

土壤健康视角下农业绿色发展路径探索

冉耀霖¹

(1. 武汉市自然资源保护利用中心, 武汉 430000)

摘要: 随着全球日益增加的人口与环境承载力之间的不平衡, 粮食安全、绿色农业成为未来的发展焦点。土壤作为农业发展最基础的自然资源, 健康的土壤不仅可以抑制病虫害、增加产量、改善作物质量, 其中的有机质还能起到固碳减碳的作用, 能够缓解气候变化的环境压力, 对绿色农业发展有着重要意义。本文从土壤健康的角度, 探讨了城乡二元结构、化学制品以及工业集约型农业对土壤健康的威胁, 并通过理清农业发展历程和土壤利用方式之间的关系, 探索未来农业绿色发展的方向。最后, 本文对国内外多个机构的实践做法进行分析总结, 以为土壤健康与绿色农业协同发展提供转型思路。

关键词: 土壤健康, 绿色农业, 农业实践

冉耀霖. 土壤健康视角下农业绿色发展路径探索. 生物多样性保护与绿色发展. 第1卷, 2024年6月, 总第64期. ISSN2749-9065

前言

目前, 气候变化、生物多样性丧失和流行疾病日益频繁地威胁着人类。为了增加粮食产量、提高农业耕作效率, 以及降低农产品生产成本、促进贸易和交换, 绝大部分传统农业以及粮食供应不得不依赖于化学药品和化石燃料, 以及森林砍伐、围湖造田等破坏环境的行为。

然而, 生存和发展永远是辩证的关系。根据联合国粮农组织(FAO)的数据, 在2000年至2020年期间, 世界营养不良的人口数量下降了

17.2%^[1], 这说明集约化农业的发展也有积极的一面, 但在减碳和绿色发展背景下, 集约化农业亟待转型。如何能在环境友好的前提下, 依旧满足人们日益增长的美好生活需求?

土壤作为农业发展最基础的自然资源, 近年来越来越受到人们的关注, 健康的土壤具有充足的矿质养分、足够的根系深度、促进生长的微生物、较低的害虫和杂草压力以及对土地退化的抵抗力和恢复能力, 可以抑制病虫害、增加产量、改善作物质量。土壤健康对发展绿色农业有着重要意义。



1 威胁土壤健康的主要因素

1.1 城乡二元结构下的乡村土壤退化

中国城镇化经历了高速发展的20年，在城乡二元结构体制下，国民收入分配结构上出现严重的城市偏向，城市居民的收入增长速度明显快于农村居民。这种二元结构导致了产业结构和布局不合理、城乡分工不明确、城市的带动和辐射作用不明显，在城市“虹吸效应”下，出现了乡村人口收缩、农村“空心化”现象，致使土地撂荒、耕地土壤功能退化，“非粮化”已成为偏远乡村地区的普遍现象，土地综合治理利用有待加强。

1.2 化学制品使用让土壤变为惰性的介质

化石燃料和机械工具的规模化使用，改变了农业的发展方向。通过施用化肥，搭建大棚、采用更优的灌溉技术，农作物逐步摆脱土壤和气候的影响因素。根据这种“进化模式”而培育、繁殖、分类和选择的农作物和动物，变得非常依赖外在的投入条件。简而言之，种植它们的土壤是否健康、气候是否适宜并不重要，因为外部投入弥补了缺陷。通过使用各类化学元素，获得了较高的作物产量，以相对较低的成本，在经济上实现非常高的生产水平。但这种农业系统不

仅会对环境造成负面影响，也使得土壤的生产力产生了局限性和脆弱性，让土壤从动植物生产的源头变成了一种惰性的介质。

1.3 工业集约型农业模式加剧土壤环境污染

工业集约型农业下，农作物的生产完全脱离当地的气候和土壤环境，光合作用可以被“人工手段”取代。通过生产短期效率的农作物，形成了农业上游供应商和下游分销商的产业链，同时工业集约型畜牧业下，为了满足人们对肉类和动物产品（如牛奶、奶制品、皮革）日益增长的需求，农场的动物几乎从来没有进入自然田野，而是在厂房里喂养富含蛋白质和脂肪的浓缩饲料。当这种农场高密度存在时，养殖产生的大量含硝酸盐的泥浆一旦处理不当，会渗入河流和地下水，加剧地方土壤环境污染。

2 土壤利用与农业发展历程

2.1 土壤自然循环与固碳过程

光合作用和呼吸作用使物种之间产生联系、相互依赖。光合作用通过光能、二氧化碳（ CO_2 ）、水（ H_2O ）产生糖和氧气，呼吸作用通过氧分子（ O_2 ）燃烧糖，将其转化为二氧化碳（ CO_2 ）和水（ H_2O ），从而释放能量。



在完美平衡的生态系统中，呼吸作用被所有有机物利用，例如被捕食者、食腐动物或微生物。在这个过程中氧和碳循环处于平衡状态，没有过剩。但较小规模的生态系统通常不平衡。一方面，多余的氧气被释放到大气中；另一方面，有机物逸出，不被氧化，并通过沉积或石化将碳储存到土壤中。例如泥炭地，它在潮湿的土壤中储存了大量的植物残留物，只有部分积累的有机物被氧化，其余部分沉积并融入沉积物中，在没有氧气的情况下被保存。这种死亡生物量所含的碳是“活”生物量的两倍。经过数百万年地质时间的积累后，演变为煤炭、石油和天然气等化石燃料矿藏。

2.2 农业发展与土壤利用关系

2.2.1 自然气候与土壤条件利用，农业地理格局形成

目前已知的最早的农业起源于大约 1.2 万年前的新石器时代，在被称为“肥沃新月地带”的近东地区种植植物和驯养动物作为食物。在农业发展早期，作物生长遵循气候和土壤条件，形成了具有不同地域特色的农业系统。

从公元前 9000 年开始，近东农业向各个方向扩展。公元前 6000 年，以玉米为基础的中美洲农业在南美洲和北美洲发展起来；以木薯的块茎

为基础的新几内亚农业则在印度尼西亚和太平洋岛屿发展起来；公元前 4000 年，中国农业传播到南亚和东亚各地。这一时期，我国也形成了北方黄河流域的旱地粟作农业和南方长江流域的水田稻作农业两大农业系统^[5]。

大约在公元前 5000 年-2500 年，农业的发展带来人口的增长和城市的繁盛。近东的数学和天文学传到了印度河流域和中国，印度河流域的灌溉技术和中国的丝绸生产技术也传到了近东，世界农业地理格局初步形成。

2.2.2 毁林开荒与焚烧沃土，土壤退化和生物多样性丧失

随着人类生产活动的增加，对耕地的需求量激增。可用于耕种的土地是有限的，故通过砍伐树木和焚烧的方式来开垦土地。砍伐和焚烧后，土地被灰烬肥沃，可耕种一到两年，再休耕 25 到 30 年。在此期间，一个生物多样性较少的次生森林会取代原生的原始森林，周而复始。这种技术至今仍在非洲、南美洲和亚洲的部分地区使用。

据估计，在公元前 8000 年到公元前 3000 年之间，人类人口从 500 万增加到 5000 万，这大大增加了为粮食生产而砍伐森林的面积。同时，



随着农业技术的进步,人类开始在城市周围建立村庄和城市,导致了更多的森林被砍伐。当在同一块土地上反复焚烧时,森林没有时间恢复土壤,就会造成土壤退化,生产力达到极限。肥沃土地的缺乏与人口的增长,共同导致持续了几个世纪的粮食危机。

在欧洲,森林砍伐导致的土壤退化和生物多样性丧失造成了公元500年到公元1000年间所谓的“黑暗时代”。这段时期是欧洲历史上最黑暗的时期之一,因为战争、疾病和饥荒导致了人口的大量减少。目前,世界上的一些发展中国家,仍通过焚烧和控制植被来提高耕地的肥力。森林砍伐导致的土壤退化和生物多样性丧失对人类和地球的未来构成了重大威胁。

2.2.3 土地轮作与自然培肥,可持续农业初步发展

公元前3000年左右,农民开始采用轮作模式养地。轮作是用地养地相结合的一种措施,指在同一田块上有顺序地在季节间和年度间轮换种植不同作物或复种组合的种植方式,有利于均衡利用土壤养分和防治病、虫、草害,有效改善土壤结构,调节土壤肥力,达到增产增收的目的。常见的轮作有禾谷类轮作、禾豆轮作、粮食和经济作物轮作,水旱轮作、草

田轮作等。另外,轮作时在田地里种植豆科植物,通过豆科植物根部的根瘤菌固定氮,从而增加土壤肥力^[3]。

综上,从农业发展和土壤利用之间的模式来看,我们不能否定传统农业,而是要改变生产方法,要促进传统农业向精准农业发展。在传统农业模式的耕作基础上,利用前沿先进的技术,例如智慧监测、物联网、传感器、无人机或GPS导航的使用,使人们能够根据植物的需求、土壤、天气条件以及病虫害、杂草的压力来微调耕作方式。通过实现更加精准的投入,控制农业生产中的成本、损失和浪费,减少对环境的污染。

3 国内外农业转型倡议与实践

3.1 “千分之四”土壤增碳计划

如果我们能够在全球范围内每年在地表40厘米的土壤中将碳储量增加0.4%,理论上讲,可以抵消人类活动当年的净碳排放量——即总排放量减去自然环境(森林和海洋)的碳吸收量^[1]。虽然这一计算是理论性的,但它确实说明了通过农业和林业储存碳的巨大潜力,以及这两个领域在应对气候变化方面所能做出的巨大贡献。

基于这一全球计算,“4 per 1000: Soils for Food Security and



Climate”国际倡议应运而生。2015年12月，法国在巴黎主办《联合国气候变化框架公约》缔约方大会期间，利用这一机会改变了农业在气候谈判中的形象。为了实现这一目标，需要采取包括改善土壤质量、保护生物多样性、减少农业对环境的影响等措施，并提出了4大愿景：一是推广农业生态耕作方式，以提高土壤的碳储存和固存能力，改善土壤健康；二是为应对气候变化做出贡献；三是帮助农业和林业适应正在发生的气候变化；四是改善全球粮食安全^[1]。

从2015年到2022年，来自世界各地的近700家合作伙伴和成员——包括国家、国际组织、基金会、银行、研究和教育机构、非政府组织和各种规模的私营公司加入了这一倡议，通过政策支持和国际合作，以确保这一倡议的有效实施。

3.2 生态农业发展倡议

生态农业是一个通用术语，涵盖了各种旨在优化植物、动物、人类与环境之间协同发展的实践。要发展生态农业，不仅需要政策、教育、研究和推广等的社会环境，还需要支持性的市场环境，以确保农民能够获得公平的收入，并有足够的动力继续投资于生态农业。

总的来说，生态农业是一个不断发展的领域，它需要持续的创新和合作，以应对全球环境挑战。通过与农民、科学家、政策制定者和消费者的合作，实现可持续发展的未来目标。在这个未来中，农业能够为所有人提供健康的食物，同时保护自然资源和生态系统。为此，FAO高级粮食安全与营养小组提出了13项生态农业原则，从生态系统和社会系统两个方面阐述了生态农业倡议理念。

在自然环境构建上，优先使用当地可再生资源，尽可能闭合土壤营养和生物质循环，通过有机物质管理和土壤生物活动的加强，改善土壤健康和功能，支持植物生长，保护和提高物种多样性、功能多样性和遗传资源，维持农业生态系统在时间和空间上的可持续性，促进农业生态系统各组成部分（动物、作物、树木、土壤和水）之间的积极生态作用、协同效应。

在社会环境构建上，加强合作创新和知识共享，特别是通过农民之间的交流，确保小农有着更大的财政自主权和更多的收入来源，在贸易、工作条件和知识产权上被平等对待。加强机构架构，推广分销渠道，将农产品融入当地经济，创造生产者 and 消费者之间的信任场景，并鼓励多方社会



组织和食品机构参与当地生态农业的去中心化治理和管理。

3.3 土壤保护性农业实践

土壤保护农业（SCA）起源于水土流失严重的地区，旨在保护土壤，主要目标是通过增加有机质、增强生物多样性和改善土壤健康来减少对土壤生物多样性的干扰，从而对抗土壤退化。

从1930年到1940年，一系列的尘暴袭击了美国和加拿大的平原，摧毁了庄稼，翻起了土壤，掩埋了田地、农用设备和建筑物，让整个地区被尘土笼罩。这场灾难是由一系列严重干旱引起的，此前该地区经历了异常的降雨量，并进行了过度耕作、翻耕和长时间的裸露土地且未采取任何防止水土流失的措施。在政府援助项目的鼓励下，美国农民迅速改变了他们的做法。一种解决方案是采用交替式犁铧和犁尖的等高线耕作，另一种是带状间作，沿着山坡种植不同作物或加入休耕带。

于是在20世纪50年代，通过有效地控制杂草，不耕作直接播种的免耕法便应运而生。播种是在现有植物覆盖层上进行的，无需翻耕，因此需要开发适应性播种机。这些保护性措施大大减少了美国的土壤侵蚀。对农民来说，尤其是在大型农场上节省燃

料、简化工作、节省时间这些优点也凸显出来。

最早提及保护性农业是在墨西哥举行的FAO简化耕作技术（SCT）会议上。直到2008年，FAO才正式将其定义为“一种可以防止可耕地流失、同时恢复退化土地的农业体系”。在法国，可持续农业推广协会（APAD）是全球保护性农业网络（GCAN）的法国代表。2020年1月，APAD推出并实施了第一个旨在保护土壤的自管理认证系统，名为“Au Coeur des Sols”。

获认证农场的农民需遵循联合国粮农组织认可的土壤保护农业三原则：

一是减少翻耕。即减少机械翻耕，直接在前作物的残留物上种植新作物，有利于蚯蚓等土壤生物自然生存的同时，可以保护土壤免受侵蚀。

二是保持性植被。即通过在田间种植覆盖作物或植被来保护土壤，防止沙质土壤的硬化现象。

三是作物轮作。即通过在不同作物间轮换种植来保持土壤肥力。

通过这三个原则，可以将更多的碳固定在土壤里，那么，被封在土壤中的二氧化碳会不会未来某一天再变成碳源？想要回答这个问题主要



看两个影响因素：一是自然因素，二是人为因素。自然因素主要包含太阳的辐射、土壤的类型、年降水量、温度等条件；人为因素主要是指农民所施的农药化肥、温室大棚用的农膜、拖拉机等机械使用的柴油……其中人为因素是影响土地碳源和碳汇能力的主要因素。

实践显示，化肥用得越多，土壤里的微生物被杀死的就越多，土壤固定二氧化碳的量就越少。生了病的土壤将再也不能封存碳，会重新把它们释放出来。与此同时，如果频繁使用农膜和农业机械的话，也会增加碳排放。常用的方法为农田免耕、秸秆覆盖，可以缓解土壤的危机。也就是说，越用接近、回归自然的方式来对待耕地，越能保护我们脚下的土地，要给土壤以休养的时间。

2016年，全球采用保护性农业的土地面积估计为1.8亿公顷，比2009年的1.06亿公顷增加了69%，约占全球谷物面积的25%^[1]，这对于未来农业与土壤利用的转型具有相当重要的意义。

3.4 “双碳”目标下的国内实践

2021年10月，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》，提出乡村振兴要落实绿色低碳要求，其中包括：推进农业农村减排固碳；大力发展绿

色低碳循环农业，推进农光互补、“光伏+设施农业”、“海上风电+海洋牧场”等低碳农业模式；研发应用增汇型农业技术；开展耕地质量提升行动，实施国家黑土地保护工程，提升土壤有机碳储量；合理控制化肥、农药、地膜使用量，实施化肥农药减量替代计划，加强农作物秸秆综合利用和畜禽粪污资源化利用^[6]。

在“双碳”背景下，为应对东北黑土地由于高强度开发和用养失衡，土壤流失、风蚀和水蚀严重、土壤厚度减少、有机质含量下降等问题，帮助黑土地重获健康，中国农业大学和中国科学院等团队创建了一套适合中国国情的玉米秸秆覆盖栽培技术，即“梨树模式”，以玉米秸秆覆盖为核心，建立了秸秆的覆盖、免耕播种、施肥除草、防病及收获全程的机械化技术体系，解决了东北黑土地玉米秸秆移除导致的土壤退化的关键问题。具体来说，秸秆覆盖还田这种自然方案能保持土壤的孔隙度，使其孔径分布均匀、连续且稳定，从而可以将雨水和灌溉水更多地保持在有效的土壤内。加之秸秆覆盖能有效减少土壤的水分蒸发，相当于为土壤增加了40-50毫米的降水。

实践发现，经过多年、持续的秸秆覆盖还田技术应用，表层土壤的有



机质明显增长,尤其是氮、磷、钾等微量元素,五年后土壤有机质的增幅就能达到约20%,化肥使用量也能有效减少20%。与传统耕作方式相比,“梨树模式”在蓄水保墒、培肥土壤、减少侵蚀、稳产高产、绿色生产及减少碳排放等方面有着显著成效,这种模式保水效果好,能明显减少土壤径流,防止水土流失,且耕层中的土壤有机质可以实现1g/kg的增长,土壤碳密度可以实现2.4t/ha的增幅,让东北耕地碳的储量实现大约0.4亿吨的增长^[7],有效地助力我国“双碳”目标的实现。

小结

土壤作为农业生产最基本的生产资料,发挥着重要的作用。农业在21世纪具有重要的地位,它不仅关系到人类的生存和发展,也关系到地球的未来。通过“千分之四”土壤增碳计划、生态农业倡议、土壤保护性农业实践、“双碳”目标实践等未来农业转型目标,我们可以通过土壤健康发展,促进农业发展转型以及减少温室气体排放,不仅让土壤未来恢复到适宜的有机质和碳含量水平,也为我们的子孙后代创造一个更绿色、更健康、更美好的未来。

参考文献:

- [1] Farmers have the Earth in Their Hands [M]. Paul Luu. Marie-Christine Bidault. Éditions La Butineuse. 2022.
- [2] Sadiq M. 保护性耕作对半干旱土壤春小麦农业生态系统土壤性质、产量和温室气体排放的影响[D]. 甘肃农业大学, 2023. DOI: 10.27025/d.cnki.ggsnu.2022.000365.
- [3] 蔡立群, 王娟, 罗珠珠, 等. 不同耕作条件下豆麦双序列轮作农田土壤温室气体的排放及影响因素研究[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(08): 921-930.
- [4] 王小彬, 蔡典雄, 华珞, 等. 土壤保持耕作——全球农业可持续发展优先领域[J]. 中国农业科学, 2006(04): 741-749.
- [5] 中国农村网. 文明演进之原始农业[EB/OL]. 2018. 08. 13.
http://www.moa.gov.cn/ztzl/jlh/zlzb/201204/t20120424_2610289.htm
- [6] 中国政府网. 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知[EB/OL]. 2021. 10. 24.
http://www.moa.gov.cn/ztzl/jlh/zlzb/201204/t20120424_2610289.htm
- [7] 中国经济时报. 严守耕地保护红线, 筑牢粮食安全根基[EB/OL]. 2022. 02. 23.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1725520049094045244>

