

长期农业管理对土壤碳的影响

重点：

土壤 C 水平可以通过两种土地管理措施来提高：

- 1) 通过作物轮作制度、种植覆盖作物、施用有机肥或提高年生产力来增加有机质的投入；
- 2) 通过控制侵蚀和减少耕作来减少有机质的损失。

应用这两种方法中的任何一种可以减少或停止连作导致的土壤碳流失，但这两种方法必须(几乎总是)一起使用以增加土壤碳水平。

长期农业管理对土壤碳的影响

土壤中碳的封存近来引起了人们的关注，因为它具有减缓全球气候变暖的潜力(Lal et al., 1999)。然而，土壤碳(C)对作物生产力和土壤质量也具有重要的价值。由于在其他生物、化学和物理过程中的作用，土壤C是土壤质量最重要的指标。长期实验已经表明，粪肥、适当的施肥的作物轮作对土壤C的有益处。然而，即使通过肥料和作物轮作，传统耕作制度通常会导致土壤C的稳步下降。下降速率和大小受种植序列、耕作系统、土壤、气候和温度的影响(里夫斯, 1997)。

土壤有机质中碳含量约为 58%。土壤有机质的转化可以用本技术备忘录中的土壤C值除以 0.58 或乘以 1.72 来计算。

本技术备忘录将检查(1)长期种植试验中的碳动态和(2)保护性耕作和高生物量作物轮作对土壤C的联合效应。这些研究表明了减少耕作和增加生物量投入的重要性。

长期轮作试验

Morrow 试验点

长期轮作的结果是一些对土壤C的农业效应最好的记录。1876年建立的伊利诺斯州莫罗试验田是美国最古老的连续农业试验田。Morrow试验的记录显示，与玉米-燕麦-豆类轮作相比，单作玉米的产量持续下降。1944年，我们分析了莫罗地块和周边草皮边界线上的土壤C(表1)。假设边界线上的土壤C代表1876年的原始土壤C，即使在最佳管理措施下，土壤C也已大幅退化。

Sanborn 试验田

密苏里州桑伯恩地区(始于1888年)的长期试验田也显示出与莫罗试验田类似的趋势。在100年的连续耕种后，玉米连作、又没有改良剂的情况下，平均土壤碳含量为0.58%；施氮磷钾肥的平均碳含量为1.1%；年施6吨厩肥/英亩(1英亩=6亩)的平均碳含量为1.3%。类似的处理下连作小麦，C分别为0.81、1.28和1.6% (Brown, 1993)。

Magruder 试验点

1892 年，俄克拉何马州的 Magruder 地块开始了对小麦的长期连续研究 (Webb et al., 1980)。土壤 C 在前 35 年迅速下降，随后 52 年逐渐趋于某种稳定。从 Magruder 小区得到的一个重要教训是，即使添加肥料，在耕作的单一小麦栽培下，土壤 C 水平也不可持续(表 2)。

Pendleton, OR

1931 年，在俄勒冈州彭德尔顿附近开始了一项关于小麦休耕系统的长期研究。该地块从 19 世纪 80 年代就开始耕种了。随着产量的下降，一年制作物已经让位给小麦休耕制。研究中的 9 个处理分别为：10 吨/英亩的粪肥；一吨/英亩的豌豆藤渣；0、40 和 80 磅/英亩的氮肥，有或没有秸秆春季燃烧；和 0 磅/每英亩的氮肥，秋天燃烧秸秆。除了粪肥处理外，深 12 英寸处的土壤 C 从 1931 年的水平一直下降，几乎没有证据表明未来会达到稳定水平。虽然有机肥处理不会使土壤 C 流失，但耕作和休耕期可能会阻止土壤 C 的任何增加。

表 1。作物轮作和粪肥对土壤 C 的影响。在莫罗地块，伊利诺伊大学。1944 年采样 (Odell et al., 1982)。样本深度为 6 又 2/3 英寸。

作物轮作和修正	有机 C (吨/英亩)
东部草皮边界 (无处理)	37.8
西部草皮边界 (无处理)	32.0
玉米-燕麦-苜蓿，加粪肥、石灰、磷	31.2
持续玉米 (没有修正)	16.6

表 2。Magruder 地块单一栽培小麦的土壤 C 趋势，俄克拉荷马州立大学

处理	1892 年原始 土壤 C%	1927 土壤 C%	1979 土壤 C%
不施肥小麦	2.0	1.0	0.64
施粪肥的小麦	2.0	1.6	0.87

在耕作条件下能保持土壤碳水平吗？

在爱荷华州研究表明，如果生产了足够多的玉米残渣(5352 磅/英亩)，并使用犁板翻土，土壤 C 可以保持在典型的单铧犁上(Larson. , 1972)。然而，在连续种植多年玉米后，本研究中的土壤碳水平维持在 1.8%的平衡水平附近(Reeves, 1997)。类似的天然草原土壤碳含量约为 4.0% (Robinson et al. , 1996)。即使在彭德尔顿的例子中，每年 10 吨粪肥被添加，而且没有秸秆焚烧，耕作阻碍了土壤 C 的大幅增加。在凉爽湿润气候下，耕作对土壤的影响小于在温暖湿润气候下。因此，长期研究表明，连续耕作和行栽作物生产从原生植被的土壤 C 水平降低了。当土壤 C 降低到一个较低的平衡水平后，如果修正和残渣的 C 返回量等于或超过因分解而损失的 C，则常规耕作可以维持在较低的 C 水平。

保护性耕作

以上综述的长期试验比较了在常规耕作系统下几种作物轮作和施肥处理。本节将回顾其他记述保护性耕作制度下碳变化的长期研究。它们表明，单独的保护性耕作将减缓土壤 C 的分解，但不能阻止或逆转 C 的损失。**为了增加或封存土壤 C，必须添加来自作物残留物、覆盖作物和/或肥料的 C 源。**

加拿大

在半干旱的萨斯喀彻温省，在粉质壤土上小麦连作下免耕，土壤 C 有所增加，但小麦-休耕制下土壤 C 没有增加(Campbell et al. , 1995)。小麦-休耕模式下，不同耕作方式间差异不显著。然而，在一项为期 11 年的有关粘土秸秆燃烧的研究中，耕作阻碍了土壤 C 的大幅增加。耕作对寒湿气候土壤的影响小于暖湿气候土壤。因此，长期研究表明，连续耕作和行栽作物生产降低了土壤 C 水平。当土壤 C 降低到一个较低的平衡水平后，如果修正和残渣 C 的返回量等于或超过因分解而损失的 C，则常规耕作可以维持较低的 C 水平(Campbell et al. , 1996)，种植频率并不影响土壤 C。连续种植小麦和小麦休耕系统的土壤 C 在免耕下都增加到了 6 英寸深度(11 年 4,465 磅/英亩)。常规耕作下连续小麦种植处理也显示土壤 C 增加到 6 英寸(11 年 1786 磅/英亩)

深度。只有常规小麦-休耕系统(在休耕期采用扫描中耕机和杆式中耕除草机三种耕种方式)没有表明,在粘土中土壤碳含量有显著提高。在研究的最后四年中,土壤 C 的增加主要发生在生长良好的季节。据推测,土壤高粘粒含量和良好的生长条件是造成不同种植频率土壤碳含量差异的原因。

南德州中部

在德克萨斯州中南部,在免耕制度下,种植强度增加了土壤碳含量,但在常规耕作下却没有增加(Franzluebbers et al., 1994)。作物种植强度定义为:作物种植年限的分位数

连续小麦=0.5 年

小麦-大豆双作物=0.65 年,

小麦-大豆-高粱轮作=0.88 年

免耕 9 年后,连作小麦系统土壤 C 水平提高了 9%,小麦-大豆系统提高 22%,小麦-大豆-高粱系统提高 30%。无论种植强度如何,常规耕作不会增加土壤 C 水平。

Crossville, 阿拉巴马州

在阿拉巴马州的细沙壤土上,进行了一项为期 10 年的研究,比较了轮作条件下保护性耕作与常规耕作:(1)连作玉米-小麦覆盖、(2)连作大豆-小麦覆盖、(3)玉米-小麦覆盖、大豆-小麦覆盖。在种植多年的土地上,0-6 英寸的初始土壤 C 为 0.58%(表 3)(Edwards 等, 1988)。

在免耕系统的表层 4 英寸土壤中,土壤 C 从 0.58%上升到了 0.90%(8309 到 11499 磅/英亩)-相比传统的耕作种植系统土壤 C 增加了 55%。在本研究中,保持常规耕作系统土壤碳含量和提高免耕系统土壤碳含量的关键,是覆盖作物的使用。在高分解率的湿润地区,轮作玉米也增加了土壤 C。

Pierre, 南 Dakota

自 1987 年以来,南达科他州皮埃尔达科他湖泊研究农场的研究表明,作物多样性和作物强度对土壤 C 水平有重大影响。该研究比较了几种轮作系统,本文将重点介绍其中三种轮作系统。三种免耕制度是:(1)小麦休耕制度,(2)

三年轮作(冬小麦-玉米-豌豆)，(3) 四年轮作(春小麦-冬小麦-玉米-向日葵)。1994 年是干旱的一年，3 年轮作制比小麦休耕制增产 4 蒲式耳/英亩。四年轮作制比小麦休耕制多生产 5 蒲式耳/英亩的小麦。在 1995 年，一个多雨的年份，三-四年轮作制比小麦休耕制分别多生产 10 蒲式耳/英亩和 6 蒲式耳/英亩的小麦(Beck 等人，1998 年)。另一种小麦作物之间有三年间隔的轮作(冬小麦-玉米-大豆-豌豆)比小麦休耕制多出 14 蒲式耳。凉爽和潮湿的季节加强了长时间轮作的产量优势，特别是在免耕系统中。Reeves(1997)通过回顾几项研究，证实了作物轮作的优势，这些研究表明，作物多样性和轮作在免耕中比常规耕作更有效地提高生产力，因为轮作减少了潮湿地区的病害，提高了半干旱地区的水分利用效率。

表 3。在 Crossville, AL (Edwards et AL ., 1992)，不同耕作方式和作物轮作 10 年后土壤 C 不同深度的变化。

作物轮作	土壤深度 (英寸)	传统耕作 土壤 C%	免耕 土壤 C%
大豆 小麦覆盖	0-2	0.57	0.93
	2-4	0.56	0.88
	4-6	0.58	0.58
	0-6	0.57	0.80
玉米 小麦覆盖	0-2	0.62	1.20
	2-4	0.62	1.06
	4-6	0.58	0.63
	0-6	0.61	0.96
玉米 小麦覆盖; 大豆 小麦覆盖	0-2	0.59	1.07
	2-4	0.58	0.93
	4-6	0.52	0.51
	0-6	0.56	0.84

结论

农民可能会也可能不会看到通过碳封存来减少温室气体的财政激励，但改善土壤碳总是有其他好处，包括提高生产力和土壤质量。在过去的一个世纪里，连续耕作土地上的土壤 C 水平大幅下降。这种下降至少在一定程度上是可以逆转的，同时还能使土地继续用于农业生产。土壤 C 水平可以通过两种土地管理措施来提高：1) 通过作物轮作制度、种植覆盖作物、施用有机肥或提高年生产力来增加有机质的投入；2) 通过控制侵蚀和减少耕作来减少有机质的损失。应用这两种方法中的任何一种可以减少或停止连作导致的土壤碳流失，但这两种方法必须(几乎总是)一起使用以增加土壤碳水平。气候对决定土壤 C 的损失率很重要。例如，在凉爽潮湿的气候条件下，减少耕作就不那么重要了，因为低温可以减少土壤 C 的损失率，而充足的水分可以提高生产率。环保主义者应该让他们的客户明白，增加土壤碳含量是有价值的，而且在农业环境下是切实可行的。但是，为了增加土壤碳含量，而不仅仅是减少碳含量的下降，大多数土地管理者必须减少耕作和实行作物轮作，以提高年生产率。