用这一肥源,1960年夏又与农业科学院辽宁分院协作委托辽宁省各县市农科所在各该所在地区用钢铁炉渣施于不同土类中对七种主要作物进行了田间试验。试验炉渣以就地取材为主,施用量和方法也未求一致。兹将各地用炉渣做基肥施用的试验结果列于表12。

表12 高、平炉渣作基肥施用的肥效

试验地点和单位	土类	作物	施用量 (公斤/公顷)	产量(公斤/公顷)		
				试验区	对照区	增减%
中国农业科学院辽宁分院	草甸土	水稻	平炉渣 3,000	6,994	6,680	4.7
中国农业科学院辽宁分院	草甸土	水稻	高炉渣 3,000	6,962	6,680	4.2
中国农业科学院辽宁分院	草甸土	水稻	P_2O_5 与 K_2O 矿肥各 250	6,868	6,680	2.8
辽宁省盐碱地利用研究所	盐土	水稻	高炉渣 3,000	5,741	4,660	23.2
抚顺市农业科学研究所	草甸土	水稻	高炉渣 3,000	3,600	3,250	10.8
桓仁县农业科学研究所	草甸土	水稻	高炉渣 3,000	5,305	5,223	1.6
喀左县农业科学研究所	棕壤	玉米	高炉渣 500	6,000	5,500	9.1
清沅县农业科学研究所	砂土	玉米	高炉渣 1,000	3,866	4,266	-9.3
西丰县农业科学研究所		玉米	高炉渣 1,000	3,894	3,589	8.5
鞍山市农业科学研究所	草甸土	玉米	平炉渣 3,000	1,350	1,225	10.2
清原县农业科学研究所	砂土	高粱	高炉渣 2,000	226	228	-0.9
清原县农业科学研究所	砂土	高粱	农肥	222	228	-2.6
锦州市农业科学研究所	草甸土	高粱	平炉渣 3,000	4,123	3,930	4.9
喀左县农业科学研究所	棕壤	高粱	高炉渣 500	5,500	4,900	12.2
黑山县农业科学研究所	草甸土	高粱	高炉渣 3,000	3,360	2,914	15.3
朝阳市农业科学研究所	冲积土	谷子	高炉渣 1,000	3,962	3,876	2.2
喀左县农业科学研究所	棕壤	谷子	高炉渣 1,000	700	660	6.1
清原县农业科学研究所	砂土	谷子	高炉渣 1,000	640	440	45.5
清原县农业科学研究所	砂土	谷子	农肥	560	440	27.3
建平县农业科学研究所	棕壤	谷子	高炉渣 1,000	3,886	3,213	21.0
西丰县农业科学研究所		大豆	高炉渣 3,000	2,796	2,036	27.3
沈阳市农业科学研究所	冲积土	大豆	高炉渣 3,000	2,582	2,306	11.9
北镇农业科学研究所		大豆	高炉渣 1,000	2,500	2,380	5.0
鞍山市农业科学研究所	草甸土	大豆	平炉渣 3,000	1,350	1,225	10.2
辽宁省棉麻研究所	草甸土	棉花	高炉渣 3,000	961	884	8.7

这些试验表明,只要掌握施用条件,炉渣不论施在水田或旱地上,对不同作物均有一定的增产作用,有的甚至比施农肥(如清原农科所的谷子)和矿质磷钾肥(如辽宁分院的水稻)显著。但由于各地所粉碎的炉渣粉末一般过粗,同时有好些地区又逢干旱,有的恰又施在砂性土上。这样,所施炉渣,不但不能发挥肥效,反因其吸湿作用而对发芽和初期生长有影响,结果作用不显甚至导致减产。因此,在旱地上,对炉渣的施用条件,值得特别注意。

表 12 所列的資料, 均是炉渣做基肥施用的試驗結果。其他做种肥、追肥及基肥、种肥、追肥配合施用的, 除在水田中的均为正值外, 在旱地中的, 由于上述原因, 其增产效果比单做基肥施用的較不穩定, 并有相当比重的負值。这些資料較多, 未能一一列出。

四、討 論

1. 炉渣含鉄、鋁过多, 往往会引起不良作用。据日人研究, 炉渣含总鋁量超过 7%, 即影响植物对磷的吸收而使作物减产^[12]。在我們的試驗中, 施用含鋁超过此数的高炉渣和含鉄很高的平炉渣, 并未发现抑制作用; 且两种炉渣的用量分別在全盆土壤的 1/35 和 1/18 以內时 (每盆 7 公斤土中分別施 200 与 400 克), 植物的生长和产量, 反与施用量成正比相关; 同时土壤中的有效磷含量, 不但沒有減低, 反而大大增加。这可能与炉渣是一含有多种元素的复合肥料和其中含鈣、硅各达 20—40% 有关。因鈣能抑制鉄、鋁、錳等过多的毒害作用, 而硅酸胶体可降低土中活性鋁的数量和增进磷酸被植物吸收的強度^[11], 所以仍能获得增产的效果。

2. 我国南方好些省区的农民在水稻田中連年不断地施用石灰, 效果甚为良好。炉渣除含有大量石灰外, 还含硅、鎂、磷、硫及多种微量元素, 其作用可能优于石灰, 关于这个问题, 尚需进一步研究。据日人研究, 炉渣中的硅酸, 有防止水稻倒伏的作用^[11], 并証明如果炉渣与氮肥配合施用, 其肥效較单施更为显著^[13]。我們在灌溉污水的稻田中用炉渣进行的試驗, 也証明了这一事实。显然, 由于炉渣不含氮素, 而污水中含氮較多, 容易引起貪青倒伏, 两者同时施用, 能起到相輔相成相得益彰的作用。当然, 炉渣施在水田中, 除了所含大量的硅、鈣、鎂等所起的作用外, 其他各种微量元素, 亦很可能对植物、土壤和土壤微生物等起着良好的作用。此外, 炉渣在水分充足的条件下得以充分发挥其肥效, 这也是其增产显著而稳定的条件之一。

3. 用水渣加工粉末虽可免去初軋手續, 但进一步粉碎, 并不比块渣容易; 同时水淬时有碍健康, 水源不足的地方水淬还有困难; 特别是炉渣經水冲击后, 必須烘干才能粉碎, 这是一很繁难的工序; 加之水渣用作工业原料还嫌不够, 与做农肥有矛盾。同时, 水渣的肥效也不及块渣。因此, 加工炉渣粉末应以块渣为宜。但日人有用邻近石灰厂視为废品的生石灰粉末与水渣混合借以減低水分含量 (同时也減低鋁的相对含量) 以便于粉碎的方法^[12], 有条件的地方仍可采用。

4. 施用炉渣, 不論在田間試驗或盆鉢試驗中, 对土壤中的速效氮、磷含量均有所提高, 而腐殖质的含量却相应降低。在大豆的試驗中, 炉渣还促进了根瘤的形成, 提高了各組織中蛋白質的含量。据此, 可以推断: 施用炉渣, 由于其所含鈣质和各种元素一方面可作为土壤微生物的养分, 另一方面因改良了土壤的理化性质从而改善了它們的生活环境, 直接間接地促进了微生物的生长、繁殖, 加速了固氮作用和有机质的分解。而有机质的分解, 又会轉而增加炉渣的效益, 所以炉渣又宜与有机肥料配合施用。但为了在苗期不使土壤中分解菌类大量繁殖, 引起与植物爭夺养分, 炉渣与有机肥料最好事先一同堆腐或在离播前較久和秋翻时翻入土中, 这样, 在作物生长期間, 既可不断供給养分, 又可保証有益微生物的轉化与固氮作用。

5. 根据盆鉢和田間的試驗資料証明, 炉渣施在盆鉢中肥效往往比田間显著。这主要

是在盆鉢中的炉渣既与土壤充分拌勻，又保证了适度的通气和湿度，使炉渣的肥效得到充分的发挥。但在田间则不同，它更取决于施用条件的掌握，即更需要施用者根据炉渣的理化性质对不同作物、土壤和耕作气候条件等拟订炉渣的施用量和方法，不能千篇一律。就作物来说，由于不同作物对炉渣所含成分需要不同，反应因而不一。如馬鈴薯嫌鈣，大豆喜鈣，而水稻施硅是有益的。此时前者宜少施或不施，后两者则可多施。上述試驗中水稻和大豆效果均较好，而馬鈴薯最差，其原因很可能与此有关。其次，就土壤来说，不同土壤对炉渣反应也不一样。一般在粘性、酸性和低湿或有灌溉条件的土壤上反应良好；而砂性、碱性和非灌溉的旱地上反应较差。在这些具体情况下，施用者必须特别根据当时当地的气候和耕作条件对不同作物灵活地应用炉渣的不同施用量和方法。譬如在干旱条件下，炉渣应首先用于水田、低洼地或有灌溉条件的地里去，以充分发挥其当年的作用。如果施于旱地，就应考虑到施用方法和深度，这时，应尽可能将炉渣在翻地时最好在秋翻时翻入，切勿大量用作种肥，以免其吸湿作用影响发芽和初期生长，并减低当年的肥效。前面所总结的资料，有的增产作用较稳定而显著，有的相反。可能前者符合于炉渣的施用条件，显出了当年的效益；后者可能由于施用条件不当，而未发挥炉渣应有的作用。

五、結 語

1. 根据全国各地鋼鉄炉渣的組成成分和构溶性部分的分析结果可以认为，鋼鉄炉渣是一种以鈣、硅为主的、含多种养分的、既具速效又有后劲的复合矿质肥料。

2. 盆鉢和田間試驗証明，鋼鉄炉渣在多种土壤中对多种作物均有增产作用，其幅度因土因作物而不同。施用方法和气候耕作条件，也影响其肥效，如在水田中施用，一般增产较显著而稳定，平均在 10% 以上；旱地则一般宜做基肥，平均增产 5% 以上，但较不稳定。此外，还具有多年的后效。

3. 施用炉渣，可增加籽实的千粒重，提高大豆和向日葵的油脂、水稻和馬鈴薯的淀粉、甜菜的糖分和小麦的蛋白质含量以及棉花的霜前花产量，因此，炉渣不但增加收获物的产量，还提高收获物的品质。

4. 炉渣施于水田中，可使水稻的茎秆粗壮，强度增加，这在高肥密植和灌溉污水的条件下，有着现实而重大的意义。

5. 試驗証明，水渣性质变差，其肥效也较块渣为低；同时水渣的加工也不比块渣容易，且有許多缺点。因此，加工炉渣粉末，应以块渣为宜。加工的細度，以通过 60—80 目标准篩较为适合。

参 考 文 献

- [1] Гуревич, С. М.: 1955. Эффективность использования маргеновских фосфатшлаков в качестве удобрения. *Земледелие*, 9, 78—80.
- [2] Carter, O. R., Collier, B. L. and Davis, F. L.: 1951. Blast furnace slags as agriculture liming materials, *Agron. J.*, 43, 430—433.
- [3] Chichilo, P. P. and Whittaker, Colin W.: 1953. Trace elements in agriculture slags. *Agron. J.*, 45, 1—5.
- [4] Crane, F. H.: 1930. A comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on an acid soil. *J. Amer. Soc. Agron.*, 22, 968—973.
- [5] Doscher, G. H.: 1955. Water granulated blast furnace slag and its effect on soil fertility. *Rock pro-*

- ducts, **58**, No. 5, 86—122.
- [6] Gericke, S.: 1954. Thomas phosphate in German agriculture. *Phosphorsäure*, **14**, 15—35.
- [7] Gile, P. L. and Smith, J. G.: 1925. Colloidal silica and the efficiency of Phosphate. *J. Agric. Res.*, **31**, 247—260.
- [8] Jones, U. S. and Edwards, W. D.: 1954. Limestone, dolomite and calcium silicate slag for white clover pastures on red and yellow soils. *Soil. Sci. Society of Amer. Proc.*, **18**, 412—417.
- [9] Malherbe, I. dev.: 1954. The choice between basic slag and superphosphate. *Citrus Grower*, 240, 9.
- [10] Riehm, H., Schultze-Grobleben, W. and Baron, H.: 1954. The micronutrients boron, copper and cobalt in thomas phosphate and their significance for the prevention of deficiency diseases. *Phosphorsäure*, **14**, 55—68.
- [11] 小幡宗平: 1959. 珪酸石灰の肥効について, 日本土壤肥料学杂志, **30**, No. 1, 34—42.
- [12] 日本化学特許総覧, 1956, 16卷, 上册, 特許第 203624 号。
- [13] 奥田东: 肥料学概論. 养賢堂, 310—315, 1957 年。

СВОЙСТВА ШЛАКОВ СТАЛЕВАРЕНИЯ И ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ И ИХ ДЕЙСТВИЕ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВАХ

Чжу Ци Чэнь Энь-фэн
(Институт леса и почвы АН КНР)

(Резюме)

1. Данные анализа по составу шлаков показывают, что шлаки сталеварения и доменных печей относятся к сложным удобрениям, содержащим большое количество Са, Si и многие другие питательные элементы. В них легкорастворимые в 2% лимонной кислоте и легкодоступные растениями вещества составляют 30—60%. Они пригодны применяться для различных почв и многообразных культур, следовательно, и имеют большое значение в повышении урожайности культур.

2. Результаты вегетационных и полевых опытов доказывают, что шлаки на многих почвах оказывают положительное действие на сельскохозяйственные культуры. Объем прироста их зависит от почвы и культуры, например, для рисовых полей они повышают урожайность в общем на 10%, а на неорошаемых почвах (в качестве основных удобрений)—на 5%.

3. Применение шлаков повышает также и качество культур: Содержание масла в сое и подсолнечнике, белка в пшенице, сахара в свекле и крахмала в картофеле и рисе.

4. При применении шлаков насыщенность почв основаниями, значение РН и содержание подвижных азота и фосфора резко повышаются, наряду с этим усиливается также и разложение гумуса в почвах. Поэтому шлаки можно использовать для улучшения физических и химических свойств почв.

5. На опытных почвах, Байцзянских и дерново-буроземных, в которые раньше были внесены шлаки, последовательные культуры соя и пшеница растут выше и пышнее, чем на опытных почвах без применения шлаков в прежнее время, причем урожайность сои и пшеницы значительно повышается. Отсюда видно, что шлаки оказывают ясное положительное последствие.

6. Внесение шлаков в рисовые поля, орошаемые сточной водой, повышает интенсивность стебля риса на 43.2%, средний вес стеблей высотой 0—10 см на 13%. Следовательно, применение шлаков усиливает и устойчивость полегания риса.