

土壤有机质研究

科学出版社

土壤有机质研究

夏荣基 王福钧 段孟联 韩纯如 译
刘念祖 朱寿珩 周长久
夏荣基 校

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书是 1976 年由国际原子能机构和联合国粮农组织联合在西德召开的土壤腐殖质国际会议论文集的选译本, 主要内容包括有机物质和土壤生产力, 植物残余物的转化, 有机化合物的矿质化, 有机氮的动力学, 氮素经济, 有机质的生物化学转化, 腐殖酸类的特性, 碳标记, 现代技术和它们在土壤有机质研究中的作用, 垃圾利用, 土壤有机质组分和植物代谢, 泥炭等, 基本上反映了当前国际上土壤腐殖质研究工作的现状和水平, 以及新技术在研究中的应用。可供土壤学、环境保护和农业的研究人员以及高等院校有关专业教师科研和教学参考之用。

SOIL ORGANIC MATTER STUDIES

Proceedings of a Symposium on Soil

Organic Matter Studies

International Atomic Energy Agency, Vienna, 1977

土 壤 有 机 质 研 究

夏荣基 王福钧 段孟联 韩纯如 译
刘念祖 朱寿珩 周长久

夏荣基 校

责任编辑 洪决文

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1982 年 8 月第一次印刷 印张: 15

印数: 0001—4,100 字数: 347,000

统一书号: 13031·1966

本社书号: 2672·13—12

定价: 2.35 元

译 者 的 话

本书选译自一次土壤有机质研究的国际会议的论文集。这次会议是由国际原子能机构与联合国粮农组织于 1976 年 9 月 6 日至 10 日在德意志联邦共和国不伦瑞克联合召开的,共有三十多个国家一百多位专家参加了会议。会议共分 9 组 15 个分组进行。各组及分组的专题分别为:有机质和土壤生产力,植物残余物的转化,有机化合物的矿质化,有机态氮的动力学,氮素经济,有机物质的生物降解,有机物质的生物化学转化,土壤有机物质中的沥青类,腐殖酸类的特性,碳标记,现代技术和它们在土壤有机质研究中的作用,垃圾、土壤有机质组分和植物代谢,农业化学药物和有机物质的相互作用,泥炭等,共有论文 77 篇。本书选译了 35 篇,以提供国内研究土壤肥力和土壤腐殖质、环境保护等方面的同志参考,以及农业院校师生教学参考之用。

土壤腐殖质长期以来便被看作是土壤肥力的标志性物质,但是由于它在形成上条件多变,结构上是一类很复杂的高分子聚合物,不少问题许久未曾弄清。近年来由于光谱、色谱、质谱、同位素以至核磁共振技术等的应用,腐殖质合成的模拟研究的发展,以及田间试验设计及方法日益完善等,使有机质转化、腐殖酸的化学结构和特性、腐殖质与养分状况的关系等方面的某些问题,得到初步的阐明。

但是,有机物质和土壤肥力的关系,是错综复杂的,腐殖质本身又有质与量的问题,有静态与动态的问题,有土壤中生物物质循环和能量循环问题等等,无论在理论上或实践上,都有大量问题尚待研究解决。这次会议以有机物质和土壤生产力作为第 1、2 两个组的专题,有重视这个问题之意,而内容尚欠丰富。相信在生产日益发展的推动下,在科学技术不断革新的促进下,土壤腐殖质和其他有机物质的研究,必将得到更快的发展。

由于译者水平所限,错误之处在所难免,请读者批评指正。

夏荣基

目 录

译者的话	iii
施用有机肥对(比利时壤土地区)机械化农场的作物生产和土壤性质的重要性	1
腐殖质,它的形成,它和土壤矿物质部分的关系,以及它对土壤生产力的重要性	9
土壤有机质是植物的养料	16
有机质对土壤阳离子交换量的贡献	22
应用有机物质作为斯里兰卡低地水稻的肥料	26
植物生长中根的形成和分解	32
在田间状况下,微生物生命体、植物残体和土壤腐殖质组分的转化	37
德意志联邦共和国及哥斯达黎加不同土壤中 ^{14}C 标记植物残体的田间分解	43
植物物质的腐殖化,胡敏酸萃出物的性质	51
生长中的小麦根释放到土壤中的 ^{14}C 标记有机物质的化学性质	58
土壤有机质中氮和硫的矿化作用;牧场和耕种土壤的比较	63
土壤氮素循环中有机态氮的动态	68
应用 ^{15}N 研究提高土壤生产力的田间试验	74
肥料氮素在生草灰化土有机物质中的转化	85
长期施用肥料对生草灰化土带土壤有机质的作用	89
缓效氮肥对水稻生长和产量的影响	95
提高氮肥肥效的可能性	100
影响土中代谢物质生物稳定性的因素	108
氮素在邻苯二酚-腐殖酸形成上的作用和这种酸的氮键合的特征	117
天然木质素与邻苯三酚(1,2,3 三羟苯)类腐殖质自氧化产物相互作用的化学转化	123
受粘土矿物影响的一些酚类物质的氧化作用	134
最近对极为不同的气候区域的土壤所提取腐殖物质特性的发现	138
腐殖物质的团聚-分散现象	150
土壤中胡敏酸和富啡酸的化学结构	159
计算机技术在腐殖质研究中的应用	167
在新近的土壤有机质中生物惰性炭和石质炭的探索	171
在应用 ^{15}N 的研究中质谱及光谱分析的优缺点	177
用热解质谱分析法对土壤腐殖质化合物、真菌黑素和模拟聚合物的研究	182
腐殖物质在可控多孔玻璃上的色谱	187
有机质在硫和氮从土壤挥发中的作用	193
应用高压液相色谱法研究可萃出的土壤有机质	202
农业中应用市政垃圾堆肥时土壤和植物中多环芳烃含量的变化	209
有机质和盐类对某些土壤酶活性的影响	214
形成泥炭的植物及泥炭中氨基酸的组成和含量	219
泥炭土中与腐殖物质各组分结合的有机氮素的含量	230

施用有机肥对(比利时壤土地区)机械化 农场的作物生产和土壤性质的重要性

[比] L. DE LEENHEER

引言;两个农场的选择;试验地的设置

本项研究是在两个机械化农场,每个农场各在一个地块(每块约10公顷以上)上进行的,本文只是研究结果的一小部分。研究开始时,一个农场的土壤结构极好,另一个农场的结构则已被压实。最初的工作开始于1961年;长期田间研究(延续12年)开始于1963年,而于1974年结束。试验的最初目的,是研究气候、地形(及土壤剖面构造)和土壤管理(机械化农场所采用的)对土壤结构、土壤水分收支、植物生长(包括营养元素的吸收)和作物产量的影响。在最后五年中,研究内容还包括微生物学测定。

两个农场都座落在比利时地形微有起伏的壤土地区。农场的地块都有足够的长度,可将具有三个土相的典型地形系列包括进去,这三个土相是:侵蚀高地(P),缓坡地(H)和处在干燥低地的崩积粉砂土(D)(其下垫岩石是石灰岩,故为干谷)。每一地块的宽度,足以使轮作中包括的三种作物每年都同时存在,这三种作物是:糖用甜菜,冬小麦和冬大麦(每种作物各占地块的三分之一宽度)。在轮作和土相的基础上再设置八个处理,即:(1)对照;(2)对照加糖石灰(甜菜糖厂的 CaCO_3 滤泥);(3)绿肥(大麦收获后播种的多花黑麦草);(4)绿肥(同3)加糖石灰;(5)绿肥(同3)加厩肥(20,000到25,000公斤/公顷);(6)绿肥加厩肥(同5)加糖石灰;(7)绿肥(同3)加作物残茬(小麦和大麦秸秆及甜菜茎叶);(8)绿肥加作物残茬(同7)加糖石灰。

试验使用的全部农业机械(从耕地到收获),其有效工作幅宽3.6米;由于八个处理每区宽7.2米(长为地块全长),各处理的轮迹(压实土壤的主要因素)数目是相等的。3.6米这个宽度,是两种播种行距(禾谷类为15厘米,甜菜为45厘米)的倍数。

1961年两个农场中的一个农场(L)的作物平均产量,比另一个农场(H)低25%,某些作物(如冬小麦)已经几乎不可能在那里顺利地种植。从试验一开始就对各种不同的因子进行了研究,借以查明导致土壤肥力表现差异的原因,是由于土壤性质的显著差异,还是由于与机械化有关的因子所造成。

地形系列三个土相的剖面,在两个农场上是相同的,可描述如下:

P(高地土壤):一个厚度不到40厘米的粉砂层,下面是重(粘)粉砂质地的B层;

H(坡地土壤):坡地下部有一个40—80厘米厚的崩积粉砂层,下面是重粉砂质地的B层;

D(低地土壤):根分布层厚125厘米以上,完全由崩积粉砂组成。

两个农场的耕作层土壤质地也几乎相同:典型的粉砂土,约80%的颗粒大小在2—50微米。仅粘粒含量随地形系列而有所变化(平均高地为17%,坡地为13%,低地为

11.5%)。两个农场间粘粒含量的差异可忽略不计,而以高地粘粒含量的差异最大: H农场为 18%, L 农场为 16.5%。因此, L 农场作物产量较低(1961 年比 H 农场低 25%), 不能用土壤剖面构造或土壤质地的差异来解释。它也不可能是 CaCO_3 或有机质含量较低的结果, 因为 L 农场土壤中这两种成分的含量都比 H 农场的含量高 [CaCO_3 : H 农场为 1.15%; L 农场为 2.42%, 而有机质 (OM): H 农场为 1.8%; L 农场为 2.0%]。L 农场作物产量较低也不可能是地下水位深度不同造成的, 两个农场的地下水位都在地下 10 米左右或更深的地方。

唯一的解释看来是耕作层底部的土壤紧实度不同(已用穿透计在田间测定了阻力)。L 农场紧实的犁底层导致了透水不良及相应的后果(例如过湿耕地, 发芽不良等)。为消除紧实的犁底层, 曾将耕深(1961 和 1962 年约 22—25 厘米)逐年加深(每年加深 2—3 厘米); 1967 年耕地后, 四个地块(在三种作物的整个宽度内)的耕作层厚度达到了 32—35 厘米。

土壤管理对土壤碳酸盐及腐殖质含量的变化(经过 12 年) 和对土壤紧实度的影响

施用糖石灰的影响

每第二期轮作曾施用湿的糖石灰(含水 $\pm 45-50\%$)50 吨左右。这大致相当于 22,000 公斤 CaCO_3 , 1600 公斤 MgCO_3 , 330 公斤 K_2O , 330 公斤 P_2O_5 , 800 公斤“粗”蛋白(=100 公斤 N)和 330 公斤残留的糖分。

施用糖石灰的影响可归纳如下:

(a) 在施用(a)和不施用(s)糖石灰的小区间, CaCO_3 含量的差异始终极显著(机率平准 $P < 0.01$);

(b) 糖石灰中含有相当多的“粗”蛋白($\pm 2.5\%$)和残留糖分($\pm 1\%$)。这些组分能影响微生物活性, 从而影响 CO_2 的产量。后者在糖石灰施用后短期内即导致 CaCO_3 含量损失率的相对提高。在施用后的第三、四、五年, CaCO_3 含量的下降率随着微生物活性的降低而接近稳定不变。

(c) 微生物活性影响施入有机肥的腐殖质化(见 2.2 节)。

有机肥(符号 T $\acute{e}$, EV, Fu, RR)的影响

有机物(OM)的输入量在四个处理中是很不同的。每个三年轮作中输入量(按干物质计算)是: T $\acute{e}$ (对照)区 11,000 公斤/公顷; EV(绿肥)区 14,000 公斤/公顷; Fu(绿肥加厩肥)区 18,500 公斤/公顷; RR(绿肥加麦秸加甜菜茎叶)区 28,500 公斤/公顷。

施用有机肥的影响可归纳如下:

(a) 图 1 说明: (1) 同一年内有有机质含量在三月份的测定结果不同于同年收获时的测定结果; (2) 有机质含量逐年有变化; (3) 施有机物的所有处理中, 有机质水平逐年变化的情形相似(平行变异)。

(b) 图 2 表明: 施用糖石灰使 T $\acute{e}$ 、EV 和 RR 等处理的土壤有机质含量增加, 但 Fu 处理不增加。这意味着有机物的腐殖质化在 T $\acute{e}$ 、EV 和 RR 等处理中得到改善, 但在 Fu

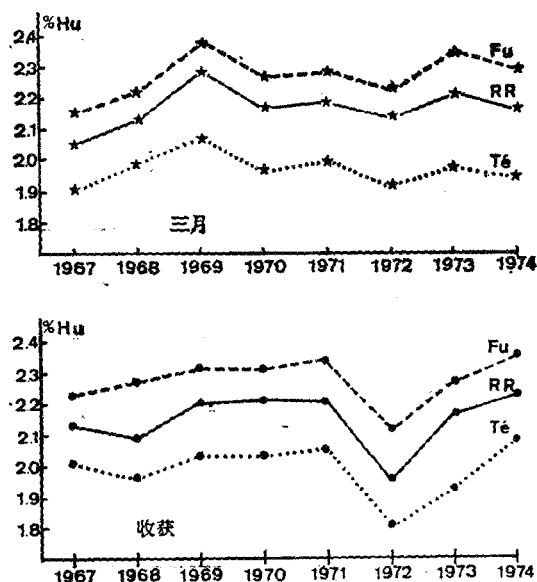


图 1 有机质含量(% hu)的变化(1967—1974)与施用有机肥的关系
Fu=厩肥, RR=作物残茬, T6=对照。在三月或收获时分别取样

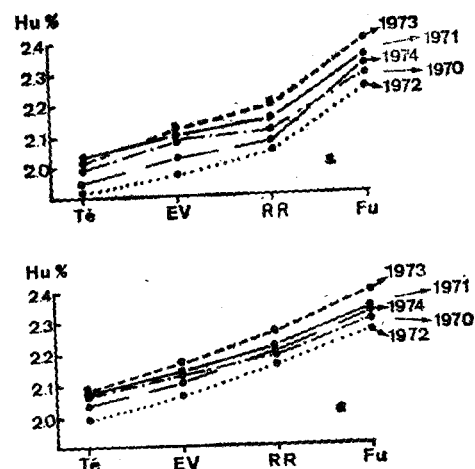


图 2 糖石灰(a=施用, s=不施用)对土壤有机质含量(% hu)变化的影响及其与施用有机肥的关系
T6=对照, EV=绿肥, Fu=厩肥, RR=作物残茬

则否;可见,即使不施用糖石灰,厩肥也可以看作是一种最好的处理。

(c) 有机物处理对土壤有机质含量的影响是有规律的而且是十分显著的(表 1)。

表 1 两个试验区有机质含量的统计学差异显著性

	1970	1971	1972	1973	1974	差异显著的频率 (最大为 5)
1. 有机肥的影响						
Fu>T6	0.26**	0.29**	0.29**	0.35**	0.34**	5
RR>T6	0.12**	0.13**	0.14**	0.18**	0.15**	5
EV>T6	0.07**	0.07**	0.06	0.10**	0.06**	4
Fu>RR	0.14**	0.16**	0.15**	0.17**	0.19**	5
Fu>EV	0.19**	0.22**	0.23**	0.25**	0.28**	5
RR>EV	0.05	0.06*	0.08*	0.08**	0.09**	4
2. 土壤类型的影响						
H>P	0.02	0.05	0.02	0.05	—	0
P>D	0.08	0.10	0.11	0.09	0.09	0
H>D	0.10	0.15*	0.13	0.14*	0.09	2
3. 糖石灰的影响						
a>s	0.06**	0.03**	0.07**	0.05**	0.06**	5
P<机率平准): **=99%, *=95%						

(d) 土壤类型(地形系列)对有机质含量的影响不规律或不显著(表 1)。

(e) CaCO_3 含量和有机质含量之间的关系,一个农场(H)为正相关并极显著($P \leq 0.001$);另一个农场(L)则呈负相关($P \leq 0.1$)。

土壤紧实度的变化

从 1962 到 1967 年,每年加大耕深 2—3 厘米,结果使耕层加厚,从 1962 年的 20—22 厘米加厚到 1967 年的 35 厘米。由于原来的紧实犁底层处在 ±22—30 厘米深处,加大耕深导致了犁底层的破坏。1967 年以后在 L 农场再也看不到紧实犁底层对产量的不利影响。

表 2 四种有机肥处理的作物产量

A. 年产量的给定差异(在 2 个处理间)的频率,括弧内为给定显著差异的频率							
	年数	对照>绿肥	绿肥>对照	对照>厩肥	厩肥>对照	对照>残茬	残茬>对照
冬大麦(籽粒),公斤/公顷	8	3	5(1)	1	7(3)	4	4
冬小麦(籽粒),公斤/公顷	9	3	6(1)	0	9(6)	5	4
甜菜(块根),公斤/公顷	10	6(2)	4	1	9(3)	4	6(2)
甜菜,含糖量%	10	6	4	6(1)	4	8(4)	2
甜菜(糖),公斤/公顷	10	6(1)	4	2	8(2)	7	3(1)
	年数	绿肥>厩肥	厩肥>绿肥	绿肥>残茬	残茬>绿肥	厩肥>残茬	残茬>厩肥
冬大麦(籽粒),公斤/公顷	8	0	8(1)	5	3	8(3)	0
冬小麦(籽粒),公斤/公顷	9	1	8(4)	5(3)	4	9(5)	0
甜菜(块根),公斤/公顷	10	1	9(6)	3	7(1)	8(5)	2
甜菜,含糖量%	10	7	3	10(1)	0	8(2)	2
甜菜(糖),公斤/公顷	10	2	8(5)	4	6	8(5)	2
B. 平均产量和统计学差异显著性							
	年数	平均产量					
		对 照	绿 肥	厩 肥	作物残茬		
冬大麦(籽粒),公斤/公顷	8	5557	5603	5839	5594		
冬小麦(籽粒),公斤/公顷	9	5715	5787	5991	5709		
甜菜(块根),公斤/公顷	10	53310	52980	56600	53970		
甜菜,含糖量%	10	16.61	16.56	16.53	16.30		
甜菜(糖),公斤/公顷	10	8880	8790	9380	8820		
	年数	变量分析		Duncan 测 验			
		F	机 率, %				
冬大麦(籽粒),公斤/公顷	8	6.07	99.5	厩肥>对照**,厩肥>绿肥**,厩肥>残茬**			
冬小麦(籽粒),公斤/公顷	9	11.68	99.9	厩肥>对照**,厩肥>绿肥**,厩肥>残茬**			
甜菜(块根),公斤/公顷	10	7.18	99.5	厩肥>对照**,厩肥>绿肥**,厩肥>残茬**			
甜菜,含糖量%	10	4.88	99.0	对照>残茬**,绿肥>残茬**,厩肥>残茬**			
甜菜(糖),公斤/公顷	10	5.80	99.5	厩肥>对照**,厩肥>绿肥**,厩肥>残茬**			

** 机率平准 $P \leq 0.01$ 或 $\geq 99\%$ 。

施用有机肥和糖石灰对作物产量的影响

作物产量变化的统计分析结果列于两个表中(表 2, 表 3), 表格显示: (1) 两种有机肥料(表 2)或糖石灰(表 3)之间给定差异(显著或不显著)的频率; (2) 给定显著差异的频率; (3) 平均产量(8—10 年); (4) 整个试验期内变量分析和 Duncan 测验的结果。

在 1962 年(作物: 亚麻)和 1963 年(作物: 燕麦)作物收获后, 都未能种植绿肥以供甜菜之用。1964 年以后, 在冬小麦之后种植冬大麦(代替燕麦)作为轮作中的第三茬作物。因此, 在甜菜区直到 1964 年(包括 1964 年在内)未能进行“单独绿肥”处理(EV)。同样, 冬小麦区直到 1965 年前, 冬大麦区直到 1966 年前, 都未能进行“单独绿肥”处理。这就是说, 研究年限(对比四种有机物处理)对冬大麦来说只有八年, 冬小麦只有九年, 甜菜只有十年。

表 3 糖石灰处理的作物产量

	年 数	差异频率 (显著差异的频率)		平 均 产 量		变 量 分 析		Duncan 测验
		不施用 >施用	施用> 不施用	不施用	施 用	F	机率, %	
冬大麦(籽粒), 公斤/公顷	8	1	7(3)	5597	5699	6.14	95	施用>不施用
冬小麦(籽粒), 公斤/公顷	9	4	5(1)	5782	5819	2.21	81	
甜菜(块根), 公斤/公顷	10	5(1)	5	54300	54130	<1	—	
甜菜, 含糖量 %	10	7(3)	3	16.58	16.42	6.64	95	不施用>施用
甜菜(糖), 公斤/公顷	10	7(1)	3	9020	8910	1.53	74	

在上述研究年限中可作出以下结论:

(a) 土壤类型(地形)之间未引起产量的显著差异, 仅高地的甜菜含糖量较高(本文未作详述)。

(b) 施用有机肥引起了产量的显著差异, 小麦、大麦和甜菜的产量均为 $Fu > T\acute{e}^{**}$, $Fu > EV^{**}$; $Fu > RR^{**}$ (机率 99%)。在比较含糖量时, 差异的顺序则有所不同 ($T\acute{e} > RR^{**}$, $EV > RR^{**}$, $Fu > RR^{**}$) (表 2)。

(c) 施用糖石灰引起的差异不明显: 仅大麦籽粒产量 $a > s^*$, 但甜菜含糖量则相反(表 3)。

有机肥对土壤的某些结构特性的影响

对团聚体不稳固性的影响

团聚体不稳固性测定采用 De Leenheer 和 De Boodt 提出^[1], 并经 Hofman^[2]改进的方法。

团聚体不稳固性的数值, 是以以下两个数值之差的毫米数表示: 第一为 100 克干团聚体(2—8 毫米之间)的平均重量直径, 第二为湿筛后团聚体的平均重量直径。有机肥和供试粉砂土的有机质含量的影响, 综合在表 4 和表 5 中(助手 G. Hofman 的结果)。由于

冬季土壤表面的保护(由冬播谷物幼苗所保护)影响团聚体的稳固性(三月取土样),表中分别列出田间三种作物的结果。可以看出有机肥使团聚体不稳固性下降(表4)。有机肥使土壤有机质含量(% hu)增加的幅度,决定着团聚体不稳固性下降的程度(表5)。

表4 甜菜、小麦、大麦三种作物地上(冬季土壤表面受保护程度不同)

团聚体平均不稳固性与有机肥的关系(时期1969—1974)

f=差异的频率; s=显著差异的频率; p=机率平准(*=95%; **=99%)

	Té			EV			RR			Fu								
甜 菜	1.33			1.29			1.22			1.20								
小 麦	1.40			1.32			1.26			1.22								
大 麦	1.45			1.38			1.28			1.27								
平 均	1.39			1.33			1.25			1.23								
腐殖质(%)	2.01			2.08			2.16			2.32								
Té>EV				Té>RR			Té>Fu			EV>RR			EV>Fu			RR>Fu		
	f	s	p	f	s	p	f	s	p	f	s	p	f	s	p	f	s	p
甜 菜	5	0	—	6	1	**	6	1	**	5	1	*	6	1	*	4	0	—
小 麦	6	2	**	6	5	**	6	5	**	6	0	**	6	0	**	5	0	—
大 麦	6	0	**	6	5	**	6	6	**	6	4	**	6	6	**	5	0	—
合 计	17	2		18	11		18	12		17	5		18	7		14	0	

表5 轮作中甜菜、小麦、大麦三种作物地上团聚体不稳固性和土壤有机质含量之间直线关系的相关系数

r_{y 5}: 有机质含量的单回归(CaCO₃%不同)

r_{y 5.6}: 同 r_{y 5}, 但 CaCO₃ 含量不变

R_{y 0.56}: 有机质和碳酸盐含量的复回归

		1970	1971	1972	1973	1974
r _{y 5}	甜菜	-0.38**	-0.42**	-0.46**	-0.49**	-0.43**
	小麦	-0.62**	-0.60**	-0.35**	-0.62**	-0.63**
	大麦	-0.58**	-0.75**	-0.34**	-0.56**	-0.67**
r _{y 5.6}	甜菜	-0.30**	-0.40**	-0.45**	-0.37**	-0.42**
	小麦	-0.61**	-0.56**	-0.34**	-0.57**	-0.61**
	大麦	-0.59**	-0.70**	-0.26*	-0.55**	-0.64**
R _{y 0.56}	甜菜	0.41**	0.46**	0.46**	0.55**	0.46**
	小麦	0.69**	0.60**	0.45**	0.65**	0.63**
	大麦	0.63**	0.75**	0.40**	0.56**	0.72**

表 6 施用有机肥(Té, EV, RR, Fu)引起的三月份土壤含水量(Mm)和土壤结构性的变化

符号 f, s, p 同表 4; 当两个处理结果相同时, 例如 Fu=RR, 在 p 栏于括弧中(1=)注明

	Fu>Té			RR>Té			EV>Té			Fu>RR			Fu>EV			RR>EV			顺 序	
	年数	f	s	p	f	s	p	f	s	p	f	s	p	f	s	p				
Ma 甜菜 小麦 大麦	10	6	2		5			4			6			8	1		7			Fu>RR>EV>Té
	9	8	2	**	6	2		6	1		6	1		7		*	5			
	8	6	1	*	6	1		5			5	1		7	1	*	5		(1=)	
TP 甜菜 小麦 大麦	10	7	2	*	8	2	**	8	2		4	1		5			8			Fu>RR>EV>Té
	9	9	4	**	8	2	**	6		*	9		**	9	3	**	6	1		
	8	7	3	**	7	1	*	5	1		7	1	*	8	2	**	5	2		
pF0 甜菜 小麦 大麦	7	6	2	*	6	1	*	5	1	*	6			4			4			Fu>RR>EV>Té
	7	7	3	**	5	1		5	1		5	3		6	1	*	4	3		
	7	7	3	**	4	2		2	1		5	1		7	3	**	4	2		
pF1 甜菜 小麦 大麦	10	3			4			2			5			8			5			Fu>RR>EV<Té
	9	9	3	**	6	1	*	6		*	9		*	6	2	*	5	1		
	8	6	1	*	6	1	*	4			5			6		*	5	1		
pF2 甜菜 小麦 大麦	10	6			3			5			6		(1=)	7	1		5	1		Fu>RR>EV=Té
	9	8	1	**	5	1		5			6			7	1	*	5			
	8	7	1	*	7			5			7			6		*	4		(1=)	
pF2.54 甜菜 小麦 大麦	10	5			1			4			3			7			3			Fu>RR>EV>Té
	9	8		*	5			5		*	7		*	8	1	*	5			
	8	7	1	*	7		*	6	1		4			6	1		6			
pF4.19 甜菜 小麦 大麦	10	7		*	8			4			6	1		9	1	*	7			Fu>RR>EV>Té
	9	9	2	**	6		*	7		**	6	1		8	1	**	4		(1=)	
	8	6	1		6		*	2			2			4	1	(1=)	5			

对土壤孔隙度和孔隙大小分配的影响

De Leenheer^[3,4]描述了土壤孔隙度和孔隙大小分配的测定程序,并指出了采取未受破坏的完整土样时应注意的事项。

表6汇总了试验地取得的结果。由于取样时土壤的含水量(Mm)显著影响pF曲线^[4],这一情况也列于表6中。

毫无疑问,厩肥是最好的有机肥。它对M、TP、pF0、pF1、pF2、pF2.54和pF4.19的有利影响常常是很大的。施用糖石灰的有利影响,在以下各项数值中也可见到:M、TP、pF0、pF1、pF2、pF2.54,不包括pF4.19。关于糖石灰影响的情况,本文不拟详述。

(韩纯如 译)

参 考 文 献

- [1] DE LEENHEER, L., DE BOODT, M., Intern. Symp. Soil Structure. Chent, Meded. Landbouwhogeschool, Opzoekingsstn. *Staat Gent*. 24 (1959) 290.
- [2] HOFMAN, G., Doctoral Dissertation, University Ghent (1973).
- [3] DE LEENHEER, L., *Pedologie* (Gent), 17 (1967) 123.
- [4] DE LEENHEER, L., *Soil Sci.*, 112 (1971) 89.

腐殖质，它的形成，它和土壤矿物质部分的关系，以及它对土壤生产力的重要性

[荷] S. DE HAAN

引言

在决定一种土壤生产力的自然因素中，它的腐殖质含量是最重要的。在从前，如果土壤没有适当的腐殖质含量，就不可能有农业。为了这个目的，农民在荷兰轻的砂质土壤上用当地杂草或草皮与牲畜排泄物混合，建立起1米厚或更厚的腐殖质层。

虽然两个多世纪以来，许多土壤科学家都研究过腐殖质，但是关于它的形成和对土壤生产力的重要性，我们仍然有许多不知道的地方。关于腐殖质形成的数量方面，Kortleven 认为^[1]还缺乏足够的理由去假定他所研究的不同来源有机质（农家肥、城市废物堆肥、稻草、绿肥、纸浆）的不同腐殖化系数（一年后剩余的部分）。土壤的本质，特别是它的粘粒含量而不是有机质的本质，对于从有机质形成腐殖质的数量可能起着决定性的作用。

为了检验这一点，1965年开始了一个试验，应用15种含氮量不同的有机产物，从文献^[2-5]的数据表明，在腐殖质形成中氮对其的影响是正的。这些产物每年施用在一个洪积砂性土和一个冲积粘土上，连续10年，这两种土壤代表荷兰的主要土壤类型。1966年又开始了一个试验，其中有一种有机质来源（草粉）每年都施到36种不同的土壤中，以便较为详细地研究土壤特性（粘粒和腐殖质含量，pH值）对腐殖质形成的影响。

这里提供了这些试验的结果，以及一个在未施肥的土壤中腐殖质含量与作物产量关系的盆栽试验的结果，和在适宜的化肥施用下，有机肥的施用对作物最大产量的影响的长期田间试验结果。

材料和方法

研究腐殖质形成所用的有机产物，按照它们的含氮量（凯氏法）次序列于表1，并列出按照法定的分析化学家协会（A. O. A. C.）的法定分析方法^[6]得到的木质素含量，以及灰分含量。

这些有机产物在需要时加以磨细，并按下列数量（以干物为基础）每年施用，连续10年：5.3公斤砂性土中施100克，土壤含腐殖质3.89%，N 0.156%，pH-KCl 4.74；4.7公斤粘土中施100克，土壤含腐殖质3.00%，N 0.224%，粘粒（<2微米）22%，pH-KCl 6.63。土壤放入不排水的盆中，置于周围温度的条件下，保持休闲和田间持水量50—70%左右的水分。每年年终测定腐殖质（=有机质总量）和氮素，腐殖质除了对泥炭土用灼失量来估计以外，用Mebius法^[7]来测定，氮素用Deijs^[8]法测定。在10年周期终了时，还测定了pH-KCl，pF 2.0时、3.4时和4.2时的水分含量，容重和可塑性（粘土）。除了

表 1 用于腐殖化研究的有机产物、它们的氮素、木质素和灰分含量占干物质的百分数

	N (%)	木 质 素 (%)	灰 分 (%)
糖	0.00	0.00	0.00
纤维素	0.00	1.2	6.5
黑麦秸	0.44	11.5	4.2
燕麦秸	0.61	11.2	6.6
黑麦籽粒	1.87	3.1	2.3
燕麦籽粒	1.91	4.5	4.8
草	2.00	8.0	10.2
乳清粉	2.19	0.0	12.1
农家肥	2.50	29.0	35.0
苜 蓿	2.64	4.3	7.6
牛 粪	2.75	21.7	15.0
亚麻籽饼粉	6.00	7.5	6.7
大豆饼粉	8.11	0.9	6.1
马铃薯蛋白质	13.60	1.7	2.6
血 粉	15.00	0.6	5.6

试验中未曾用 15 种有机产物去处理的土壤要重复六次以外，每个处理过的土壤重复两次。

为了研究盆栽试验中腐殖质对作物产量的影响，应用了下列的土壤：从一个围海低地（约翰内斯克尔荷温波尔得低地）取来的 60 个冲积土，从不同地区取来的 94 个冲积土和 76 个洪积土。在这些土壤中，亦测定了在水中沉降速度不同的、和比重不同的（用 $\text{CHBr}_3/\text{CCl}_4$ 混合物）土壤各部分的腐殖质含量。

在田间试验中，有机肥料效果的研究，是在不同土壤上种植不同作物，施用最适比率的化肥。氮素除外，氮的施用率是从零到最适量以上。由此得到的产量曲线表明增施有机肥能否增加最大产量。正是由于这种最大产量的增加，使得在矿质肥料既丰富又便宜的情况下，应用有机肥仍具有吸引力。

结 果

不同有机产物的腐殖质形成

图 1 给出了在相继的年份中，每年施用糖、农家肥和马铃薯蛋白质所形成的腐殖质数量，作为一个例子。

在表 2 中给出了 1 年和 10 年以后，从所有产品中所形成的腐殖质数量。表中腐殖质数量，用 1 年和 10 年分别施用 100 克和 1000 克有机质时的格令数来表示。这里已考虑了有机产物的灰分含量。

显然，10 年以后所形成的腐殖质数量，少于 1 年以后所形成的腐殖质数量的 10 倍，因为形成的腐殖质遭受分解。从各种产物所形成的腐殖质的分解速率，亦列于表 2 中。

评论 如果 1 年施用某一数量有机质所形成的腐殖质数量为 a ，则从两年施用相同数量时得 $a + ar$ ，设 r 为第二年从第一年所形成的腐殖质中剩下来的部分（%）。如果假

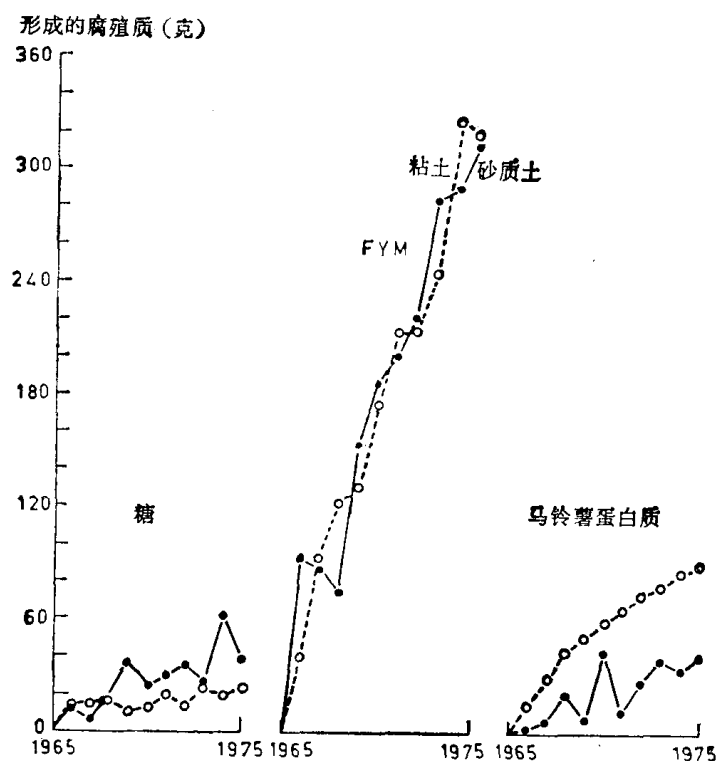


图 1 每年施用 100 克糖、农家肥或马铃薯蛋白质的有机产物(干物)时腐殖质的形成数量

设 r 随着时间的推移而始终(10 年周期)保持恒定, 则从 3 年施用同等数量的有机质所形成的腐殖质为 $a + ar + ar^2$, 等等。因此, 腐殖质按照几何级数方程式 $y = ax(1 - r^n)/(1 - r)$ 而累积。所形成腐殖质数量的原来数据, 已用这个方程式调整过, 调整后的数据列于表 2。分解速率是用相同方法计算的。

表 2 从 1 年和 10 年每年施用 100 克不同产品的有机质所形成的腐殖质数量(克)和该腐殖质的分解速率(%/年)

	1 年		10 年		分 解 速 率	
	砂 土	粘 土	砂 土	粘 土	砂 土	粘 土
糖	7	4	44	19	10	19
纤维素	11	7	58	33	15	21
黑麦秸	31	31	118	169	25	15
燕麦秸	25	27	150	177	11	10
黑麦籽粒	18	15	93	118	16	6
燕麦籽粒	21	18	128	146	12	5
草	37	24	202	219	14	2
乳清粉	11	9	67	58	14	12
农家肥	60	57	485	495	5	3
苜蓿	22	17	177	152	5	3
牛粪	47	40	278	284	13	8
亚麻籽饼粉	27	21	123	195	19	3
大豆饼粉	7	11	56	94	8	2
马铃薯蛋白质	5	14	40	89	4	13
血粉	71	33	249	232	29	8

从表 2 清楚地看到,不同来源的有机质形成了不同数量的腐殖质。它与有机产物的含氮量没有关系,但与木质素含量有关,血粉是例外,它在这方面表现得不规则,用双筒显微镜对有机产物和土壤进行观察表明,它部分地由小硬粒组成,可能是在过高温度下干燥的结果,它在土壤中不起作用,至少在头几年是如此。随后,这些硬粒有崩解的迹象。产物(除血粉外)的氮素和木质素含量之间的关系的相关系数(r 值),以及在 1 年和 10 年以后所形成腐殖质的数量,都在表 3 给出。

表 3 从每年施用各种有机产物经 1 年和 10 年后所形成的腐殖质数量,与这些产物的氮素及木质素含量之间的关系的 r 值

	1 年		10 年	
	砂 性 土	粘 土	砂 性 土	粘 土
%氮素	-0.11	-0.12	-0.24	-0.05
%木质素	-0.88***	-0.93***	-0.92***	-0.92***

***= $p > 99.9\%$ 。

形成的腐殖质数量,大于产物的木质素含量,因此,有机质的其他组成成分对腐殖质的形成作出了贡献。从糖、纤维素和蛋白质这样的产物中,形成数量很低的腐殖质(5%)。大概是分解有机质的微生物残余物所形成的。

1 年以后,大多数产物在砂土中比在粘土中形成更多的腐殖质,但 10 年以后则相反。因此,看来从大多数产物所形成的新腐殖质,在粘土中比较稳定。这点从分解速率看也是很明显的。砂土和粘土的新形成腐殖质的平均分解速率,分别为 13% 和 9%。对于未处理土壤,旧(当地的)腐殖质的分解速率分别为 1.7% 和 2.2%。所以新腐殖质没有老的稳定。对于新腐殖质的分解,在 10 年的有机质施用周期之后,将在 5 年或 10 年时期中对它作比较详尽的研究。

施用有机产物后其他土壤特性的变化

由于不生长作物和不发生淋溶作用,当然土壤氮素含量的增加一般便与产物含氮量相符。然而,失去了相当大部分的氮素,特别是富含蛋白质的产物尤甚。例如,从马铃薯蛋白质(100 克/盆,在 10 年的周期中)失去了 80% 以上的氮素。初步结果表明,土壤中的水溶性氮素几乎都是成为硝酸态的,pH 值的降低很明显。马铃薯蛋白质在砂土中降低 pH-KCl 到 3.85,在粘土中降到 4.34。由于在这样低的 pH 值下,看来氮素不大可能作为氨而丢失,在这种情况下它的丢失可能是反硝化作用的结果。

在砂性土中,所有的产物都增加了不同 pF 值时的水分含量;在粘土中,于 pF 值 4.2 和 3.4 时增加了水分含量,但在 pF 值 2.0 时则否,或增加得较少。因而有效水含量(pF 2—pF 4.2)在粘土中并没有增加。

在砂性土中,有机产物使其体积比粘土增加很多,因而容重便减少很多。

在粘土中,对结构的影响较为显著。甚至于象糖和纤维素这样的产物,在粘土中有效地改进了结构。应用富含蛋白质的产物,结构单元变成比较大的结块,干后很硬。在一个这里没有谈到的试验中,每年施用有机产物,经五年结束,三年以后除了富含蛋白质的情