

土地利用方式转变对表层土壤理化性质的影响研究

杨全

中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心

DOI:10.32629/as.v9i8.4193

[摘要] 土地利用方式转变通过改变地表覆被与管理实践,深刻重塑表层土壤的理化属性。本文系统梳理了转变的主要类型、驱动机制及其空间分异特征,并深入分析了其对土壤容重、孔隙度、团聚体稳定性及持水入渗性能等物理性质的效应,进而探讨了有机碳、全氮、酸碱度、阳离子交换量及养分有效性等化学性质的响应规律。研究揭示了植被根系、人为管理及土壤本底等因素的协同作用机理,综合对比了不同转变方向的生态效应,阐明了土壤质量恢复的阈值与周期,最终提出可持续土地利用的调控启示,为土地资源优化配置与退化土壤修复提供科学依据。

[关键词] 土地利用转变; 土壤理化性质; 驱动机制; 土壤质量; 可持续调控

中图分类号: S153 文献标识码: A

Study of the impact of land-use change on the physicochemical properties of surface soil

Quan Yang

China Geological Survey Xining Comprehensive Natural Resources Investigation Center

[Abstract] The transformation of land use patterns profoundly reshapes the physicochemical properties of surface soils by altering surface cover and management practices. This paper systematically reviews the main types of such transformations, their driving mechanisms, and their spatial differentiation characteristics; it further analyzes their effects on physical properties—including soil bulk density, porosity, aggregate stability, and water retention and infiltration capacity—and explores the response patterns of chemical properties such as organic carbon, total nitrogen, pH, cation exchange capacity, and nutrient availability. The study reveals the synergistic mechanisms underlying the interactions between vegetation roots, human management practices, and soil background conditions, conducts a comprehensive comparison of the ecological effects associated with different transformation directions, elucidates the thresholds and cycles involved in soil quality restoration, and ultimately proposes regulatory insights for sustainable land use, thereby providing a scientific basis for the optimal allocation of land resources and the remediation of degraded soils.

[Key words] Land-use change; soil physicochemical properties; driving mechanisms; soil quality; sustainable management

引言

土地利用方式转变是人类活动对地表影响最直接的方式,它对表层土壤的物理结构、化学组成产生着巨大的影响。随着农地扩张、城镇化以及生态恢复工程的发展,土壤容重、团聚体、有机碳等重要指标都会出现明显的反应,直接影响到土地的生产能力和生态系统健康状况。然而,不同转变方向、强度及持续时间的效应差异显著,其主导因素与作用机理复杂交织。系统梳理这一研究领域,对优化土地资源配置、修复退化土壤及实现可持续利用,具有重要的理论支撑与现实指导意义。

1 土地利用方式转变的类型与驱动机制

1.1 主要转变类型划分

土地利用方式转变可以按照方向和强度来分类型。最剧烈的变化就是自然生态系统变成人工管理系统,比如森林或者草地被开垦成耕地,城市扩张造成土地硬化的现象。次级转变是发生在农地系统内部的,即大田粮食作物向高投入的设施蔬菜或者果园转变,或者水旱轮作模式的改变。还有反向的恢复性转变,退耕还林、还草工程引起的农地向林草植被的回归,退化农田的撂荒和自然演替。这几种类型的发生途径截然不同,它们给土壤系统造成的干扰程度和影响的方向也有着根本的不同,从剧烈的破坏到缓慢的恢复,形成了一条完整的生态效应谱系,也是后续研究的基础。

1.2 自然与人为双重驱动因素

土地利用转变是自然禀赋和社会经济发展相互影响所导致的。自然因素构成转变的基础限制以及潜在原因,气候变暖使高纬度地区的宜农土地边界扩大,降水格局的变化会引发旱作区转变为灌溉农业或者草地,地形、土壤本底也决定着转变的适合种类和承受能力。人为驱动力占主要地位,分为直接因素和间接因素。人口增加、粮食需求刚性的压力,促使森林、湿地被开垦为农田;市场导向之下,高附加值园艺作物取代传统粮食作物的情况越来越常见。更深层次的政策干预,即生态补偿和空间管制规划等,可以引导甚至大幅度改变土地利用的方向,从而形成宏观上的转变格局。

1.3 转变强度与空间分异特征

土地利用转变强度和空间分异受区域自然地理环境和社会经济发展阶段两方面的影响。从转变强度来说,平原和城郊交错带由于交通便利、经济活跃,常常是建设用地以及集约化农地扩展的重点地区,转变十分剧烈并且几乎无法逆转。而在生态脆弱的山地丘陵区,由于不合理垦殖和弃耕交替出现,造成强度变化大、破碎化严重的变化过程。就空间分布而言,在全球范围内存在着由热带雨林大规模的农业开发向温带传统的农区边缘土地退出所形成的地带性现象。流域尺度上转变沿水系、路网呈廊道式发展,随着海拔、坡度的变化而表现出规律的垂直分异,对土壤属性改变的空间连续性以及生态后果的传递途径产生影响。

2 对土壤物理性质的影响

2.1 容重与孔隙度变化

容重、孔隙度属于体现土壤紧实状况及通透性能的关键参数,同土地利用转变有着密切联系。森林或者草地被开垦成农田之后,由于机械碾压以及有机质输入量急剧减少,造成表土被压实,容重大幅度上升,总孔隙度特别是传导通气大孔隙的比例急剧减少。反之,退耕还林还草时容重会慢慢降低,土壤变疏松多孔。农地内部由传统的翻耕改为保护性耕作或者多年生牧草种植,可以改善压实情况,形成良好的孔隙网。容重和孔隙度的变化直接影响到土壤中水分、气体和热量的交换速度以及根系穿透的空间大小,是评价土壤结构是否健康的首要物理指标。

2.2 团聚体组成与稳定性

土壤团聚体数量及稳定性影响到它的抗蚀性以及养分固持性。自然植被转变为农田的时候,一般会伴随着大粒径水稳性团聚体的解聚,粘粒、微团聚体等分散态的比例增加,结构稳定性急剧下降,这是由于有机胶结物质迅速耗尽并且持续受到耕作扰动的结果。反之,当农地退耕恢复成多年生植被以后,丰富的根系缠绕和菌丝网络的作用,加上新鲜有机碎屑的不断加入,使微团聚体向大团聚体的胶结聚合大大加强,水稳性明显提高。评价团聚体稳定性时的平均重量直径等参数清楚地显示出了转变方向所造成的正向培养或者负向破坏的影响,属于评价土壤物理质量改善过程中的灵敏指标。

2.3 持水与入渗性能响应

土壤持水和入渗性能的反应综合表现了孔隙系统以及团聚体状态的变化。森林变成耕地的时候,由于大孔隙缩小、表土结壳等造成土壤饱和导水率和入渗速度大大降低,加大了地表径流和水土流失的风险,并且减少了有效水储量。逆转性的退耕措施可以依靠渐渐恢复起来的根系通道、动物活动孔穴和高有机质含量的海绵状结构来明显加强土壤的持水库容和水分传导能力。即使是在农地中,由于采取了秸秆覆盖、少免耕等措施,也会使入渗性能得到明显的改善。此响应同生态系统水源涵养和抗旱能力有关,属于物理性质改变的主要功能表现。

3 对土壤化学性质的影响

3.1 有机碳与全氮含量变动

土壤有机碳和全氮的变化属于土地利用方式改变之后最具有生态意义的化学变化。自然生态系统转变为农田以后,由于强烈的翻耕而破坏了团聚体的物理保护作用,使有机质迅速矿化,并且收获带走大量的生物量碳氮,造成其库容在开垦初期呈指数式下降,直到达到一个新的低水平平衡。相反,退耕还林还草以及多年生植被的形成,依靠不断地地上枯落物和地下细根周转输入,使得有机碳和全氮在土壤里再次积累起来,表现出持续的净碳汇特性。累积过程在表层最明显,它的速度同恢复年限、植被生产力密切相关,是评价土壤肥力和固碳能力的主要标准。

3.2 酸碱度与阳离子交换量变化

土壤酸碱度、阳离子交换量属于体现土壤缓冲能力的重要化学性质,受到土地利用改变的影响很大。长期施用生理酸性或者碱性的肥料,在设施农业以及集约化的种植模式中很容易造成根层土壤的明显酸化或者次生盐碱化,破坏微生物环境。植被转变经由凋落物化学组成和根际分泌物来影响pH,针叶林恢复会造成酸度增大。阳离子交换量主要是由有机胶体和黏土矿物所决定,在转化的过程中,大量的有机质被分解出来,使土壤的保肥、缓冲离子库容迅速下降,只有当有机质得到恢复的时候,才能重新建立并提高土壤的交换能力,这对于维持养分的持续供应以及减轻重金属毒性有着十分重要的意义。

4 影响的主导因素与作用机理

4.1 植被覆盖与根系作用

植被类型和覆盖率的彻底改变,就是联系土地利用变化和土壤属性演化的关键生物因素。不同的植被地上凋落物的数量、质量以及分解速度都会影响到进入土壤中的有机碳通量和养分组成,从而形成生物地球化学循环的起点。地下根系的构造形式、垂直分布深浅、周转时间都会对土壤的孔隙结构产生影响,进而影响到团聚体的形成、缠结胶结以及深层碳的输入。丛枝菌根和外生菌根这些共生真菌网的形成以及重建,大大拓宽了植物对于养分、水分的获取范围,还释放出球囊霉素之类的物质来促进团聚体的产生。所以植被-土壤的耦合演变,本质就是依靠碳分配格局和地下生态过程来推动理化性质的定向改善或者退化。

4.2 人为管理措施的干预

人工管理的土地上的农作、经营措施就是调节土壤理化性质变化速度和方向的直接手段。耕作强度和方式选择首先,翻耕可以疏松表土,但是长时间会造成犁底层硬实、团聚体破坏,免耕少耕加秸秆覆盖给稳定表层团聚体、保持土壤水分提供了一道屏障。施肥和灌溉制度决定系统养分盈余和盐基离子平衡,过多的氮肥施用是造成土壤酸化的主要原因,有机肥和化肥配合使用可以同时增加有机质和养分库容。另外休耕、轮作以及排水系统设计这些人为的控制都会影响到土壤生物活动的节律和物质转化的速度,属于趋利避害的重要可控因素。

5 结论与调控启示

5.1 不同转变方向的综合效应对比

从不同的角度来观察,得到的是完全相反的土壤效应图谱。自然生态系统向农地、建设用地转变,属于一条依靠物理结构压实、有机碳库耗竭、养分失衡所形成的生态退化之路。而退耕还林还草、保育性农作这些恢复性的转变,就构成了一个缓慢而又持久的过程,它使得土壤结构得到重新构建,碳汇能力得以恢复,并且生物活性也得以改善。本质的不同就是前者是打破自然过程占主导地位的长期平衡,造成熵增加,后者是依靠生物自组织和人为干预,使土壤系统由无序到有序、由不健康到健康的转变。这一个比较,给评价土地决策的生态损益赋予了明确的科学标准。

5.2 土壤质量恢复的阈值与周期

土壤质量的恢复不是无限增加的过程,它有阶段性的阈值和长时间的过程。恢复初期一些物理性质比如容重改善会比较快见效,但是重要的有机碳库以及团聚体稳定性这些方面,通常要经过长达十年乃至更久的时间段才会有明显的改变。土壤系统有一个由气候、母质和植被类型所决定的新生态平衡上限。试图越过这个本底阈值的强制干预效果一般不好。清楚地认识这一规律,有利于确定现实的修复目标,防止在短时间内苛求不切实际的结果,而更加耐心地依靠自然演替和适度的人工干预相结合的方法来实现。

5.3 可持续土地利用的调控方向

根据以上认识可知,可持续土地利用的调控要从源头上避免和过程中的修复。第一点就是规划上要坚守生态保护红线,保护好高碳汇、高生物多样性的自然土壤不能随便改变用途,

造成不可逆转的生态损害。第二点就是对于已经形成的集约化农业区来说,主要的调节手段就是实行保护性耕作、多种经营轮换以及有机肥培肥等措施来模仿自然系统中物质循环的过程,把土壤管理的目标由单纯追求产量的最大化转变为保持健康的土壤并促进其生产性能共同发展的模式上来。对于已经退化的土地应该按照演替规律来进行林草恢复、封育等以自然为本的方法,耐心地去重建土壤有机、生物和矿物三者结合的复合结构,从而达到长期保持土壤质量的目的。

6 结语

土地利用方式转变属于人为活动对土壤圈造成直接影响的一种表现形式,它所导致的理化效应十分明显,并且是长久性的。由自然到人工系统转变时都会造成土壤物理结构、化学养分的退化,相反方向的恢复过程就成为缓慢但是非常重要的修复过程。它的演变速度和终点是由植被、管理、本底、时间这四个因素相互影响形成的。认识其中的权衡关系以及阈值规律,就是避免过度利用、实现精准修复的理论基础。未来的土地管理不能只停留在技术层面的视角上,应该把土壤看作是有生命、有活力的共生系统,在满足人的需要和保护地球的关键带健康之间找到一个智慧的平衡点。

【参考文献】

- [1]赵先龙.不同有机肥替代比例对复垦土壤碳氮组分及水稻产量影响机制分析[D].扬州大学,2025.
- [2]付雪颖.川中丘陵区微地貌分异下不同土地利用方式土壤质量评价:以西充县为例[D].西华师范大学,2025.
- [3]李佳齐,王晓慧,何鑫,等.丛枝菌根真菌提高植物耐酸碱能力及改善土壤pH应用潜力[J].中国农学通报,2023,39(34):123-129.
- [4]孙媛媛.红壤区土地利用方式对土壤质量及微生物群落特征的影响研究[D].吉林大学,2023.
- [5]朱奕豪.废弃盐田复垦年限和不同种植模式对土壤质量的影响及其机制[D].山东农业大学,2022.

作者简介:

杨全(1995—),男,甘肃省陇西县人,本科,助理工程师,研究方向:土地资源调查。