

河北坝上植被恢复措施对土壤性质的影响

王红营¹, 郭中领¹, 王仁德², 常春平¹, 邱梦如¹, 胡国云¹

(1. 河北师范大学 资源与环境科学学院 河北省环境演变与生态建设省级重点实验室,
石家庄 050024; 2. 河北省科学院 地理科学研究所, 石家庄 050011)

摘要:从土壤理化性质变化的角度探讨了不同植被恢复措施对当地土壤环境的影响。在河北坝上康保县选取了退耕还林还草、草地围栏封育、草地植树造林等 15 组样地, 对每组样地进行了土样采集分析。结果表明: 不同植被恢复措施均能不同程度地改善土壤性质。植被恢复区土壤团聚体稳定性增强, 土壤孔隙增多, 土壤容重减小; 过度放牧则使土壤更加紧实; 较高覆盖度荒地和草地能减少地表蒸发, 使土壤含水量增加, 乔木本身需水量大, 发达的表层土壤根系会降低土壤水分; 较高植被覆盖度能有效减弱土壤风蚀, 但乔木林下植被稀疏、地表裸露和灌木林带间距过宽则会加剧风蚀。在不考虑施肥影响的情况下, 植被恢复能不同程度增加土壤有机质、全 N 和全 P 含量, 且对 0—10 cm 土壤层的增加效果大于 10—20 cm 土壤层; 耕地由于施肥的影响, 退耕后的区域土壤全 N 和全 P 含量有所下降。研究表明, 对于改善土壤环境, 退耕还荒草地、草地围栏封育是当地相对较好的植被恢复措施; 灌木林地由于是当地物种, 应该多加栽培, 但需调整结构, 也可结合乔木林种植, 增大林下植被盖度, 增强防风保土效果。

关键词:河北坝上; 植被恢复; 土壤性质; 采样分析

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0074-06

Effect of Different Restoration Measures on Soil Properties in Bashang Area, Hebei Province

WANG Hongying¹, GUO Zhongling¹, WANG Rende²,
CHANG Chunping¹, QIU Mengru¹, HU Guoyun¹

(1. Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction,
College of Resources and Environment Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024,
China; 2. Institute of Geographical Science, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: We discussed the effects of different vegetation restoration measures on local soil environment based on the changes of soil physical and chemical properties. We selected 15 sets of sample plots in Kangbao County of Bashang Area, which include the measures of the returning cropland to forest and grassland, enclosing grassland and planting trees on grassland etc. The results from analysis of soil samples show that different vegetation restoration measures can improve soil properties at different degrees. For the restoration plots, the soil aggregates, soil porosity increased while the soil bulk density decreased; overgrazing makes the soil more compact. The abandoned cropland and grassland with higher vegetation coverage could reduce surface evaporation, which can increase soil water content; the root system of the trees inside surface soil would lower the soil moisture because the trees consumed a large amount of water. The higher vegetation coverage could effectively reduce soil erosion by wind, but the sparse vegetation within high trees and the wide gap between the shrub-line would increase the wind erosion. In the absence of fertilization, vegetation restoration could increase the contents of soil organic matter, total N and total P at different degrees, and the effect of the soil layer of 0—10 cm is higher than that of 10—20 cm, the contents of total N and total P in the soil after the conversion of farmland decreased because of excessive fertilization of farmland. The result shows that returning farmland to grassland and enclosing grassland are the better vegetation restoration measures in the local environment; the shrub should be cultivated more because it is the local species, but it should be planted combining with the arbor to increase vegetation coverage in high forest to enhance the windproof efficiency.

Keywords: Bashang area of Hebei Province; vegetation restoration measures; soil properties; sampling analysis

植被恢复措施改变了土地的利用方式,土地利用方式对土壤物理和化学性质影响深刻^[1-2],合理的土地利用方式可以改善土壤结构,而不合理的土地利用方式则会使土壤质量下降,导致土壤乃至与之联系的生态系统退化^[3-4]。因此,研究不同植被恢复措施对土壤性状的影响,可为探明土壤系统生态变化过程以及科学评估植被恢复措施的优劣提供科学依据。

河北坝上位于中国北方农牧交错带中心位置,气候要素多变,土壤基质贫瘠而不稳定,生态系统脆弱,是京津地区主要风沙源和水源地,也是我国北方重要生态功能区和京津地区重要的生态屏障区,起到阻挡北部风沙向南入侵的作用。在长期独特农牧业生产活动中,由于受“重生产轻生态”土地利用方式的影响,普遍出现土壤风蚀引起的土地退化现象。2000年以来,河北坝上区域实施了退耕还林还草和风沙源治理工程等一系列生态措施,主要生态工程措施包括乔木种植、灌木种植、草地围封、人工草地等。然而,目前河北坝上区域的生态建设研究主要集中在土壤风蚀、沙漠化治理、防风效益、土地利用/覆被变化等方面^[5-7],当地主要的植被恢复措施怎样影响土壤理化性质,以及怎样的植被恢复措施更有利于该区域土壤环境的改善等问题,尚缺乏研究。本文在对河北坝上康保县开展实地调研和试验分析基础上,研究当地主要植被恢复措施土壤理化性质的变化规律,评价不同植被恢复措施的效应和功能,为我国类似区域植被恢复与重建提供科学参考。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况

康保县地理坐标为东经 114°11′—114°56′,北纬 41°25′—42°08′,属于河北省北部的坝上地区,地处内蒙古高原东南缘,三面与内蒙古自治区接壤,是河北省深入内蒙古腹地最北端的县,全县统计人口 28.2 万人,总面积 3 365.9 km²。该区属中温带季风气候区,地势较高,大陆性气候特征十分显著。全年多受蒙古高压控制,冬季寒冷漫长,春季干旱多大风,气候条件较为恶劣。年均降水量不足 400 mm,年均蒸发量 1 762.7 mm,是降水量的 4.5 倍,年干燥度达 2.15,年均大风日数 60.4 d,干燥少雨、风大风多、热量资源不足。植被类型属于半干旱草原,由于传统农耕文化的影响,草原生态系统已被农牧业生态系统所代替,农作物为生长期 100 d 左右的春小麦、莜麦、马铃薯和胡麻等喜凉作物。该区生态环境脆弱,荒漠化严重,土壤以沙质、沙砾质栗钙土为主,结构松散、质地

较粗且肥力较低,极缺氮、磷。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集及分析指标选定 根据野外调查结果,研究区生态恢复措施主要有退耕还林、退耕还草、围栏封育、草地植树造林等。针对每种措施各选取 2~3 组样地,共 15 组样地(表 1)。每组样地在生态恢复措施前和后的地类共确定 2 个采样区。2 个采样区位置相邻,土壤类型和地形等特征一致。在每个采样区按蛇形方式选 3 个采样点,取其平均值。在每个样点分两层(0—10 cm 和 10—20 cm)进行采样,自然风干后作为待测土样。取样时间为 2014 年 4 月。

本研究选取的土壤物理性质指标有土壤硬度、土壤容重、土壤含水量和土壤粒度;选取的土壤化学性质指标有土壤有机质含量、土壤全 N、全 P 养分含量。

1.2.2 土壤性质测定 土壤表土硬度使用 TYD-1 型土壤硬度计测定;土壤表土容重采用环刀法;土壤含水量采用铝盒法;土壤粒度采用振筛法,粒径组成为 >2, 2~1, 1~0.85, 0.85~0.5, 0.5~0.25, 0.25~0.1, 0.1~0.05, <0.05 mm;有机质含量采用硫酸—重铬酸钾氧化法;土壤全 N 含量采用凯氏定氮法;全 P 含量采用氢氧化钠碱熔—钼锑抗比色法。

1.2.3 数据处理与分析 土壤颗粒的粒径及孔隙分布状况可以利用分形几何学原理^[8],通过分形维来描述,由此可进一步研究土壤的其他物理化学性状及其对周边生态环境的指示意义^[9-11]。本研究将测得的土壤样品粒度运用杨培岭等^[12]建立的基于不同粒级重量分布分维模型来计算分形维值。

利用 Excel 软件进行数据结果分析并绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤物理性质特征

2.1.1 土壤表层硬度特征 土壤硬度是指土壤对外界垂直穿透力的反抗力,反映了土壤孔隙状况及土粒间结持力的大小。如图 1 所示,退耕样地都是生态恢复措施采取后大于采取措施前的土壤表层硬度,这是因为退耕后,土地基本不再进行耕作,而耕作是使表土松软的重要原因;且作物根系分布在该层,植被恢复区交织复杂的根系使土壤硬度计读数增大。草地围栏封育样地反之,围栏外表土硬度大于围栏内表土硬度,主要是由围栏外放牧强度较大造成的,羊群踩踏使土壤更加紧实,硬度变大。而草地植树造林措施对表土硬度影响不稳定,这主要是因为乔木根系较坚硬,但植株密度较稀疏,且林下植被稀少,表土根系没有草地均匀稠密,所以测定结果也相对不稳定。

表 1 土壤取样点描述

样地编号	恢复措施	年限/a	植被状况	
			恢复措施前	恢复措施后
1—1	退耕还荒	3	莠麦留茬地	植被盖度较大约 60%，以蒿子、小话梅为主，蒿高约 60 cm
1—2	退耕还荒	4	胡麻留茬地	有放牧，生长柠条及草本植物
1—3	退耕还荒	3	油菜留茬地	盖度较大约 80%，以小话梅为主，放牧啃食较严重
2—1	退耕还乔	25	莠麦留茬地	树林靠近公路处裸露严重，林下只有较稀疏草本
2—2	退耕还乔	15	翻耕耙平地	树下凋落物较厚，多为树叶
2—3	退耕还乔	5	莠面留茬地	树下凋落物较厚，多为树叶，杨树根部分蘖
3—1	退耕还灌草	5	胡麻留茬地	人工植被逐渐被原生植被所取代，主要植被是蒿子，间或有针毛
3—2	退耕还灌草	5	油菜留茬地	灌间地表裸露、粗化现象严重，带间距 8 m，林带完整
3—3	退耕还灌草	10	油菜留茬地	灌间地表裸露、粗化现象严重，带间距 6 m，林带完整
4—1	退耕还人工草地	6	油菜留茬地	人工植被已完全被自然植被取代，几乎到达顶级群落，有放牧
4—2	退耕还人工草地	10	莠麦留茬地	人工植被已经被自然植被取代，逐步向顶级群落演替
5—1	草地围栏封育	8	植被盖度约 50%，有轻微放牧	植被盖度 80%，植被低矮，放牧严重
5—2	草地围栏封育	10	植被盖度约 60%，有放牧	植被盖度 70%，植被低矮，放牧严重
6—1	草地植树造林	40	植被盖度约 40%，典型针毛草原	树林较稀疏，林下有较薄凋落物，沙化严重
6—2	草地植树造林	30	植被盖度约 25%，植被低矮，放牧较严重	林木枯死率较高，林下植被稀疏，靠近河谷，有放牧

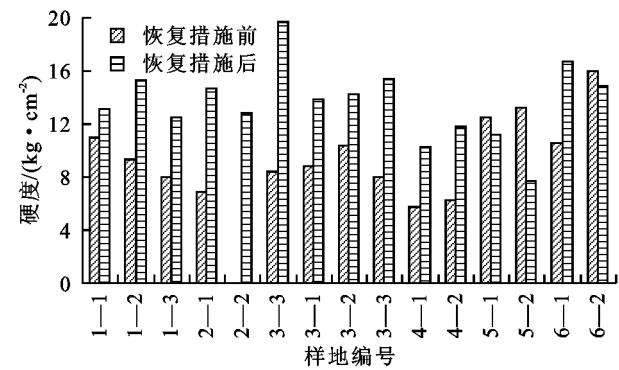


图 1 不同土地利用类型土壤硬度特征

2.1.2 土壤 0—10 cm 层容重特征 土壤容重是单位容积的土体(包括粒间孔隙)的烘干重,可作为粗略判断土壤质地、结构、孔隙度和松紧状况的指标,由图 2 可以看出,各组样地基本符合生态恢复措施采取后小于采取措施前表土容重的规律,特别是退耕还人工草地和草地围栏封育。这是因为生态恢复后地表凋落物和地下有机质增加,团聚体稳定性增强,土壤孔隙增大数目增多,从而降低土壤容重。但也有不符合此规律的情况,其中样地 1—3 主要是因为过载放牧,踩踏严重,且恢复年数较短,还处于群落演替的低级阶段;样地 2—1 可能是因为林下植被稀少且地表几乎没有凋落物;样地 3—1,3—3 主要是因为灌木林地带间距过大(8 m),带间地表裸露且风蚀严重,团聚体稳定性差。

2.1.3 土壤含水量特征 土壤含水量的影响因素众多,包括降水、蒸散、气温和太阳辐射等气象因子,盖度、植物种类、地表凋落物等植被因子,以及地形和土地利用方式等。由图 3 可以看出,10—20 cm 土层由于受外界影响相对较小,规律更加稳定。年限较短、

植被相对单一的退耕还荒措施使土壤水分含量增加,这是因为该生态恢复措施使地表覆盖度增加,减小了地表的蒸发作用;而退耕还乔、草地植树造林和年限较久达到顶级群落阶段的退耕还草措施则使土壤含水量降低,这是因为乔木林和生长旺盛的草本植物本身需水量较大,吸收土壤中水分,降低了土壤含水量;退耕还灌、草地围栏封育措施对土壤含水量的影响规律不明显。0—10 cm 层土壤含水量基本符合以上规律,但由于该层对外界影响因子响应较灵敏,规律有所波动。其中样地 1—1 和样地 2—1 受采样当天降雨影响,可能由于容重较大区域吸水能力更强,所以结果与 10—20 cm 层相反;样地 2—3 由于林地地表凋落物较厚,有效降低了蒸散作用,林地区域含水量更高;样地 2—2 林地地表凋落物较厚,但受采样当天降雨影响,耕地区域由于没有凋落物的阻挡吸水能力更强,所以含水量较高。

2.1.4 土壤粒度特征 振筛数据结果显示,康保县土壤以砂粒(1~0.05 mm)为主,含量均在 70%以上,其中细砂粒(0.25~0.05 mm)含量最高,除 3—1(退耕还灌草)此粒级含量在 45%以下,其他样品均在 45%以上。对比生态恢复措施前后土壤各粒级百分比含量结果,发现除草地植树造林样地外,其他样地生态恢复措施均可有效减少 0—10 cm 土壤层粉黏粒(<0.05 mm)的吹蚀量(表 2),减少吹蚀量的百分比含量范围为 0.87%~5.28%,平均减少百分含量从大到小为草地围栏封育>退耕还灌草>退耕还人工草地>退耕还乔>退耕还荒;10—20 cm 土壤层的各粒级含量变化不大。说明植被恢复有明显的抗风蚀效益,能够改善土壤物理结构,保土效果良好。但

草地植树造林结果相反,特别是地表无凋落物林地,表土粉黏粒吹蚀量大于相邻草地,这主要是因为林下植被稀疏,地表裸露造成的。

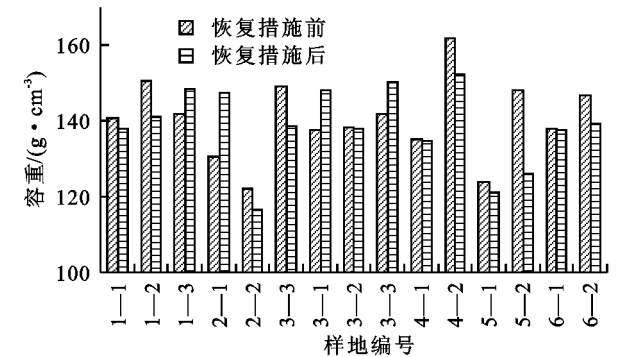


图2 不同土地利用类型土壤容重特征

生态恢复措施实施前、后不同土壤粒径结构的分形维数见表3,可以看出除草地植树造林外,采取恢复措施均可不同程度增大0—10 cm层土壤粒径结构的分形维数,各组样地分形维数提高率平均值为退耕

还荒2.42%,退耕还乔2.57%,退耕还灌草3.98%,退耕还人工草地4.71%,草地围栏封育3.72%,提高率从大到小顺序为退耕还人工草地>退耕还灌草>围栏封育>退耕还乔>退耕还荒;10—20 cm层土壤粒径结构的分形维数变化不大。土壤粒径结构分形维数随土壤质地由粗到细,呈现由小到大的变化趋势,其在描述土壤肥力特征方面具有一定的潜力^[12-13],本研究表明河北坝上的生态恢复措施能有效改善土壤结构,增加土壤细粒物质的含量,并且能有效减弱土壤风蚀量。从不同措施对分形维数的提高值和提高率看(表3),改善效果最好的恢复措施是退耕还人工草地,其后依次是退耕还灌草、草地围栏封育、退耕还乔和退耕还荒,这主要是因为当地过于干旱,不适宜乔木林生长,退耕还荒地年限较短且放牧过于严重。草地开发为乔木林地,虽然能一定程度改善深层土壤质地,但由于林下植被稀疏,地表裸露,反而会加剧表土风蚀量,在保土方面不如草地效果好。

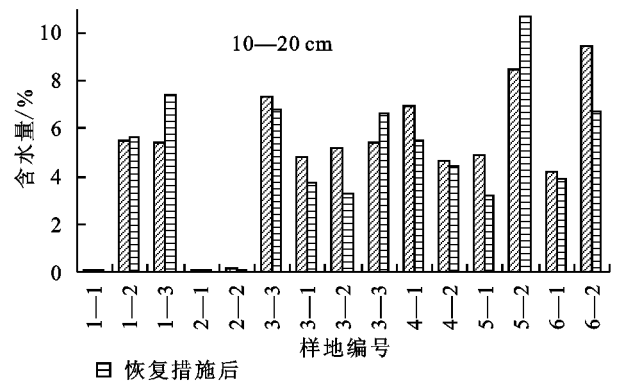
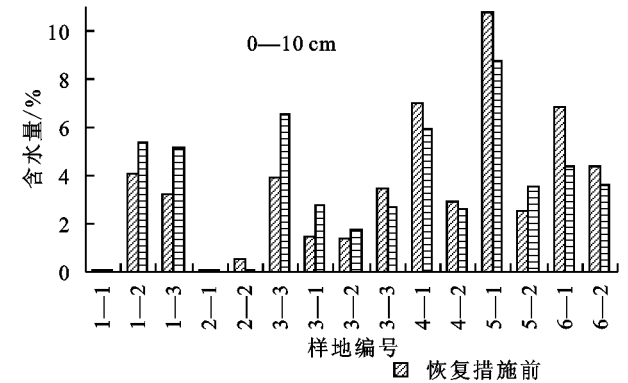


图3 不同土地利用类型土壤含水量特征

表2 不同土地利用类型土壤粉黏粒含量

土样	1—1	1—2	1—3	2—1	2—2	2—3	3—1	3—2	3—3	4—1	4—2	5—1	5—2	6—1	6—2
恢复前 0—10 cm	6.46	9.49	8.84	8.45	8.24	11.11	6.56	6.61	8.84	5.43	4.96	12.03	8.40	5.44	11.47
恢复后 0—10 cm	7.50	11.81	10.65	9.54	11.38	13.18	10.64	7.48	12.42	8.61	6.19	13.87	13.69	5.23	9.63
恢复前 10—20 cm	6.83	9.79	8.30	7.79	7.50	8.81	7.79	8.59	8.30	5.30	6.64	7.28	7.37	3.83	8.40
恢复后 10—20 cm	8.54	9.30	8.54	7.51	7.41	9.47	7.65	5.57	8.33	5.20	7.45	6.59	13.46	4.04	9.17

表3 不同土地利用类型土壤分形维数

样地	项目	1—1	1—2	1—3	2—1	2—2	2—3	3—1	3—2	3—3	4—1	4—2	5—1	5—2	6—1	6—2
恢复前	分形维值	2.21	2.32	2.33	2.32	2.32	2.41	2.24	2.26	2.33	2.20	2.16	2.44	2.29	2.17	2.38
0—10 cm	R ²	0.84	0.86	0.80	0.84	0.85	0.83	0.81	0.79	0.80	0.79	0.81	0.86	0.83	0.85	0.81
恢复后	分形维值	2.25	2.39	2.38	2.37	2.41	2.45	2.38	2.29	2.43	2.33	2.24	2.47	2.43	2.19	2.33
0—10 cm	R ²	0.86	0.84	0.81	0.85	0.86	0.83	0.81	0.80	0.77	0.83	0.80	0.87	0.81	0.79	0.79
恢复前	分形维值	2.22	2.34	2.32	2.31	2.28	2.35	2.29	2.32	2.32	2.19	2.25	2.31	2.22	2.00	2.28
10—20 cm	R ²	0.84	0.85	0.80	0.80	0.87	0.81	0.82	0.82	0.80	0.81	0.82	0.85	0.85	0.92	0.81
恢复措施后	分形维值	2.28	2.32	2.33	2.30	2.29	2.36	2.28	2.21	2.31	2.19	2.28	2.29	2.41	2.11	2.31
10—20 cm	R ²	0.86	0.85	0.81	0.83	0.85	0.82	0.83	0.80	0.82	0.81	0.83	0.87	0.86	0.80	0.80

2.2 土壤化学性质特征

2.2.1 土壤有机质含量特征 土壤有机质指土壤中含碳的物质,它包括各种动植物的残体、微生物体及其分解和合成的各种有机质。由图4可以看出,当地

土壤有机质含量普遍在2%左右,土样0—10 cm土壤层含量多大于10—20 cm土壤层含量,说明耕作和栽种植被能增加土壤有机质含量。由图4还可看出,植被措施恢复后部分土样有机质含量有所增加,其中

退耕还荒、退耕还乔木林和退耕还人工草地措施效果显著,且 0—10 cm 土壤层效果大于 10—20 cm 土壤层;退耕还灌草地由于带距过宽(8 m),带间植被生长较差,甚至裸露,土壤有机质含量比退耕前要低,但带间有植被区 0—10 cm 土壤层有机质含量增加;草地围栏封育也能增加土壤有机质含量,但效果不明

显;草地植树造林措施反而降低土壤有机质含量,可能因为该地区干旱,乔木林生长状况较差,由于多风林下少有或没有凋落物,且植被稀疏。由此可见,在增加土壤有机质含量方面,荒草地是最适合的植被类型,柠条灌木虽是当地物种,但现有的栽种模式不合理,应合理规划带间距。

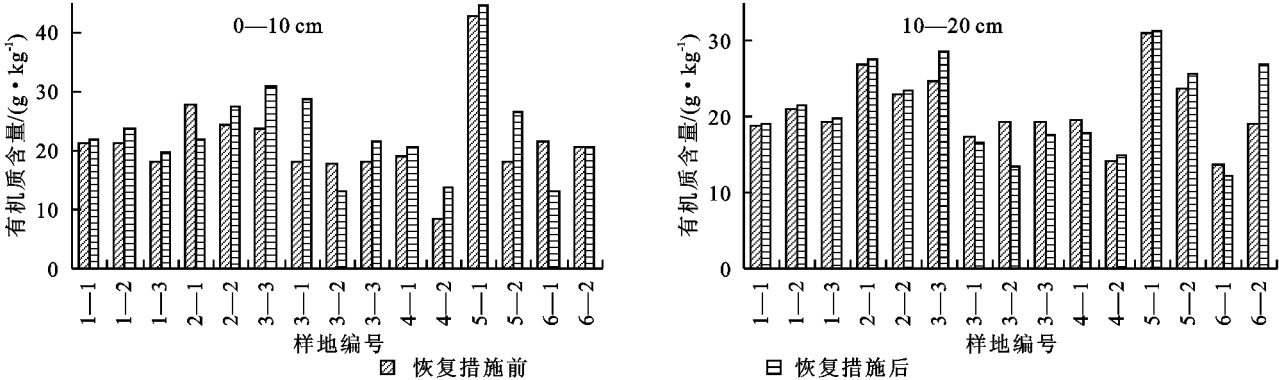


图 4 不同土地利用类型土壤有机质含量变化

2.2.2 土壤全 N、P 养分含量特征 氮、磷元素是植物生长的必需养分,体现了土壤的肥力特征。研究区土壤全量 N、P 养分含量分别为 0.44~1.27, 0.5~3.3 g/kg 变化(图 5—6)。

植被恢复措施前样地,这可能是样地恢复年限较短引起的,还有耕地施肥的干扰作用;其他植被恢复类型数据显示,能不同程度增加土壤全 N 养分含量。由图 6 可知,对耕地的植被恢复措施均未能有效增加土壤全 P 养分含量,这可能是当地施磷肥较多引起的,而草地围栏封育和草地植树造林措施均有效改善了土壤全 P 养分含量。结果表明在不考虑人工施肥的影响下,植被恢复能够增加土壤全 N、P 养分含量,且恢复年限越久效果越明显。

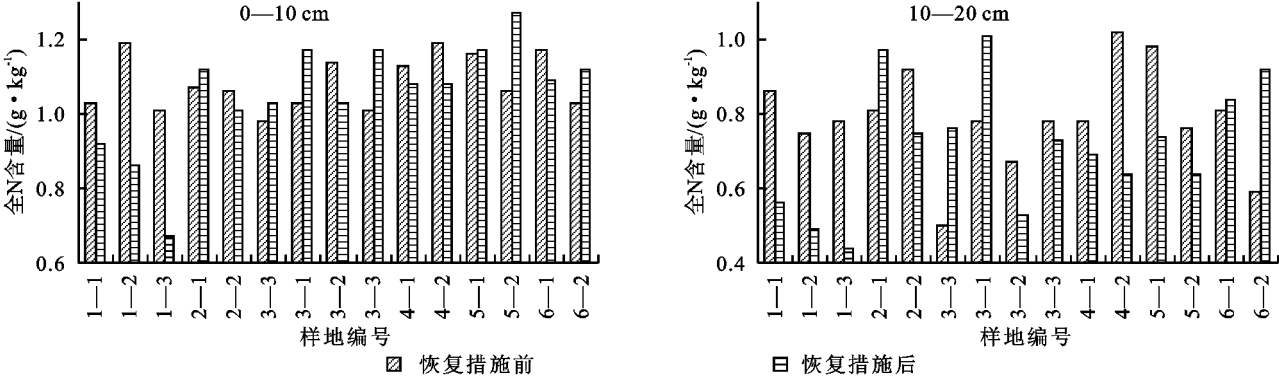


图 5 不同土地利用类型土壤全 N 养分含量变化

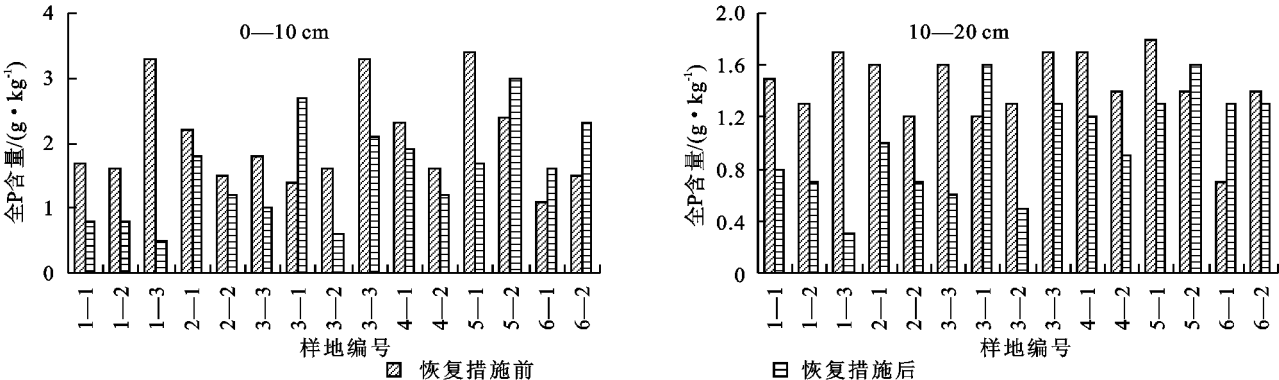


图 6 不同土地利用类型土壤全 P 养分含量变化

3 讨论与结论

目前,关于土地利用对土壤物理和化学性质的影响研究已在黄土高原区^[14-15]、喀斯特地貌区^[16]、沙漠腹地^[17]和盆地地区^[18]等区域开展,这些研究选取的土壤质量因子包括本文所选因子,特别是土壤团聚体稳定性、土壤粒径和土壤有机质含量在反映土壤质量方面规律性更加明显,但其他因子则更加丰富地反映了土壤质量的变化结果。本研究在河北坝上开展,该区生态环境脆弱,一系列的种草、植树、农田改造等大型生态建设工程,极大地改善了当地生态环境,研究从土壤理化性质特征的变化反映不同生态恢复措施对土壤性质的改善,为我国类似区域植被恢复与重建提供科学参考。

(1) 不同植被恢复措施对土壤物理性质的影响。植被恢复区土壤根系错综交织,凋落物增加,使土壤稳定性增强,土壤孔隙增大数目增多,土壤容重降低;但乔木林下植被稀疏及灌木林带过大间距使林间地表裸露、风化严重,土壤团聚稳定性较差,且过度放牧踩踏则使土壤紧实、孔隙减小。土壤水分对外界条件反映敏感,10—20 cm 土壤层规律较稳定,草地可以增加土壤含水量,而植株较大的乔木本身需水量大,会带走土壤中水分,从而使土壤更加干燥。各生态恢复措施均可有效减少 0—10 cm 土壤层粉黏粒($<0.05\text{ mm}$)的吹蚀量,平均减少百分含量从大到小为草地围栏封育>退耕还灌草>退耕还人工草地>退耕还乔>退耕还荒,但由草地改造成的乔木林地由于林下植被稀疏,风蚀加剧;而土壤粒径分形维值同样表明除草地植树造林外,其他生态恢复措施均能有效减弱土壤风蚀量,改善土壤结构。研究表明植被恢复措施对土壤物理性质有显著和深刻的影响,这与一些学者的研究结果一致^[19-20]。

(2) 不同土地利用方式对土壤化学性质的影响。土壤有机质、全量 N、P 养分含量在 0—10 cm 土壤层含量均大于 10—20 cm 土壤层含量,说明植被对土壤养分含量的影响上层大于下层。土壤表层丰富的植物凋落物残体向土壤中可输入大量的碳,但耕作由于地表植被收割利用的影响,加速了土壤有机质的分解和流失^[21],所以植被恢复措施能有效增加土壤有机质含量,其中退耕还荒、退耕还乔木林和退耕还人工草地措施效果显著,但灌草地由于带距过宽(8 m),带间地表裸露,土壤有机质含量反而降低。土壤有机质含量高的特征对促进土壤中其他养分含量的提高有显著的效果,草地围栏封育和草地植树造林均使土壤全量 N、P 养分含量增加,但退耕措施效果不明显,这主要是因为耕地施肥较多,而退耕恢复植被年限较

短,这一结果与赵锦梅等^[22]在祁连山东段高寒地区的研究结果相似。

土地利用变化对坝上地区的土壤物理和化学性质影响显著。草地植被恢复在保持和维护土壤物理和化学性状方面表现出了较好的效果;乔木林地由于植株本身需水量较大使土壤含水量降低,由于林下植被稀疏,地表裸露,使土壤风蚀加剧,土壤有机质含量降低;由于耕地施肥较多,退耕措施对土壤全量 N、P 养分含量改善作用不大;灌木本是当地物种,但由于栽培结构不当,林带间距过大,对土壤性质的改良作用不明显。综上所述,退耕还荒草地、围栏封育是当地最佳的植被恢复措施;灌木林地由于是当地物种,应该多加栽培,但应调整结构,也可结合乔木林种植,增大林下植被盖度,增强防风保土效应。

参考文献:

- [1] 黄晓强,赵云杰,信忠保,等. 北京山区典型土地利用方式对土壤理化性质及可蚀性的影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 5-10.
- [2] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 414-420.
- [3] Zucca C, Canu A, Previtali F. Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia(Italy)[J]. Catena, 2010, 83(1): 46-54.
- [4] 刘春利,邵明安. 黄土高原六道沟流域不同土地利用方式下土壤水力特性及其对土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2400-2407.
- [5] 袁金国,王卫,龙丽民. 河北坝上生态脆弱区的土地退化及生态重建[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 139-143.
- [6] 王仁德,常春平,彭帅,等. 基于粒度对比法的坝上农田风蚀与粉尘释放量估算[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 108-114.
- [7] 李玄姝,常春平,王仁德. 河北坝上土地利用方式对农田土壤风蚀的影响[J]. 中国沙漠, 2014, 34(1): 23-28.
- [8] 胡云锋,刘纪远,庄大方,等. 不同土地利用/土地覆盖下土壤粒径分布的分维特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(2): 336-339.
- [9] Wu Q, Borkovec M, Sticher H. On particle-size distributions in soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(4): 883-890.
- [10] Rieu M, Sposito G. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: II. Applications[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(5): 1239-1244.
- [11] Perfect E, Kay B D. Applications of fractals in soil and tillage research: a review[J]. Soil and Tillage Research, 1995, 36(1): 1-20.
- [12] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, 38(20): 1896-1899.

粗,表层变细的趋势。

(2) 从长寿湖水库建库开始,长寿湖水库沉积物中 TOC 含量是动态变化的,在建库初期逐渐减小;从 20 世纪 80 年代末期,因龙溪河流域退耕还林、城市化进程等土地利用类型的变化,以及湖面网箱养鱼、肥水养鱼的综合作用,沉积物 TOC 逐渐增加,说明这些人类活动,加剧了水库沉积物有机碳含量;在 2004 年全面禁止肥水网箱养鱼后,沉积物有机碳呈现逐渐减小的特征,说明水库沉积物污染近年有减小趋势。

参考文献:

- [1] 林秋奇,韩博平. 水库生态系统特征研究及其在水库水质管理中的应用[J]. 生态学报,2001,21(6):1034-1040.
- [2] 舒卫先,李世杰,姚书春. 太湖 ZS 孔沉积记录的近 50 年来营养盐沉积通量变化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2008,28(3):67-72.
- [3] 张振克,王苏民. 中国湖泊沉积记录的环境演变: 研究进展与展望[J]. 地球科学进展,1999,14(4):417-421.
- [4] Hedges J I, Clark W A, Quay P D, et al. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River[J]. Limnology and Oceanography,1986,31(4):717-738.
- [5] Richey J E, Hedges J I, Devol A H, et al. Biogeochemistry of carbon in the Amazon River[J]. Limnology & Oceanography,1989,35(2):352-371.
- [6] 曹加杰,阮宏华. 受损水生生态系统中水生植物生态恢复研究进展[J]. 中南林业科技大学学报,2013,33(11):125-129.
- [7] 李怀恩,李越,蔡明,等. 河流水质与流域人类活动之间的关系[J]. 水资源与水工程学报,2004,15(1):24-28.
- [8] 杨钢,张晟,李崇明,等. 重庆长寿湖水水质富营养化的调查及评价[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2003,28

(3):492-495.

- [9] 张晟,李崇明. 长寿湖富营养化调查[J]. 重庆环境科学,2003,25(3):32-34.
- [10] 杜德文,石学法,孟宪伟,等. 黄海沉积物地球化学的粒度效应[J]. 海洋科学进展,2003,21(1):78-82.
- [11] 罗建育,陈镇东. 台湾高山湖泊沉积记录指示的近 4000 年气候与环境变化[J]. 中国科学:D 辑,1997,27(4):367-372.
- [12] 刘清玉,戴雪荣,王立群. 巢湖沉积物有机碳分布变化特征[J]. 上海地质,2008(1):13-17.
- [13] Yonker C M, Schimel D S, Paroussis E, et al. Patterns of organic carbon accumulation in a semiarid shortgrass steppe, Colorado[J]. Soil Science Society of America Journal,1988,52(2):478-483.
- [14] 赵兴敏,赵兰坡,郭欣欣,等. 水体沉积物与岸边土壤颗粒组成及有机碳分布特征[J]. 水土保持学报,2014,28(6):304-308.
- [15] Friedl G, Wüest A. Disrupting biogeochemical cycles-consequences of damming[J]. Aquatic Sciences,2002,64(1):55-65.
- [16] 宋金明. 中国近海沉积物—海水界面化学[J]. 地球科学进展,1998,13(6):590-590.
- [17] 朱广伟,陈英旭. 沉积物中有机质的环境行为研究进展[J]. 湖泊科学,2001,13(3):272-279.
- [18] Howarth R W, Sherman D. Inputs of sediment and carbon to an estuarine ecosystem: influence of land use[J]. Ecological Applications,1991,1(1):27-39.
- [19] 杨清心,李文朝. 东太湖围网养鱼后生态环境的演变[J]. 中国环境科学,1996,16(2):101-106.
- [20] 范成新,季江,隋桂容,等. 太湖底泥蓄积和主要的理化性质空间分布特征[M]. 北京:气象出版社,1998.
- [21] 王新明,盛国英,傅家谟,等. 广州感潮河段底泥有机质特征[J]. 沉积学报,1997,15(2):232-235.

(上接第 79 页)

- [13] 苏永中,赵哈林. 科尔沁沙地农田沙漠化演变中土壤颗粒分形特征[J]. 生态学报,2004,24(1):71-74.
- [14] 张晓霞,李占斌,李鹏,等. 土地利用对陕北水土流失区土壤有机碳、水分的影响[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(3):131-134.
- [15] 王莉,张强,牛西午,等. 黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4):53-56.
- [16] 杨珊,何寻阳,苏以荣,等. 岩性和土地利用方式对桂西北喀斯特土壤肥力的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(6):1596-1602.
- [17] 杨智杰,崔纪超,谢锦升,等. 中亚热带山区土地利用变化对土壤性质的影响[J]. 地理科学,2010,30(3):475-480.

- [18] 李新宇,唐海萍,赵云龙,等. 怀来盆地不同土地利用方式对土壤质量的影响分析[J]. 水土保持学报,2005,18(6):103-107.
- [19] 常庆瑞,安韶山. 黄土高原恢复植被防止土地退化效益研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):6-9.
- [20] 彭文英,张科利,陈瑶,等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报,2005,20(2):272-278.
- [21] 李品荣,孟广涛,李国昌. 不同土地利用方式下土壤地力变化和水土流失状况研究[J]. 水土保持研究,2009,16(3):95-99.
- [22] 赵锦梅,张德罡,刘长仲,等. 祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响[J]. 生态学报,2012,32(2):548-556.