

1955.10.14
1955.10.14
1955.10.14
世界农业
丛刊

土壤学译丛

(三)

4-117.
35

农业出版社

土 壤 学 译 丛

(三)

李连捷 主编

初 登 出 版 社

《世界农业》丛刊
土壤学译丛(三)
李连捷 主编

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 8.5 印张 205 千字
1983 年11月第1版 1983 年11月北京第1次印刷
印数 1—3,150 册

统一书号 16144·2658 定价 1.40 元

目 录

1. 土壤是一种自然资源..... И. Сабольч (1)
2. 土壤碳素动态和耕作方法..... R. E. Lucas等 (8)
3. 希腊森林土壤的物理性质、化学性质和生物性质..... George Nakos (19)
4. 作物生长与盐渍度..... L. Bernstein (30)
5. 主要发生土类中各种形态铁的比例及分布的一般规律 Л. А. Карманова (41)
6. 北卡罗来纳州沿海平原土壤景观的年龄..... R. B. Daniels等 (50)
7. 蔬菜作物与土壤的相互关系..... 嶋田永生 (60)
8. 评价土壤物理性质的几个标准 И. В. Кузнецова (73)
9. 机器行走系统对土壤的压实 И. С. Рабочев等 (79)
10. 硫酸铵与碳酸盐体系间氨挥发的反应机制..... S. E. Feagley等 (85)
11. 土壤温度和湿度对各种氮肥的氮素损失量的影响..... Д. А. Филимонов等 (90)
12. 田间和实验室条件下尿素表施时氨的挥发作用 W. L. Hargrove等 (93)
13. 土壤特性与根形态对玉米吸收磷酸盐的影响 М. К. Schenk等 (100)
14. 钒对农作物产品质量的影响..... А. В. Петербургский等 (106)
15. 土壤剖面的采集和保存程序..... J. H. V. van Baren等 (113)
16. 美国鉴定盐渍土与水(质)的采样程序和分析方法 J. D. Rhoades等 (121)

土壤是一种自然资源

И.Сабольч

全世界对食品和原料的日益增长的需求更加加深了把土壤看成是一种自然资源的意义，更加加强了对它进行深入研究和更有效利用的必要性。土壤是生命界营养元素的第一性的来源，也是其必不可少的能量的主要贮藏器。土壤的这种功能是什么别的东西都不能代替的，即整个生命界和人类的生存与发展都直接或间接地依赖于土壤的这种保证其物质和能量需要的特性。

众所周知，匈牙利的矿产资源并不很丰富，因此对作为自然资源的重要组成部分的土壤就更为引人注目了。在矿产资源不多的情况下，匈牙利国土的大部分土壤是相当肥沃的，在现代生产方式下，它们足以生产出丰富的食品和农业原料。在匈牙利，对土壤作了很多研究，为其开发利用已制定了规划，并正以各种现代化的方法加以实现。

大家知道，由于绿色植物的同化作用，把太阳能固定下来，并在土壤中积累了大量能量。植物生长及死亡过程中，在土壤中积累起来的有机质含有大量的能量和营养元素。这些能量和营养元素对农业生产极为重要，并且是不可代替的。各种营养物质和能量在土壤中的积累是极其复杂的生物地球化学过程的结果，同时，在其形成过程中，除有机质外，于成土过程中所发生的土壤矿物质部分的改造作用也起着相当重要的作用。这些过程结合成土母质的风化作用，从母岩中释放出大量直接或间接能为植物利用的营养物质，它们以一定的化合物的形式进入土壤，并参与到保证农作物生命过程的物质和能量的转换中去。

与此同时，土壤的物理性质和与其相关的土壤物理条件，首先是热量和水分的转移，也是植物生活和作物生产的最重要的因素。土壤作为物理、化学、物理化学及生物学方面的一种环境来说，是整个生命界的摇篮，当然也是其坟墓，在这个环境中，一切能量转换过程都与地球上占统治地位的生物地球化学和地球化学过程紧密相关。

一、匈牙利土壤中的能贮量和农作物对它的利用

匈牙利土壤中蕴藏着相当大的能量。在计算中，我们未考虑土壤矿物质部分的潜能，主要只着重于因植物生命活动在成土过程中积累于有机质中的能贮量。

在匈牙利蕴藏于土壤有机质中的潜能，可与国家的载能体，即自然财富的总能量（煤、石油、天然气）的数量相比拟。太阳能是所有一切形式的能量的基本源泉，它在生命有机体的生命活动中转化成潜能。积累于土壤中的能量与集存于第一性载能体中的能量之间，其最大差别在于年龄。在这种理解之下，与上述载能体相比，土壤是最年轻的形成物。土壤与第一性载能体的第二个基本区别，是上述物质的改造程度。在土壤中，蕴藏于活的有机体中的物质与其他形式的载能体相比，是处于不太稳固的状态，改造程度及结构的均一

性较差。这在某种程度上可解释为,在土壤生物学过程中土壤具有归还积累于其中的能量、某些元素及组成成分的能力,而对其他载能体来说是不可能的。

据粗略计算,匈牙利土壤中积累的能量(换算成卡)占全国总能贮量(煤、石油、天然气)的60%以上(表1)。

表1 匈牙利的煤、石油及天然气中的能量与土壤中的能贮量的比较

载 能 体	能 贮 量 (千卡 $\times 10^{12}$)	载 能 体	能 贮 量 (千卡 $\times 10^{12}$)
煤*	20,025	土壤**	14,200
石 油	1,062	土壤中能贮量占	
天 然 气	1,353	第一性载能体的%	68.53
合 计	22,351 Δ		

* 不包含泥炭 Δ 原文如此——编者

** 包括沼泽土

表2 1975年匈牙利农、林业所生产的能量*

产 品	产 量 (千吨)	换算成能量 (千卡 $\times 10^{12}$)	产 品	产 量 (千吨)	换算成能量 (千卡 $\times 10^{12}$)
谷 物	5,149	16.62	葡 萄	813	0.62
玉 米	7,172	24.88	森林(木材)	2,929	1.05
马 铃 薯	1,630	1.47	经济作物	4,425	3.89
饲 草	8,756	13.06	总 计	33,173	64.22 Δ
蔬 菜	900	0.74	其中小麦和		
水 果	1,399	0.89	玉米	11,179	38.90

* 根据48种农作物的资料

Δ 原文如此——编者

对植物自身的生长来说,不仅利用存在于土壤中的物质、潜能、太阳能,而且也利用通过矿质肥料携入土中的物质和能量。因此在研究生产和能量的农业利用时,我们主要应当考虑这些指标。同时也便于计算蕴藏于农产品中的潜能,这从表2中可清楚看到。将这些资料与其他载能体的年产量相比(以卡计)可看出,约占匈牙利所生产的总能量的一半是由农业和林业生产的。从表2和表8中所列举的数据有力地证实了这一点。

从表4可看出,在匈牙利所列举的能量中,有1/3以上是由农业生产的,在大多数国家里,这个比值要小得多,在很多情况下几乎要小整整一位数。这种情况下应考虑到,农业在生产过程中不仅是生产者,而且也是能量的需求者,因为必需为它生产矿质肥料,工作机械等等。

分析表2和表5资料可看出,为了达到一定的水平,农业生产以矿质肥料、燃料及其他原料等形式利用了农业所生产的总能量的1/3。这里应当指出,在计算农作物所生产的能量平衡时,用来进行播种或移植材料的用量也占有一定的地位。在上述计算中这些数量可

表3 1975年匈牙利生产、进口的载能体及其在国民经济中的利用

载 能 体	能 量 (千卡×10 ¹²)		
	生 产	进 口	利 用
煤:	73.39	11.42	84.81
木 煤	11.56	未	11.56
褐 煤	49.16	未	49.16
黑 煤	7.22	5.55	12.77
天然气及褐煤	5.45	5.86	11.31
石 油	19.66	74.15	93.81
天然气	43.13	6.45	49.58
丙烷—丁烷	1.34	0.34	1.68
水力发电	0.47	11.86	12.33
木 柴	3.18	未	3.18
其 他	1.69	0.04	1.73

表4 1974年各国由农业所生产的能量与载能体所产生的能量的比较

国 家	能 量 (千卡×10 ¹²)		A : B
	农业所生产的(小麦、燕麦、马铃薯、葡萄、苹果) A	主要载能体所产生的(煤、石油、天然气、电) B	
捷克斯洛伐克	38.27	423.25	0.090
英 国	58.48	964.24	0.060
法 国	152.18	328.71	0.463
荷 兰	9.43	734.56	0.013
南斯拉夫	56.97	189.77	0.300
波 兰	107.84	861.18	0.125
匈 牙 利	45.16	133.43	0.339
德意志民主共和国	42.25	955.06	0.044
德意志联邦共和国	76.79	1259.26	0.061
罗 马 尼 亚	51.57	519.03	0.099
苏 联	655.42	9842.79	0.066
美 国	627.92	12767.28	0.049
澳大利亚	50.91	600.74	0.085

表5 1975年匈牙利农业所利用的能量

载 能 体	能 量 (千卡×10 ¹²)	载 能 体	能 量 (千卡×10 ¹²)
煤	0.16	热 能	0.37
天然气	0.21	电 能	1.02
木 柴	0.07	电载能体转换的总能量	13.81
各主要载能体的总能量	0.44	矿质肥料所耗总能量	10.85
块 煤	0.01	其中:	
焦 炭	0.03	氮 肥	8.64
汽 油	1.02	磷 肥	1.21
煤 油	6.67	钾 肥	1.00
燃料油	4.69	所利用的总能量	25.10

忽略不计,因为它只占总生产或总能量的百分之几。

从图1所示可知,在匈牙利能量的总生产量正与农业所生产的能量相一致的增长趋势发展着,而农业所生产的能量又与其平均产量的增长速率成正比关系。分析农业生产与生产农产品所需要的能量之间的比例可知,这种增长也是呈正比例的。从图1可以看出,虽然近数十年来农业所生产的能量的增长速度远比其它能量的生产大得多,但同样也可以说明第一性载能体的能量和农业所生产的能量的增长速率。如果将匈牙利土壤中所积累的潜能与逐年所生产的总能量作一比较,则可以看到土壤中的能贮量要比逐年由农作物所生产的能量大200倍之多。

必须指出,在计算这些资料的过程中曾作了某些删节,无疑在数据上会有一些改变。例如,非农业用地上的自然植被的年产量未计算在内,它约为所计数量的1/10弱,因此这种删节将不会导致显著的误差。

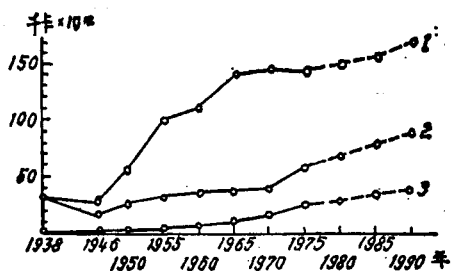


图1 匈牙利第一性能量的生产和农业生产所产生的能量的逐年增长情况

1. 匈牙利第一性能量的生产 2. 1938—1990年农业所生产的能量 3. 被农业所利用的能量

二、土壤中物质与能量的转换特点

土壤作为自然能源的基本特点是,它对生命界和人类社会所提供的能量是没有任何东西可以代替的。换言之,土壤由于具有肥力而成为陆地上所有一切生命有机体的养料的源泉。因此可以说,土壤中连年积累起来的物质和能量,不仅数量可观,而且在质量上也是没有任何其它东西可以取代的。

谈到土壤的作用,不能不指出,农产品在匈牙利的经济中是最重要和最基本的出口商品之一,它在世界市场上的意义将随着对食品的需求的普遍高涨而显得更为重要。很多匈牙利的政治领导人都曾指出,从完成计划和发展经济的观点看,农产品同某些工业部门一样创造了十分必要的交换价值。土壤本身作为一种自然资源的物质和能量转换的另一特点是,尽管在土壤上每年都进行着需要大量能量的高产作物的栽培,但积累于其中的能量在良好条件下长时期都不会降低。

在匈牙利的条件下,近数十年来并未发生因作物栽培集约程度加强而致使积累于土壤中的潜能降低。上述特点可以部分地解释为,整个土壤是一种称之为可更新的自然资源。众所周知,与矿产不同,水、大气及其他客体被认为是可更新的自然资源,按其自身的功能来说,它们可以不断更新并不断被动物和人类反复利用。尽管在适宜条件下,土壤的能量不会下降,但仍然不能一概地将其归属为可更新的自然能源。

土壤按其本身的性质介于可更新的和不可更新的自然资源之间。它与可更新的自然资源相似,是因为当人类正确利用积累于其中的能量时,能量不会降低,并将能多次重复利用。非但如此,在某些条件下,不仅提高了生产,而且积累于土壤中的能量还将会增加。土壤与不可更新的自然资源相似,则在于当利用得不合理时,无论是土壤的能量还是土壤

本身都可能耗竭或甚至遭到破坏。这一事实早已为人们所知,即某些物理的、化学的和生物学的过程或其综合影响可能降低土壤的肥力,甚而完全毁坏土壤。

下面我们仅举其中几例。

(1) 众所周知,土壤作为地球的最表面的薄层来说,是很容易遭到破坏的,以致可能成为侵蚀或其他破坏过程的牺牲品。经过许多世纪的侵蚀,毁灭了大面积的肥沃土地。由于措施不当,如过度砍伐森林或不合理的开垦坡地,使得大面积的土地变为贫瘠的不毛之地。目前已知,有无数被侵蚀所带走的腐殖质及营养物质贮量永远损失掉了,从土壤肥力中被移走而进入到地质学大循环中去。对其数量的测定和评价表明,在大多数国家,这些损失达到或超过每年由有机和无机肥料施加到土壤中去的养料元素的总量。

(2) 同样,很清楚的是干旱、半干旱,甚至半湿润地区,因灌溉影响而产生的次生盐渍化过程。其实质是在灌溉条件下,土壤过程中物质迁移发生了变化,土壤中进入了大量盐类,即土壤人为地盐化了。在许多国家包括匈牙利在内,这一过程毁坏了大面积的土壤。联合国的资料足以证实,在世界上半数以上的灌溉系统中都存在着这一过程,每年由于次生盐渍化而荒废的土地面积超过了整个匈牙利。

(3) 由于农业高度机械化和化学化,沉重和大型机器的机械作用,尤其是施用某些化学制剂对土壤造成毒害,甚至是毁灭性的影响,特别是对土壤中所进行的生物学过程则更是如此。随着所使用的机器和化学物质的数量的增长,这种不良影响也随之迅速扩大。

除上述因素外,还必须考虑到其它有害的作用。预测和防止各种不利因素的基本前提是对它们加深认识。因此对土壤这种自然资源的全面研究,应利用各种现代化的方法使之达到最高的水平。随着生产和社会的发展,不仅需要考虑到威胁着我们的土壤的危险,而且还要估计到目前和将来这些土壤所具有的生产水平。由于匈牙利置土地法于不顾,肥沃的土地面积正逐年减少,很可能这一过程在将来仍然不能完全制止,因为工业的发展、社会的需要、矿产的开采,所有这一切都需要新的土地,而且主要是靠占用农业用地。

换句话说,必须考虑到,将来需要在更少的土地上生产出更多的产品,这意味着我们应当学会控制进入土壤的物质和能量的转换过程,以便上述任务的完成。与此同时,我们还要重新耕种被采矿和工业所破坏了的土地或由于社会及工业废物的堆积而变成的不毛之地。为了重新耕种被露天煤矿所侵占的土地,我们的专家们制定了有效的方法,并已付诸实施。

到2000年,将使目前的农作物产量水平翻一番。为此,需有更新和更完善的方法来控制土壤中的物质和能量的转换。

匈牙利科学院土壤和农化研究所制定了进一步提高匈牙利土壤肥力的限制因子图(图2)。从图上可看出,几乎匈牙利的半数土壤中都存在有肥力限制因素。这幅图不仅指出了目前降低土壤肥力的过程和性质,而且反映出将来在提高土壤肥力的过程中,在何处将会遇到何种障碍。

众所周知,近数十年来匈牙利主要农作物的产量提高了几倍,主要是靠机械化和化学化(主要是靠施用化肥和植物保护),也靠引用新品种。要能保证高产新品种对水和营养物质的需要,这首先取决于土壤的性质。为了使匈牙利土壤上的产量翻一番,不仅需要施加更大和更广泛的影响,而且需要更深入地研究、认识土壤中所发生的物理、化学和生物学过程。因此,那些能阐明作为自然能源的土壤的作用,及其未来潜力的那些预报研究、分

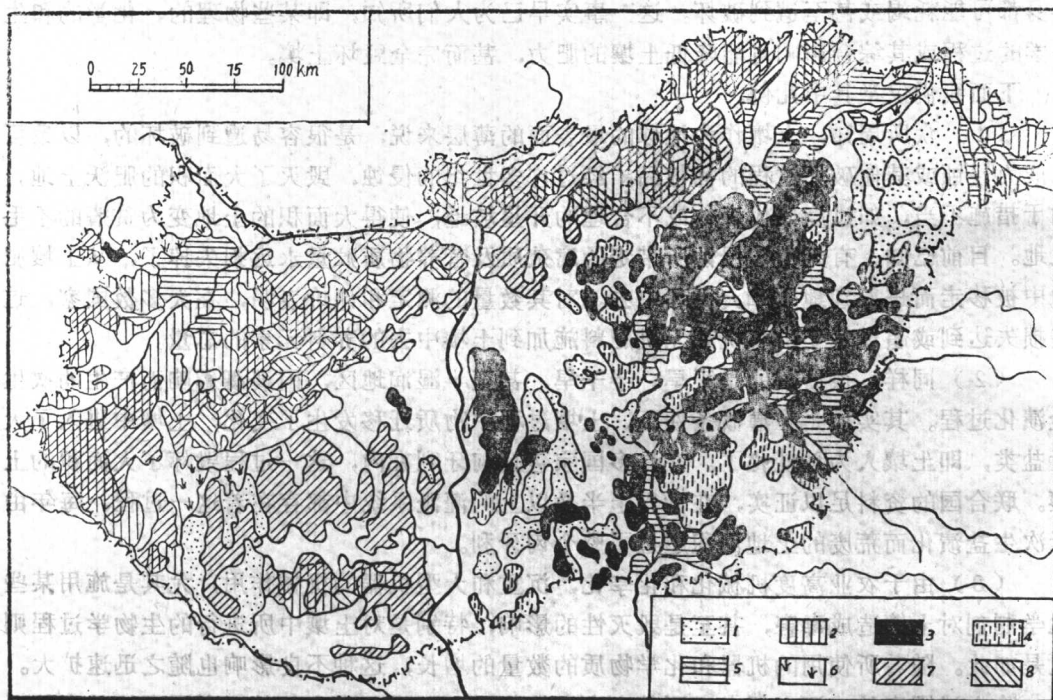


图2 匈牙利土壤肥力限制因子分布图(И.Сабољч等编制, 1978年)

1. 砂粒含量高 2. 强酸性反应 3. 盐渍化土壤 4. 土壤深层盐渍化 5. 粘粒含量高
6. 沼泽化 7. 侵蚀 8. 近表层下垫有紧实母质

析和测定工作都是很重要的。

尚待解决的问题是, 可以在多么大的程度上超过这些临界数值, 应当采用何种方法来更集约地利用作为自然资源的土壤, 才不致使其遭受危害和损失。综上给土壤所带来的危害和破坏, 甚至在一年中或若干年中都获得了好收成的情况下, 也可能导致降低土壤肥力或毁灭作为自然能源的土壤。

还有一些与上述情况有关的问题尚未查明, 如土壤能在多大程度上为比现在水平高出若干倍的作物栽培提供水和营养物质; 在用过去提高产量的主要手段, 即单纯地在营养物质方面加倍施用化肥的方法是否就能保证这种需求的问题上, 产生了某些不同意见。无疑, 在这方面不仅需要更深入地研究土壤中物质转移的过程, 而且还需探寻新的方法, 以便了解如何保持和提高土壤肥力。在这方面已有了开端。例如, 匈牙利科学院土壤及农化研究所与中央地质局协同进行了这方面的一些工作, 并制定了实际的方法。

作为农业生产的基本生产资料, 又是生命界养料的基本来源的土壤, 按其功能来说是与农业密切相关的。但是, 当前应加强土壤学与地质学、水文学、化学工业及国民经济其它领域的接触。在开采矿产, 工业及社会活动, 修筑道路等等过程中, 都可能产生对土壤的破坏和污染问题它不同于农业所造成的影响。土壤形成过程是一种很复杂的与其它环境组成成分密切相结合的过程, 其本身就受到农业内部和外部许多因素的影响。可以确信(国际经验可以证实这一点), 土壤是生物圈的这样一种组成成分, 是与农业及国民经济的其他部门密切相结合, 构成其不可分割的一部分。

土壤作为自然资源的作用在不断扩大，因此就要求用新的、综合的、多学科性的方式，对它进行研究和利用。在匈牙利，为农业、地质学及其它科学领域之间的现代化多学科性的研究，以及国民经济的实践创造了一切可能性，以便全力来回答现代社会向我们提出的问题，提出了如本世纪末上述问题的发展预报，因为这是保证给后代提供食品和原料，以及文化发展和全面建设社会主义的基础。

原载〔苏〕“Почвоведение” 2:30—38, 1979

向斗敏 译 张祖锡 校

土壤碳素动态和耕作方法

R.E. Lucas J.B. Holtman L.J. Connor

本文介绍一个关于土壤碳素动态的模式，重点分析了土壤有机质的分解、水土流失和进入土壤的作物残茬及厩肥的问题。文章列举了各种管理方法、单产水平和土壤性质对土壤碳素平衡的影响，估计了各种有机质含量的土壤在提高单产和氮肥利用效率方面的作用。

耕作制度的不断变更，对土壤结构问题的日趋重视以及对节约能源的关注，已使大家愈来愈重视农业土壤中碳的含量。耕作方法和氮肥施用量的变化，可以影响作物生产的能耗和土壤有机碳的含量。在美国，单种玉米的年化肥施入量一般都在150—200公斤氮(N)/公顷左右，换算成能量就是360万千卡，或相当于365公升汽油。文中对于不同耕作方法有关的土壤碳素变更情况作了估计。土壤碳素值与土壤腐殖质含量有直接关系，为了把土壤碳素值换算成腐殖质，常用的换算系数是1.72。土壤腐殖质可以改善土壤结构，而且是作物养分的一个重要来源。

一、影响土壤碳素的因素

土壤有机碳素的投入量和消耗量因多种因素而不同。图1描绘了与气象和土壤条件有关的预期的变化，这类变化在美国密歇根州南部的排水良好的壤质土上是很典型的。图中注明的百分数是一种情况发展到另一种情况的逐年变化。

为了简便起见，我们假设在以动物粪便形式归还土壤的全部植物残茬（包括碳素）中有30%以土壤腐殖质的形式保存在土壤里。这个百分数与Jenkinson利用同位素碳在黑麦草田间测得的数值很接近。后一研究是在英格兰Harpden地区的田间进行的。过了六年以后，大约有10%的 ^{14}C 仍然留在土壤里。这项研究的一个重要发现是，分解率不受加入的碳量的影响。根茬的分解率与黑麦草地上部分残茬的分解率大体相同。

微生物对土壤碳素的分解率和新、老腐殖质的比例、通气性、土壤水分和温度有关。在英格兰的土壤条件下，第三年以后新腐殖质的分解率估计是10—15%。1870年以来一直荒芜的一种壤土，其土壤含碳率已从最初的1.4%减少到现在的0.8%。最初30年里每年的损失率大约是1.1%，现在是0.4%。如所预料，因为土壤含有许多不同的有机复合体，所以每种物质损失率可能差别很大。我们这里用的年损失率是土壤腐殖质总量的2.5%。土壤腐殖质总量是在每公顷200万公斤表土中测出来的。我们假设土壤老腐殖质与新腐殖质之间的比率是20:1，老腐殖质的分解率是1.6%，新腐殖质的分解率是20%。

温暖地区的潮湿土壤分解率要高得多。温度每增加 10°C ，生物分解量就会加倍。碳素分解损失，可以用生产更多的植物碳素来补偿。例如南部各州都实行复种制。在热带雨林区，温度和湿度都不是有机质积累和分解的限制性因素。据Greenland和Nye估计，热带

土壤腐殖质逐年变化模式

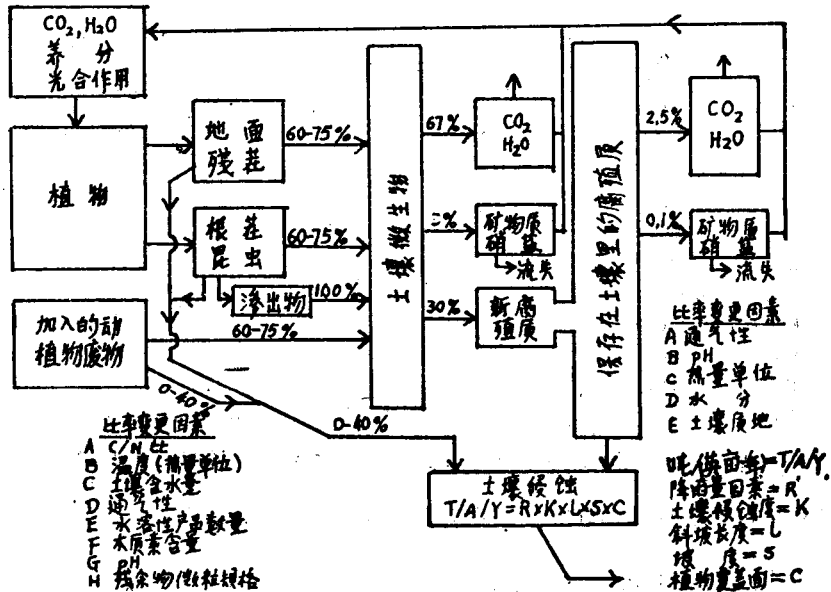


图1 土壤腐殖质模式:典型的(密歇根州土壤)排水良好的壤土逐年变化示意图

森林每年生产的生物量和土壤有机质要比温带森林多五倍,而有机质分解率也比温带森林大五倍左右。因此,正如Sanchez和Buol指出的那样,两个相应地区的土壤碳素含量可以大体相似。草地的碳素动态也差不多。据Tan等人发现,佐治亚州每公顷雀稗(bahiagrass)草丛的根系有17,000公斤重。普通百慕大草(bermuda grass)的根每公顷也有12,000公斤重。看来土壤有机质含量好象最高可达到2.2%左右。

有关地面残茬数量的资料尽管不少,但每年生产出多少根重的资料却完全欠缺。潮湿地区的植物根重在收获时一般占作物残茬总重的15—30%。数字这么低是因为在生长季节里根本经常在不断更新。据Mengel和Barber的发现,玉米生长中期的根重最高,然后就脱落以产生新根。作物茎叶部分(尤其是从根际)渗出的液汁,为土壤微生物提供有机质。Coleman认为,渗出物质供给土壤的碳素,比脱落的根供给的还多。他还认为草原禾本科牧草供给土壤的碳量,每年可达2,000公斤/公顷。

Hale等人列举大量事实说明,由于表层土壤的含水量变化较大,所以这部分的根在生长期间的脱落量也非常大,而这里又正是根系最密集的地方。据Dahlman和Kuncera估计,生长于潮湿地带的植物根系,每年大约脱落25%左右。Allison非常重视根茬产生的碳量。

在估计土壤碳素动态的时候,还应该包括杂草、昆虫、鸟类、藻类等其它来源。尤其是杂草,因为杂草通常是无人收走,而且是在生长期比较长久地起作用的,所以能为土壤提供相当多的碳素。因此我们估计,渗出物、脱落根、昆虫以及其它来源提供的碳素,大约等于收获时根茬提供碳素的1.5倍。表1列举几种作物产生土壤碳素的资料,图2—图6都用这些作物做例子。

表 1 几种大田作物生产的碳素 (a)

玉米(6,270公斤/公顷) ^(b)		大豆(2,150公斤/公顷) ^(b)	
秸秆	806	豆秸	430
根	175 ^(c)	根	81
其它	262 ^(c)	其它	121
合计 ^(c)	1,243	合计 ^(c)	632
小麦(3,025公斤/公顷) ^(b)		菜豆(fieldbeans)(1,680公斤/公顷) ^(b)	
麦草	605	豆秸	269
根	134	根	40
其它	202	其它	60
合计 ^(c)	941	合计 ^(c)	369
第一年苜蓿(8,960公斤/公顷) ^(b)		第二年苜蓿(8,960公斤/公顷) ^(b)	
地上部分残茬	202	地上部分残茬	202
根茬	349	根茬	269
其它	524	其它	403
合计 ^(c)	1,075	合计 ^(c)	874

注: (a) 全部数字都以每公顷生产的碳素的公斤数表示, 并假设作物残茬有30%的碳变成土壤碳素

(b) 收获的产量

(c) 根系提供的碳素只指收获时的碳量。“其它”项包括脱落根、渗出物、昆虫等

土壤流失量与降雨强度和持续时间、土壤侵蚀度、坡长和坡度、植物覆盖, 以及土壤经营管理: 方法等因素有关。本文应用了通用土壤流失方程式, 并设 R (降雨因子) = 100, 土壤侵蚀度指数 = 0.32, 土壤坡长 = 200 英尺。耕作管理以目前密歇根州土壤保持处使用的方法为准。因为土壤有机质很轻, 比土壤矿质部分更易被冲走, 因此我们假设被冲走的土壤含碳量比耕作层土壤含碳量多50%。

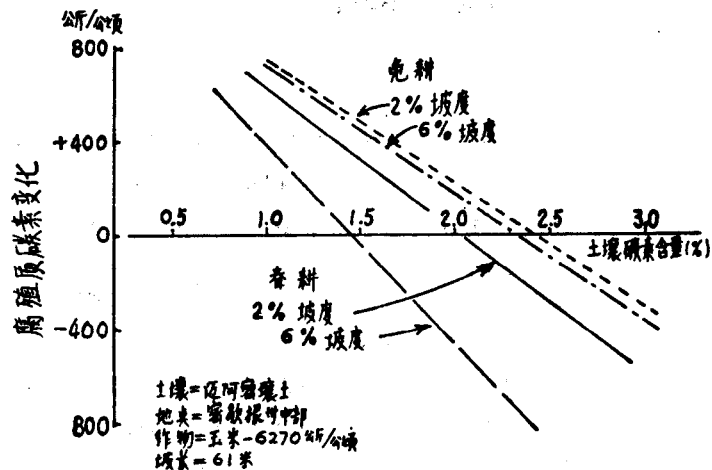


图 2 腐殖质年变化与土壤坡度、耕作方法和土壤碳素含量的关系

二、土壤含碳量的变化

我们采用附录中的数字公式来表示影响土壤含碳量各因素之间的关系 (参阅附录)。图 2 中所列数字, 就是用这些关系式计算出来的。

图 2 说明的是连作的粒用玉米贮碳水平对土壤含碳量的影响。图中腐殖质碳素变化线与土壤含碳量变化线相交处的水平 (零点), 表示该种耕作方法和坡度的土壤含碳量的稳定水平。如果腐殖质含量变化线大于此值, 作物贮碳水平对土壤含碳量的净影响向下移动,

腐殖质碳素变化线向右移动，直至达到稳定状态为止。在腐殖质变化线小于此值时，腐殖质碳素变化线便从相反的方向达到稳定状态。坡度为 6% 的土地，如用春耕法经营，其稳定含碳量约为 1.4%；如用免耕法经营，则稳定含碳量为 2.3%。可见从防止土壤侵蚀和保持土壤有机碳素的角度着眼，在能够实行免耕法的地方还是采用免耕法比春耕法有利。根据图 2 所示，免耕法在坡度 6% 的土地上所保持的有机质比春耕法在坡度 2% 的土地所保持的还多。

土壤腐殖质含量虽然可以改变，但如果只改变耕作方法一个方面，则它的变化过程是十分缓慢，往往要经过好多年的耕作方能实现。由于腐殖质碳素变化线可以从上也可以从下达到稳定水平，所以土壤含碳量的变化会一年比一年小（参阅图 2）。为了说明这一点，我们用图 3 来表示在四种不同情况下的土壤含碳量和时间的关系。四种情况全都假设是粒用玉米连作，土地坡度为 6%，单产保持在 6,270 公斤/公顷（100 蒲式耳/英亩）。我们假设采用两种耕作方法（免耕和春耕），并假设免耕法经营的土壤稳定含碳量为 2.3%，春耕法为 1.4%。在以上的假设情况下，土壤含碳量在逐渐达到稳定状态中，开始时变化很快，然后随着接近稳定水平而逐渐减速。春耕法达到稳定状态的速度明显地比免耕法快（实际上快将近 60%）。春耕法由于土壤流失量较大，不但使土壤含碳量变化较快，并且使土壤稳定含碳量也比较低。

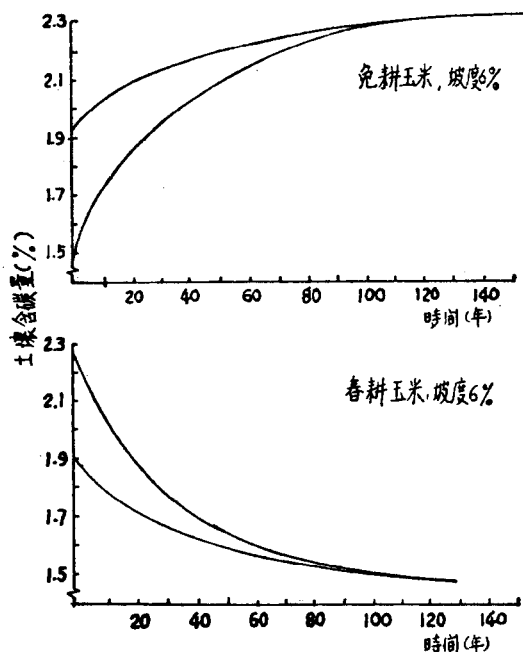


图 3 土壤含碳量的年变化

图 4 说明的是粒用玉米、青贮玉米在施用厩肥 20 吨/公顷与 60 吨/公顷时的土壤含碳量变化。每公顷单产为 6,270 公斤的玉米可生产 36 吨左右的湿青贮饲料。每公顷施用厩肥 20 吨的青贮玉米，几乎和粒用玉米的含碳量完全相同，但是，如果施入 60 吨厩肥，它的土壤含碳量就会大大提高。我们在计算时估计厩肥含碳量为 10%，而青贮玉米收获后的残茬为每公顷 250 公斤碳素。在计算土壤碳素的增加时，以青贮玉米每公顷增加 512 公斤碳素，施 20 吨厩肥的青贮玉米每公顷增加 1,112 公斤，粒用玉米每公顷增加 1,243 公斤，施 60 吨厩肥的青贮玉米每公顷增加 2,312 公斤碳素估计的。

土壤有机碳素含量还因作物残茬还田的数量而不同。从图 5 可以明显地看出，提高单产对增加土壤含碳量关系极大。密歇根州 1950 年以前的玉米单产平均在 2,500 公斤/公顷以下（40 蒲式耳/英亩）。土壤有机质损失之快，简直使人吃惊。后来由于采用了较好的耕作方法，目前玉米单产已经达到 5000 公斤/公顷左右，因此也就不难保持和提高有机质含

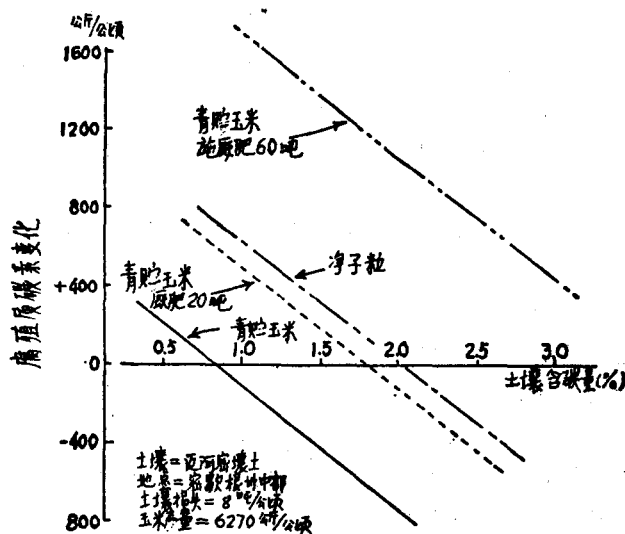


图4 粒用玉米、青贮玉米或向青贮玉米地施用厩肥情况下土壤腐殖质含量的年变化

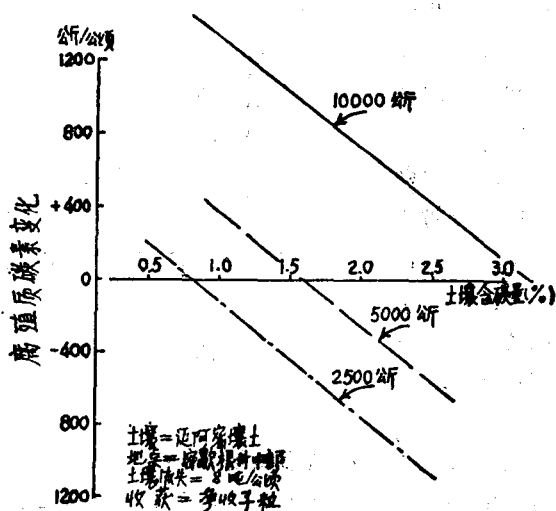


图5 土壤腐殖质含量的年变化与玉米单产和土壤含碳量的关系

量了。通过作物残茬、化肥和豆科植物向土壤供给充足的氮素同样是非常重要的。在计算中，假定土壤碳素还田量与作物单产成正比例。

图6是按几种作物的平均单产表示的各因素与土壤含碳量之间的关系。自然生长来收获的禾本科牧草线是做对照用的。由于牧草的根系很密，所以对它的产碳量可能低估。采用玉米保持土壤腐殖质相当好。收割干草的苜蓿尽管残茬还田少得多，但根量很大。由于苜蓿能向土壤供给氮素，而且能把养分供应给深层土壤，所以公认它为优良作物。

图6中保持土壤碳素最差的是大豆和菜豆。在Saginaw峡谷种植有20万公顷。豆粒

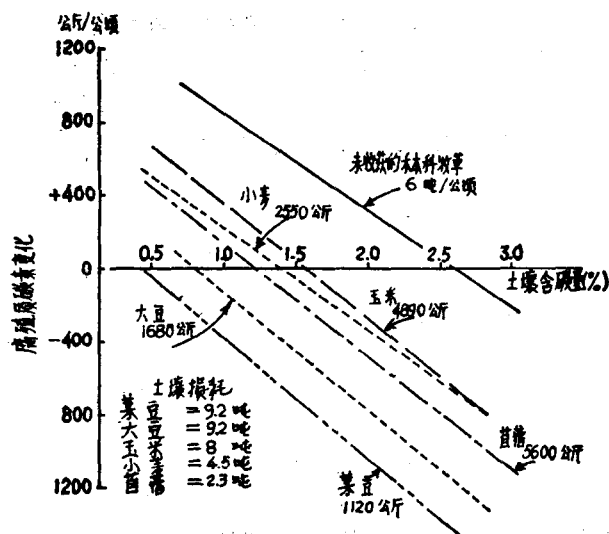


图6 土壤腐殖质年变化与作物生长和土壤含碳量的关系 (密歇根平均产量)

显而易见，如果图6提供的资料准确可靠，在菜豆—糖用甜菜地区的土壤板结和有机质衰减严重的问题就不难理解了。类似的情况在密歇根州 Monroe 县也存在，那里大豆种植面积比菜豆多一倍。菜农们由于土壤碳素还田量很低，也同样面临着土壤结构问题。

三、对作物单产的短期影响

有些土壤拥有高产的自然能力。这种能力称作产量潜力。某一特定生长季的产量，一方面受气象等不能控制的因素影响，另一方面还受一些人类可以控制的因素，如施肥和耕作措施的影响。产量潜力是指平均单位面积产量。在可控制因素未起限制影响时，这种产量是可以指望的，即是说，在通常的气象条件下，产量潜力可以提供最高的单产数字。

在非灌溉条件下，土壤含碳量是产量潜力的一个重要的决定因素。Mokma 等人在密歇根州玉米产区收集了一些土壤样本，测定了它们的含碳量。我们拿这些土壤的含碳量同该州主要土壤类型提供的单产数字进行了比较。土壤类型主要有三大类(粘土、粘壤土和壤土)，我们按各种土壤的含碳量与其单产目标分别绘制成图。通过这些图，我们估计了三种土壤类型在含碳量为 1.16% (2% 有机质) 时的产量潜力。全部资料都按含碳量为 1.16% (有机质 2%) 时的产量潜力分类，并使之与土壤含碳量相对照 (表 2)。图 7 是标准的产量潜力 (表 2 第 5 栏) 和土壤含碳量 (表 2 第 3 栏) 的关系。尽管我们不能推测资料范围之外的因素的相互关系的性质，但在现有资料范围内的明显的线性关系却是一目了然的。斜线表明，土壤含碳量绝对值每增加 1%，产量潜力就相应增加 21.1% (与 1.16% 含碳量的产量潜力相比较)。这种相互关系是在总平均的基础上计算出来的，因此对具体情况很可能是十分准确的。

产量潜力除对预期单产数规定一个最高限额之外，还与施肥效果有重要关系。为了说明这一点，我们绘出了含碳量与玉米施肥效率的关系图。尽管在田地里任何一点都能做出