

黄土丘陵沟壑区弃耕地群落演替与土壤性质演变研究

郝文芳¹, 梁宗锁^{1,2}, 陈存根³, 唐 龙¹

(¹西北农林科技大学生命科学学院 陕西杨凌; ²中国科学院水利部水土保持研究所;

³西北农林科技大学 陕西杨凌 712100)

摘要:通过对黄土丘陵沟壑区退耕 2a、6a、9a、13a、16a、19a、25a、30a、40a 的弃耕地土壤性质演变分析,初步总结出:①土壤含水量在整个的演替过程中,弃耕 9a 的群落,每一土层的土壤含水量大于其它群落相对应土层的土壤含水量;②土壤容重的平均值从大到小的排列顺序为:弃耕 6a>9a>13a>16a>19a>25a>2a>30a>40a 的群落。除受耕作影响弃耕 2a 的群落外,从 6a 到 40a 随着演替的进展,土壤结构得到改善,土壤容重逐渐变小;③随着演替时间的延续,土壤有机质、全氮、有效氮、全磷、速效磷、速效钾的含量都呈逐渐增加的趋势,而在不同阶段,其变化趋势有所差异;④在黄土丘陵沟壑区的弃耕草地上,土壤的理化性质在 0~60cm 易发生变化,而在 60~100cm 土层随着演替时间的增加,土壤的理化性质变化缓慢。⑤尽管演替进行的缓慢,但从土壤发展的角度来看,仍属进展演替,所以在黄土丘陵沟壑区,若排除人为干扰(开垦、放牧等),在现有的气候与环境条件下,植被有望得到恢复。

关键词:黄土丘陵区;弃耕地;群落演替;土壤性质演变

Study of the Different Succession Stage Community Dynamic and The Evolution of Soil Characteristics of the Old-field in Loess Hills Gully

Hao Wenfang¹, Liang Zongsuo^{1,2}, Chen Cungen³, Tang Long¹

(¹School of Life Science, Northwest A&F University; ²Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources; ³Northwest A&F University; Yangling Shaanxi 712100)

Abstract: This paper analyzes the evolution of soil of the abandoned fields of 2 years, 6 years, 9 years, 13 years, 16 years, 19 years, 25 years, 30 years and 40 years in loess hills gully, and concludes: ① In the whole evolution process except the 9 years abandoned farmland, the water content in one soil layer is higher than the other. ② The average of the soil bulk density can be sorted, form large to small, 6 years > 9 years > 13 years > 16 years > 19 years > 25 years > 2 years > 30 years > 40 years. With the process of the evolution form 6 years to 40 years, the soil construction has improved and the soil bulk density has gradually become smaller except the 2-year-abandoned-field community affected by farming. ③ With the succession time lasting, the content of Organic matter, Total nitrogen, Available nitrogen, Total phosphorus, Available phosphorus and Available potassium in the soil all have increased. However, in different stages, they have different trend. ④ On the abandoned farmland in experiment station in loess hills gully, the soil physical and chemical property can be easily changed in the depth from zero to 60 cm. But in the depth from 60 cm to 100 cm, it changed slowly. ⑤ Although this succession is slow, it still belongs to succession from the role of the soil development. In loess hills gully, if it was not destroyed (cultivate, graze and so on), the vegetation can be recovered under the current climate and environment.

Key words: Loess hill gully, Abandoned field, Vegetation succession, Evolution of soil characteristics

黄土高原由人为滥垦滥牧和恶劣气候所造成的天然草地资源的破坏和严重退化,使土壤侵蚀严重,土壤中有有机质、氮、磷等养分的流失,土地生产力严重下降^[1],广种薄收给农民的生活带来极大的负担。

基金项目:国家自然科学基金(90302005)、中国科学院西部之光人才基金项目(2001)、知识创新(KZCX01-6)项目、西北农林科技大学2003年校青年基金(20030203071)共同资助。第一作者简介:郝文芳,女,1968年11月出生,博士学历,主要从事植物生理生态学研究。E-mail:haowenfang2002@tom.com。通讯作者:梁宗锁。E-mail:liangz819@163.net。收稿日期:2005-04-12,修回日期:2005-04-15。

自西部大开发以来,国家对西部生态环境的重建工作越来越重视,退耕还林、退耕还草、封山禁牧等工程措施的实施,无疑是黄土高原生态恢复的政策保证。同时,生态环境建设长期以来一直受到科研机构的高度重视,目前植被恢复的相关研究报道也不少,包括对天然植被恢复后的土壤水文效应^[2]、土壤酶活性等^[3,4],以及人工林恢复过程中的群落结构动态^[5]、养分循环特征^[6]以及生物多样性对土壤性质的影响^[7,8]等,但对自然植被恢复演替过程中,不同演替阶段土壤性质演变规律报道较少。土壤作为生态系统的组成成分和环境因子^[9],为生态系统中生物的生长发育、繁衍生息提供了必要的环境条件^[10]。土壤在生态系统中的这些功能决定于土壤的质量,它是生态系统可持续发展的基础^[11]。在群落演替过程中,某一演替阶段土壤的肥力状况,不仅反应了在此之前群落与土壤协同作用的结果,同时,也决定了后续演替过程的土壤肥力基础和初始状态^[12]。黄土高原弃耕地的生态恢复,可以通过土壤性质和物种多样性的恢复两个方面进行表征。

在实验区安塞县高桥北宋塔流域,从20世纪60年代,就有成片的坡地被撂荒。为了探讨这些自然植被恢复与重建的有效途径,笔者用空间序列代替时间序列,选择退耕2a、6a、9a、13a、16a、19a、25a、30a、40a的弃耕地,在研究其群落动态与物种多样性变化的同时,对土壤含水量、容重、有机质、全氮、有效氮、速效钾、全磷、速效磷进行测定,分析植物群落演替与土壤性质演变的关系,其目的在于从土壤理化性质变化的角度,探讨弃耕地的植被恢复机理,为该区植被自然恢复工程的实施提供科学的依据。

1 研究地区概况

实验区位于安塞县高桥北宋塔流域(N 36°39.365'~37°43.451', E 109°11.837'~110°13.462'),面积约50km²,多年平均气温8.8℃,极端最高、最低气温分别为36.8℃、-23.6℃;年平均日照时数2397.3h,总辐射量117.74kcal/cm²,≥0℃的活动积温3824.1℃,≥10℃有效积温3524.1℃,无霜期平均157d;多年平均降雨量513mm,且每年的降雨多集中在7、8、9三个月,蒸发量大于降雨量。

土壤类型主要为黄绵土,部分区域为黑垆土和灰褐土,在沟坡深层中还有红胶土。植被主要为人工刺槐林和天然草地。

笔者所选的弃耕地在1999年之前,有放牧,割草等人为干扰,从1999年开始封禁。

2 材料与方

2.1 样地的选择 2003年7月5日—8月25日,通过

走访调查和查阅高桥乡土地使用记录,选择试验区土壤没有因自然因素而导致地形的变迁、或因人为因素而引起的土壤物质再分配的地段,在保证样地黄土母质相同的情况下,选择弃耕2a、6a、9a、13a、16a、19a、25a、30a、40a的天然草地,共9个样地,样地面积为220~500m²。

2.2 测试内容 包括室外取样和室内分析两个部分,分别测试以下指标:①土壤含水量;②土壤养分:有机质、全氮、有效氮、全磷、速效磷、速效钾;③土壤容重。

2.3 取样及测试方法

2.3.1 取样 用土钻在0~100cm土层内按0~5cm、5~10cm、10~20cm、20~40cm、40~60cm、60~80cm和80~100cm的深度取土,每个样地按S形设四个重复,所有指标的取样深度和分层深度均相同。

采集土壤养分分析样品时,同一样地四个重复的土样按相同层次均匀混合,风干后在实验室测定其含量。

2.3.2 土壤含水量的测定 土壤含水量用烘干法,在105℃下烘8h恒重后称重。

2.3.3 土壤容重的测定 土壤容重用环刀法,烘干时间、方法同土壤含水量。

2.3.4 土壤养分的测定 土壤全氮的测定用半微量开氏法(K₂SO₄-CuSO₄-Se蒸馏法),有效氮用碱解扩散法,速效磷用0.5M NaHCO₃法,全磷的测定用NaOH熔融-钼锑抗比色法,速效钾的测定用NH₄OAc浸提-火焰光度法,有机质的测定用重铬酸钾容量法—外加热法,凯氏定氮法测定土壤全氮^[13]。

表1 试验样地概况

退耕时间(a)	坡向	坡度	海拔(m)	坡位	面积(m ²)
2	半阴坡	38°	1370	中上部	300
6	半阴坡	42°	1380	中上部	250
9	半阴坡	34°	1400	上部	200
13	半阴坡	38°	1340	上部	300
16	半阴坡	33°	1355	上部	220
19	半阴坡	30°	1350	上部	380
25	阴坡	35°	1326	中上部	400
30	半阴坡	40°	1330	中上部	500
40	阳坡	30°	1300	中上部	300

3 结果与分析

3.1 弃耕地土壤容重随时间的变化 从表3可知,弃耕地土壤容重的平均值从大到小的排列顺序为:弃耕6a>9a>13a>16a>19a>25a>2a>30a>40a。

弃耕2a的群落,由于耕作的缘故,土壤相对疏松,通气效果好,土壤容重小,而从2a到6a,弃耕时间相对短,在相同的自然条件下,植被恢复缓慢,因土壤

表 2 弃耕地的群落特征

退耕时间(a)	建群种	亚优势种	物种数(个)	个体数目(个)	盖度(%)
2	猪毛蒿	狗尾草	10	175	22
6	达乌里胡枝子	芨蒿、铁杆蒿、猪毛蒿	17	342	26
9	达乌里胡枝子	白羊草、铁杆蒿	27	426	52
13	冰草	阿尔泰狗娃花、达乌里胡枝子	20	617	39
16	达乌里胡枝子、铁杆蒿	冰草	16	412	38
19	白羊草	达乌里胡枝子、铁杆蒿	14	307	34
25	白羊草、达乌里胡枝子	铁杆蒿、芨蒿、长芒草	7	253	34
30	长芒草、达乌里胡枝子	铁杆蒿、芨蒿、白羊草	9	347	35
40	狼牙刺	芨蒿、长芒草	9	273	42

注:猪毛蒿(*Artemisia scoparia*),达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*),冰草(*Agropyron cristatum*),铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*),长芒草(*Stipa bungeana*),狼牙刺(*Sophora viciifolia*),狗尾草(*Setaria viridis*),芨蒿(*Artemisia giraldii*),白羊草(*Bothriochloa ischaemum*),阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)

表 3 弃耕地的土壤容重

深度(cm)	2(a)	6(a)	9(a)	13(a)	16(a)	19(a)	25(a)	30(a)	40(a)
0-5	1.28	1.36	1.36	1.33	1.32	1.32	1.31	1.25	1.21
5-10	1.28	1.38	1.37	1.34	1.32	1.32	1.31	1.25	1.22
10-20	1.29	1.4	1.39	1.36	1.33	1.33	1.32	1.26	1.23
20-40	1.3	1.42	1.39	1.36	1.34	1.33	1.32	1.27	1.24
40-60	1.34	1.42	1.4	1.37	1.34	1.34	1.33	1.27	1.24
60-80	1.34	1.43	1.4	1.39	1.34	1.33	1.32	1.28	1.27
80-100	1.34	1.45	1.41	1.4	1.36	1.34	1.33	1.29	1.28
平均	1.31	1.40	1.38	1.36	1.34	1.33	1.32	1.26	1.24

的物理环境未及改善,加之雨水直接击溅裸露的坡面等,使土壤结构紧实,容重比弃耕 2a 的大,而从 6a 开始,随着弃耕时间的延长,植物群落生物种类多样化和结构复杂化,进而加速土壤中物质的分解率和生物归还率,促进土壤物质的良性循环,土壤环境得到进一步改善^[14],0~100cm 的土壤容重逐渐变小。

在垂直剖面上,每一个立地类型都有共同的特点,随着土层的加深,土壤根系分布数量减少,根际微生物活动减弱,使土壤容重逐渐变大。

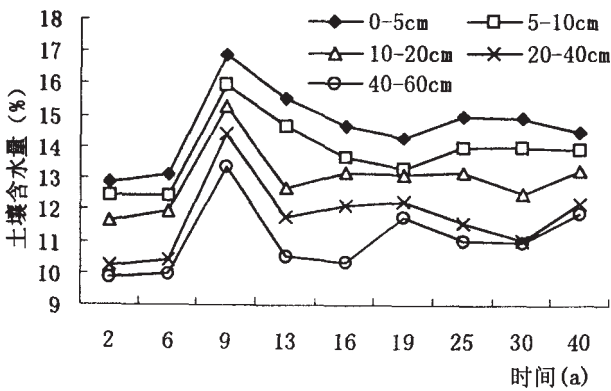


图 1 弃耕地的土壤含水量

3.2 弃耕地土壤含水量随时间的变化 从图 1 可以看出,从弃耕 2a 到 40a,土壤含水量的变化趋势为:弃耕 2a 群落土壤含水量最低;从 2a 到 9a 土壤含水量呈上升趋势;弃耕 9a 群落的土壤含水量高于其他群落;从弃耕 9a 到 16a,土壤含水量呈现出降低的趋势;从 19a 到 40a 的演替过程中看,土壤含水量变化平缓,但 25a 的群落土壤含水量略高。

一般说来,土壤的含水量与坡向有很大的关系,在所调查的弃耕地系列中,弃耕 25a 的群落为阴坡,土壤含水量应该最大,但却出现弃耕 9a 的半阴坡土壤含水量最大,而弃耕时间最长 40a 的阳坡的土壤含水量居中,弃耕 2a 的半阴坡的土壤含水量最低。

出现这种结果,其主要原因是不同弃耕时间其群落的盖度不同所致,从表 2 可以看出,在弃耕 2a 到 40a 的演变过程中,群落覆盖度从大到小的排列顺序为:弃耕 9a>13a>40a>30a>25a>19a>16a>6a>2a,同时弃耕 9a 的群落有 27 个植物种/m²,在整个植被恢复演替过程中,群落的物种丰富度最大,物种多样性高,而弃耕 25a 群落的盖度居中,弃耕 2a 群落的盖度最小。

由以上群落的盖度、坡向、土壤含水量的数值关系,可以认为,在黄土丘陵沟壑区的弃耕草地上,土壤含水量与坡向有关,但受群落盖度影响最大。

3.3 弃耕地土壤有机质含量随时间的变化 在整个弃耕地土壤演变过程中,有机质以 2a 的群落含量最低,40a 的含量最高,从弃耕 2a 到 40a 的过程中,土壤有机质呈逐渐增加的趋势。这可能是演替系列上土壤变化的主要方向,其来源主要是植物的凋落物和根际微生物的活动,并且演替初期含量少,随着植物盖度的增加而增加,其增加量与立地年龄有线性关系^[12]。笔者研究的结果和这一结论相吻合。

在垂直剖面上,土壤有机质含量均是表层高于其它土层,随着土层深度的加深,土壤有机质含量呈降低的趋势。

3.4 弃耕地土壤全氮含量随时间的变化 从图3可以看出,土壤全氮含量和有机质的变化趋势一致。随着弃耕时间的延长,土壤全氮含量呈现逐渐增加的趋势。

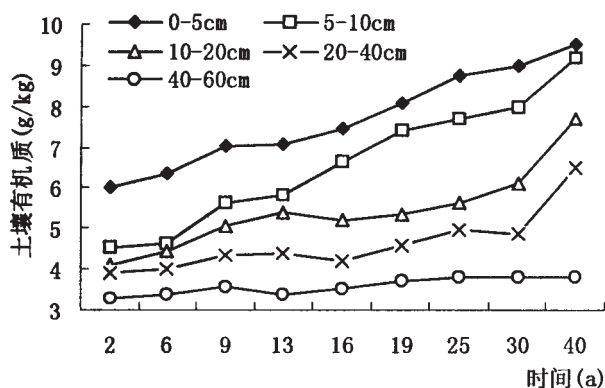


图2 弃耕地的土壤有机质

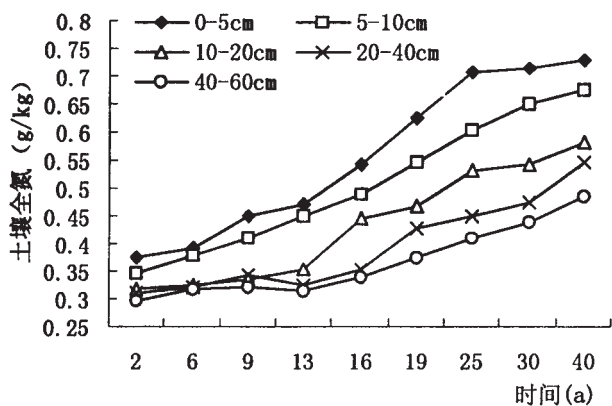


图3 弃耕地土壤全氮

从图3还可以看出,弃耕地土壤全氮含量在0~5cm、5~10cm土层内,变化趋势较为一致;而在10~20cm、20~40cm以及40~60cm土层,2a、6a、9a和13a曲线比较平缓,不同弃耕时间的群落,其土壤中全氮含量变化较为微弱,同时几个土层之间全氮含量的差别小;在13a到40a的演变过程中,在10~20cm、20~40cm以及40~60cm土层内,全氮含量曲线较为陡,说明土壤全氮含量随着演替的进行,变化较前两个土层大。

在垂直剖面上,土壤全氮含量在表层土中含量高,土层越深,含量越低。其原因是枯枝落叶归还的氮多集中在表层。

3.5 弃耕地土壤有效氮含量的变化 土壤有效氮和土壤有机质、全氮密切相关,有效氮含量随着土壤有机质含量或全氮含量的增高而增高^[14]。弃耕地土壤有效氮含量的变化和土壤有机质、土壤全氮的变化相同,随着弃耕时间的延长,整个土层土壤有效氮含量呈逐渐增加的趋势。

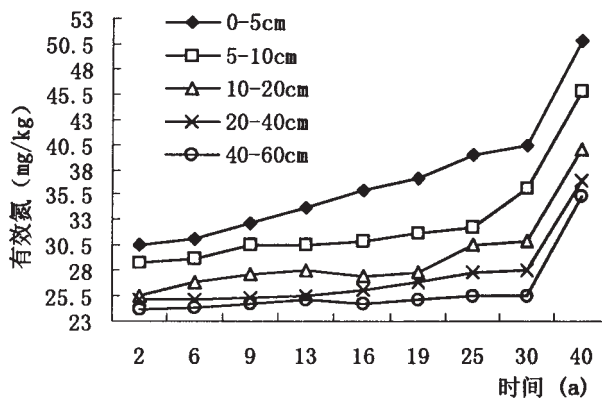


图4 弃耕地的土壤有效氮

从图4可以看出,弃耕不同时间的群落,土壤有效氮含量土层间从小到大的顺序是:

0~5cm>5~10cm>10~20cm>20~40cm>40~60cm的土层。

同时,土壤有效氮含量在土层间共同的趋势是0~5cm土层土壤有效氮含量的曲线比其它土层有效氮含量的曲线陡。这说明随着弃耕时间的延长,5~40cm土层土壤有效氮含量变化比0~5cm土层土壤有效氮增加缓慢,不同的群落类型,土壤有效氮含量在0~5cm易受弃耕时间长短的影响。出现这种现象的原因也与枯枝落叶多集中在表层、根际微生物活动所致。

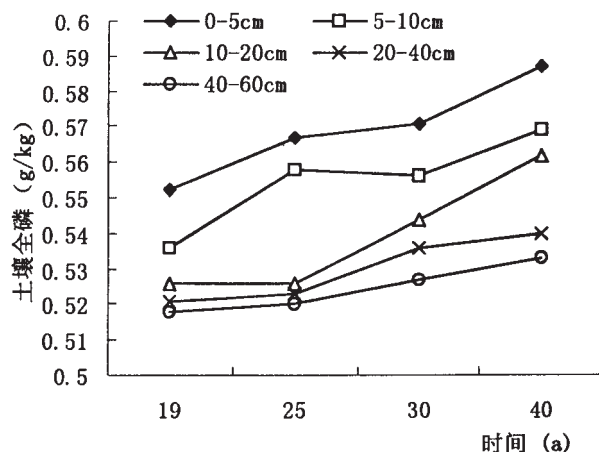


图5 弃耕地的土壤全磷

3.6 弃耕地土壤全磷含量随时间的变化 图5是弃耕地土壤全磷含量随弃耕时间变化趋势图。随着弃耕时间的增加,土壤全磷含量也呈逐渐增加的趋势。但弃耕地土壤全磷含量的变化和别的养分含量变化相比,起伏较小,虽然弃耕40a的群落土壤全磷含量最高,弃耕19a含量最低,但0~5cm土层弃耕40a群落的全磷含量仅比19a的群落增加0.035g/kg,增加了6.34%。土壤中的磷的含量受母质、气候、风化程

度和淋溶作用的影响,所测试区的土壤母质相同,故全磷变化不是很大。

3.7 弃耕地土壤速效磷含量随时间的变化 土壤速效磷含量的变化是一个十分复杂的问题,对于耕作土壤来说,它不但与不同生物气候条件下的土壤不同形态磷间的动态平衡有关,同时也与人为耕作施肥状况密切相关^[14],但对于非耕作土壤,除与土壤不同形态磷间的动态平衡有关外,速效磷的含量还受母质、土壤、气候、风化程度、淋溶作用以及全磷含量等因素的影响。试区土壤类型主要为黄绵土,部分区域为黑垆土和灰褐土,在沟坡深层中还有红胶土。由于该区的土壤类型复杂,使得土壤速效磷含量的变化又变的更为复杂。

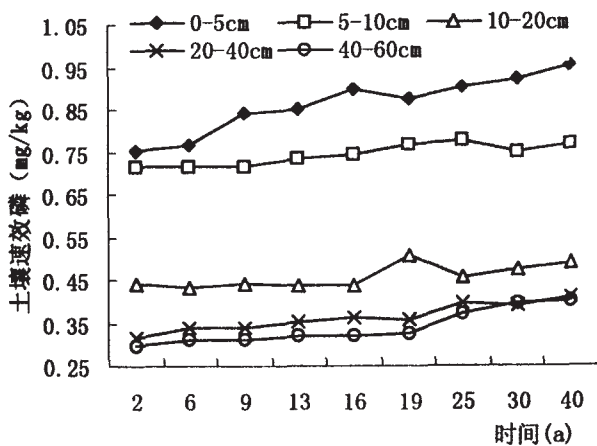


图6 弃耕地的土壤速效磷

从图6看出,弃耕地土壤速效磷含量从2a到40a的整个演变过程中,速效磷含量呈现出增加的趋势,和全磷含量一样,土壤速效磷含量的变化比有机质、全氮、有效氮等增加的缓慢。

同时在0~5cm、5~10cm土层,土壤速效磷含量远高于10~20cm、20~40cm、40~60cm土层,而且0~5cm和5~10cm土层土壤速效磷含量接近,10~20cm、20~40cm和40~60cm土层土壤速效磷含量差别小,且均小于0.55mg/kg。

根据前人研究,陕北黄土丘陵沟壑区的土壤速效磷含量很低^[14]。从图6的数据可以看出,在所研究的试区,土壤中的速效磷含量已经很低,这一点和前人的研究结论一致。

3.8 弃耕地土壤速效钾含量随时间的变化 弃耕地土壤速效钾含量总的变化趋势是随着弃耕时间的增加,土壤速效钾呈逐渐增加的趋势,但以0~5cm、5~10cm土层变化明显,其它土层变化微弱;在0~60cm土层范围内,随着土层深度的加深,速效钾含量呈减少的趋势。

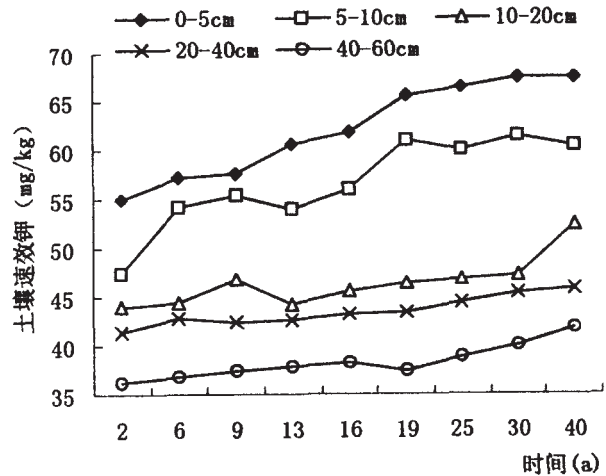


图7 弃耕地的土壤速效钾

在黄土高原贫钾的自然状态下,全钾含量在各类土之间差异不大,土壤的供钾能力主要与土壤全钾含量密切相关^[14]。从植物营养的观点来看,土壤中的钾素可以分为三部分:第一部分是植物难以利用的钾,主要存在于原生的矿物中,这是土壤全钾含量的主体;第二部分是缓效钾,主要存在于层状粘土矿物晶格中以及粘土矿物的水云母中,这是速效钾的储备;第三部分是速效钾,以交换性钾为主,也包括水溶性钾。缓效钾与交换性钾之间存在着缓慢的可逆平衡,交换性钾和水溶性钾之间却存在着快速的可逆平衡^[14]。研究中出现表层速效钾含量略高的可能原因,一个是速效钾在表层进行了富集,另一个是缓效钾及时补充到土壤的整个剖面。

3.9 弃耕地60~100cm土壤理化性质总的变化趋势 在笔者研究中,土壤含水量、土壤养分都取样分析到0~100cm,只不过60~80cm、80~100cm这两个土层的曲线和40~60cm土层的比较接近,为了图的直观清晰,图上只出现0~60cm土层的曲线。

因此认为,弃耕地土壤的理化性质只是在0~60cm土层容易发生变化,60cm以下的土层随着演替时间的增加,土壤的理化性质变化比0~60cm土层缓慢。

4 结论与讨论

4.1 土壤含水量在整个的演替过程中,弃耕9a的群落,每一土层的土壤含水量大于其它群落相对应土层的土壤含水量。分析其原因,土壤含水量除受坡向影响外,盖度也是一个决定性因素。

4.2 在研究区的弃耕草地上,土壤的理化性质只是在0~60cm土层容易发生变化,60~100cm土层随着演替时间的增加,土壤的理化性质变化比0~60cm土层缓慢。

4.3 植物群落演替过程中的土壤发展,很明显是随着

植被的演替而发展的一个连续过程,趋向于与群落顶极相适应的平衡^[12]。土壤的结构、有机质、N、pH值都随着植被的发展而发展^[12]。在笔者的研究中,随着演替的发生,植物群落结构发生变化,进而加速土壤中物质的分解率和生物归还率,促进土壤物质循环,土壤环境得到进一步的改善,0~100cm的土壤容重逐渐变小。

4.4 弃耕地土壤化学性质变化总的趋势是:随着演替时间的延续和地上部分的发展变化,0~60cm土层土壤有机质、全氮、有效氮、全磷、速效磷、速效钾的含量都呈逐渐增加的趋势,而在不同阶段,其变化趋势有所差异。

这一结论说明,在试区尽管植被恢复演替进行的异常缓慢,但从土壤发展的角度看,仍属进展演替。所以,在黄土丘陵沟壑区,若排除外界的干扰(开垦、放牧等),在现有的气候条件下,植被有望得到恢复。

参考文献

- 1 贾松伟,贺秀斌,陈云明.黄土丘陵区退耕撂荒对土壤有机碳的积累及其活性的影响[J].水土保持学报,2004,18,(3):78-84
- 2 王国梁,刘国彬,常欣,等.黄土丘陵区小流域植被建设的土壤水文效应

- [J].自然资源学报,2002,17(3):339-344
- 3 张成娥,等.黄土丘陵区不同撂荒年限自然恢复的退化草地土壤养分及酶活性特征[J].草地学报,1997,5(3):195-200
- 4 胡斌,段昌群,王震洪,等.植被恢复措施对退化生态系统土壤酶活性及肥力的影响[J].土壤学报,2002,39(4):604-608
- 5 潘开文,刘照光.暗针叶林采伐迹地几种人工混交群落乔木层结构及动态[J].应用与环境生物学报,1998,4(4):327-334
- 6 庞学勇,胡泓,乔永康,等.川西亚高山云杉人工林和天然林养分分布和生物循环比较[J].应用与环境生物学报,2002,8(1):1-7
- 7 吴彦,刘庆,乔永康,等.亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J].植物生态学报,2001,25(6):641-647
- 8 胡泓,刘世全,陈庆恒,等.川西亚高山针叶林人工恢复过程的土壤性质变化[J].应用与环境生物学报,2001,7(4):308-314
- 9 Jenny H. *The soil resource*. New York: Springer-Verlag 1980.23-26
- 10 Doran J W, Parkin T B. Defining and accessing soil quality. In: Doran J W, et al. *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Special Publ. Number 35. Soil Science Society of American, Inc and Am Soc. of Agron. Inc., Madison, WI, 1994.3-22
- 11 庞学勇,刘庆,刘世全,等.川西亚高山云杉人工云杉林土壤质量性质演变[J].生态学报,2004,24(2):261-267
- 12 张全发,郑重,金义兴.植物群落演替与土壤发展之间的关系[J].武汉植物学研究,1990,8(4):321-334
- 13 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000.14-107
- 14 陕西省土壤普查办公室.陕西土壤[M].北京:科学出版社,1992.410-468

(上接第 223 页)

3.2 通过对四个地区间枸杞甜菜碱含量的方差分析,其含量间差异极显著,表现为中宁、园林场的枸杞中甜菜碱含量显著高于同心、惠农的,其中惠农的最低。同心、中宁、惠农、园林场四个枸杞主产区土壤有机质、速效氮、速效磷间存在一定差异,而速效钾含量差异不显著,土壤以中宁、园林场土壤肥力状况最好,惠农次之,同心相对较差;通过对四个产区枸杞甜菜碱含量与土壤肥力因子作相关性分析,发现速效磷和速效钾与甜菜碱含量呈显著正相关。这就暗示,高的土壤肥力有利于提高枸杞产量,也对枸杞有效成分甜菜碱含量具有一定的促进作用。

3.3 宁夏枸杞果实内甜菜碱含量与土壤盐分有一定的正相关性;对主要的盐分组成离子相关性分析发现,Na⁺和SO₄²⁻与甜菜碱含量呈现显著正相关,说明一定浓度的盐分对甜菜碱含量的积累有一定的促进作用,可能与盐分对甜菜碱合成相关的酶的活性有关。

在盐胁迫下,植物体内的甜菜碱的含量随盐浓度的增加而呈上升趋势,而且在体内的积累呈现一种永久性或非永久性反应。总之,甜菜碱作为一种十分有用的细胞可溶性物质,其生理功能和分子生物学的研究^[11]近20年发展迅速,但关于甜菜碱所具有的某些生理

功能的理论解释尚不充分,对其生理功能的研究还有待深入。

参考文献

- 1 路安民,王美林.关于中药现代化中的物种鉴定问题-基于枸杞分类和生产问题的讨论[J].西北植物学报,2003,23(7):1077-1083
- 2 孙志刚.宁夏枸杞药理研究进展[J].西北药学杂志,2001,16(3):133-135
- 3 尾本义卫.枸杞子提取液的药理研究.日本药理学杂志,1961,57(6):105
- 4 冯元理,陈玉书,安宪立.枸杞果、柄、叶中甜菜碱含量的分光光度法[A].见:白寿宁.宁夏枸杞研究[C].宁夏银川:宁夏人民出版社,1999.395-398
- 5 王振宇.不同地域宁夏枸杞活性成分的研究[J].植物研究,2003,23(3):337-339
- 6 许兴,郑国琦.宁夏枸杞耐盐性与生理生化特性研究[J].中国生态农业学报,2002,10(3):56-59
- 7 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.230
- 8 陈少良,毕望富,等.反相 HPLC 离子对色谱法测定植物组织中的甜菜碱.植物学报,2000,42(10):1014-1018
- 9 Storey R, Wyn Jones R G. Betaine and chlorine levels in plants and their relationship to NaCl stress. *Plant Sci Lett*, 1975,(4):151
- 10 Wyn Jones R G, Storey R. Salt stress and comparative physiology in the Gramineae. II. Glycinebetaine and proline accumulation in two salt and water stressed barley cultivars. *Aust J Plant Physiol*, 1978,(5):817
- 11 郑国琦,许兴,徐兆桢.耐盐胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展.宁夏大学学报,2002,23(1):79-85