

青海省东部黄土丘陵区主要林型土壤理化性质

丁绍兰¹, 杨宁贵¹, 赵串串¹, 杨乔媚¹, 王湜¹, 董旭²

(1. 陕西科技大学 资源与环境学院, 陕西 西安 710021; 2. 青海省林业调查规划院, 青海 西宁 810008)

摘要: 以青海省黄土丘陵区16种林分类型为研究对象, 通过对主要植被和林型土壤物理性质(土壤容重和孔隙度)和化学性质(有机质、氮、磷、钾)的测定与分析, 研究了其林下土壤持水能力和土壤肥力状况变化。结果表明, 混交林林下土壤容重的平均值最小, 而林下土壤毛管孔隙度的平均值最大, 说明混交林林下土壤表层疏松多孔, 具有较高的水源涵养和水土保持功能。各植被类型土壤有机质、氮、磷、钾分布规律基本一致, 均表现为: 混交林> 针叶林> 阔叶林> 灌木林> 荒山 荒坡, 不同林分类型中华北落叶松林下土壤的氮元素含量最高, 而磷钾含量相对偏少, 青杨林林下土壤的磷元素含量最高, 而氮钾含量相对偏少, 白桦—糙皮桦—祁连圆柏—云杉混交林(5:2:2:1)林下土壤的钾元素含量最高, 而氮磷含量相对偏少。综合比较而言, 混交林能很好地促进有机质、氮、磷、钾含量的增加, 改善土壤养分状况, 有利于土壤肥力的持续。

关键词: 黄土丘陵区; 水源涵养林; 土壤理化性质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0001-06

中图分类号: S714.2

Soil Physical and Chemical Properties in Water Conservation Forest in Eastern Qinghai Province

DING Shao-lan¹, YANG Ning-gui¹, ZHAO Chuan-chuan¹, YANG Qiao-mei¹, WANG Shi¹, DONG Xu²

(1. College of Resources and Environment, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an,

Shaanxi 710021, China; 2. Qinghai Provincial Forest Inventory and Planning Institute, Xi'ning Qinghai 810008, China)

Abstract: Taking sixteen forest types in the loess hilly area of eastern Qinghai Province as research objects, the main vegetation types and soil physical properties (soil bulk density and porosity) and chemical properties (organic matter, N, P, and K) are analyzed. The changes in soil water holding capacity and soil fertility are studied. Results show that mixed forest have the minimum soil bulk density and the largest soil capillary porosity, and the mixed forest soil is loosen and porous and has the higher capability of water conservation and soil conservation. The distributions of soil organic matter, N, P, and K for different vegetation types are consistent, following the order of mixed forest> coniferous forest> broadleaf forest> shrub> barren hills. In different forest types, soil in *Larix principis-rupprechii* forest has the highest N content, while P and K contents are relatively low. Soil in *Populus cathayana* has the highest P content, while N and K content are relatively low. Soil in *Betula platyphylla* Suk—*Betula utilis*—*Sabina przewalskii*—*Ricea aserata* (5:2:2:1) mixed forest has the highest K content, while N and P contents are relatively low. In terms of comprehensive comparison, mixed forest well promotes the increases in soil organic matter, N, P, and K contents, improves soil nutrient status, and helps to sustain soil fertility.

Keywords: loess hilly region; water conservation forest; soil physical and chemical property

土壤是森林生态系统物质循环的重要环节, 直接关系到森林的生长情况^[1]。森林土壤为森林植被的生存和发展提供必要的物质基础, 森林植被的出现及其演替反过来也将影响其土壤的形成和发育^[2]。森

林土壤肥力状况, 与构成林分树种及树种组成、林分结构等林分因子有密切关系^[3]。森林土壤肥力对森林生产力具有决定性的影响, 持久地维持和提高土壤肥力是森林生态系统稳定和林业可持续发展的重要

收稿日期: 2010-05-04

修回日期: 2010-06-07

资助项目: 青海省林业厅资助“青海省公益林生态效益监测”(横向合作项目); 陕西科技大学研究生创新基金

作者简介: 丁绍兰(1963—), 女(汉族), 山西省襄汾县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事污染防治、清洁生产、环境监测技术研究。

E-mail: dingsl@sust.edu.cn.

因素^[4]。而土壤理化性质是反映土壤肥力水平的一个重要方面^[5]。随着生态环境问题的日趋尖锐,为更好地实现森林的恢复与重建,人们越来越重视对土壤与植被之间关系的研究^[6-7]。为此,以青海黄土丘陵区主要林分类型林下土壤为研究对象,对不同植被和林分类型下土壤理化性状进行监测与分析,探讨不同林型与土壤性状间的关系以及不同林分类型土壤养分的变化规律,为该区域林分设置、树种选择提供依据,不断提高森林水文生态效益,实现区域生态的可持续发展。

1 研究区概况

研究区位于青海省东部黄土丘陵沟壑区(100°52′—103°04′E, 35°00′—37°52′N),地貌类型有山地、丘陵、峡谷、盆地等,以黄土丘陵沟壑地型为主。地势西北高、东南低,海拔 1 650~4 898 m,年均气温 2.8℃~7.9℃,年均降水量 360~540 mm,年均蒸发量 1 100~1 800 mm,无霜期 68~184 d,风速 1.2~2.8 m/s,属于典型的干旱半干旱地区。土壤随地形、海拔、气候、成土母质的综合影响呈明显的垂直地带性分布,由低到高依次为灰钙土、栗钙土、黑钙土、灰褐土、山地草甸土、高山草甸土、高山寒漠土共 7 个地带性土壤类型。森林分带特征明显,主要沿河流两侧山地呈片状或零星块状分布,具有明显的坡向性,随着海拔升高,片状

的森林趋于缩小,并呈现明显的疏林化现象。乔木主要有青海云杉(*Picea crassifolia*)、祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)、山杨(*Populus davidiana*)等,常见灌木有沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、银露梅(*Potentilla glabra*)等。

2 研究方法

2.1 样地选择与设置

通过调查分析和区域水源涵养林类别的划分,结合区域内林分类型、林龄、海拔以及在区域的分布情况及现地踏查,在研究区域确定典型样地 16 个,对照样地 1 个,布设样地,调查样地林分的生长状况。主要植被类型有:针叶林(祁连圆柏、青海云杉、华北落叶松(*Larix principis-rupprechii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*));阔叶林(白桦(*Betula platyphylloides*)、青杨(*Populus cathayana*)、山杨);混交林(白桦(*Betula platyphylloides*)—云杉,白桦—祁连圆柏,云杉—祁连圆柏,白桦—糙皮桦(*Betula utilis*)—祁连圆柏—云杉,油松—云杉)和灌木林(沙棘、柠条儿(*Caragana* spp.)、金露梅),并以荒山荒坡作为对照样地。乔木林样地按照 20 m×20 m 布设,灌木林样地按照 10 m×10 m 布设,调查样地内植被情况,记录林木林龄、郁闭度、林下植被分布等信息,同时记录各样地的土壤类型、坡度、坡向等立地因子(表 1)。

表 1 不同模式水源涵养林的树种组成及样地基本概况

植被类型	林型	郁闭度/覆盖度	坡度/(°)	坡向	海拔/m	土壤类型	土层厚度/cm	树龄/a	主要林下植被
针叶林	祁连圆柏	0.5	45	阳坡	2 558	黑钙土	> 60	118	银露梅、锦鸡儿、小蘗
	青海云杉	0.7	40	阴坡	2 727	黑钙土	> 60	95	黄刺
	华北落叶松	0.7	—	阴坡	3 065	黑钙土	> 60	35	—
	油松	0.4	40	阳坡	2 566	栗钙土	> 60	70	小蘗、忍冬、金露梅
阔叶林	白桦林	0.6	30	阳坡	2 756	栗钙土	> 60	68	山羽藓、刺梅、银露梅
	青杨林	0.5	15	阴坡	2 649	栗钙土	> 60	25	沙棘
	山杨林	0.5	20	阴坡	2 490	栗钙土	> 60	30	山生柳、小蘗
混交林	7 桦 3 云	0.6	15	阳坡	2 796	黑钙土	> 60	43	茶藨子、刺梅、金露梅
	8 桦 2 柏	0.5	20	阳坡	2 504	灰钙土	> 60	58	—
	9 云 1 柏	0.5	35	阴坡	2 961	黑钙土	> 60	91	苔藓层
	5 桦 2 糙 2 柏 1 云	0.7	20	阳坡	2 765	黑钙土	> 60	72	金露梅、银露梅
	6 云 4 桦	0.8	30	阳坡	2 789	栗钙土	> 60	65	茶藨子、蔷薇、锦鸡儿
	8 油 2 云	0.6	25	阴坡	2 827	黑钙土	> 60	85	小蘗、忍冬
灌木林	沙棘	0.6	15	阴坡	2 876	栗钙土	> 40	8	赖草、冰草、锦鸡儿
	柠条	0.5	20	阳坡	2 768	灰钙土	> 40	7	披碱草、赖草
	金露梅	0.5	15	阴坡	2 957	灰钙土	> 40	7	披碱草、锦鸡儿
对照样地	荒山荒坡	—	20	阳坡	2 722	栗钙土	> 40	—	零星草地

注:混交林中数字代表该林分中树种蓄积。

2.2 样品采集

在上述样地中选取有代表性的样点, 去除地表凋落物后, 在每一个采样点分 0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm 共 3 层取环刀样, 测定土壤容重和孔隙度。再将上述 3 层土壤进行混合, 按照四分法取 0.5~1.0 kg 混合土样, 装袋贴好标签, 带回实验室测定其物理化学性质。

2.3 样品分析方法

样品经自然风干后, 除去杂物, 用木棒研细, 过筛, 装袋、称重待测。

物理性质测定: 土壤容重和毛管孔隙度采用环刀法测定, 土壤比重采用比重瓶法测定, 然后计算出总孔隙度、非毛管孔隙度。

化学性质测定: 有机质采用重铬酸钾容量法—外加热法; 全氮采用半微量凯氏法; 速效氮采用碱解扩散法; 全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法; 速效磷

分两种情况测定, 中性和石灰性土壤有效磷的测定采用 0.05 mol/L NaHCO₃ 法, 酸性土壤有效磷的测定方法采用 0.03 mol/L NH₄F—0.025mol/L HCl; 全钾采用 NaOH 熔融法—火焰光度法; 速效钾采用 NH₄OAc 浸提—火焰光度法。

3 结果与分析

3.1 不同林型土壤物理性质测定结果

不同森林类型土壤的土壤容重与孔隙度, 受林地土壤发育状况的影响, 而土壤发育的好坏又直接受森林植被的影响。森林类型的不同, 林地表层的枯落物构成及地下根系的生长发育状况、枯落物的分解等均存在差异, 因而所造成的林地土壤物理性质也存在差异, 反映土壤物理性质的指标主要是土壤容重与孔隙度^[8]。实验测定不同林分类型土壤容重与孔隙度结果见表 2。

表 2 不同林分类型土壤物理性质

植被类型	林 型	土壤容重/(g·cm ⁻³)	土壤密度/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%
针叶林	祁连圆柏	0.93	2.35	60.43	49.60	10.83
	青海云杉	0.88	2.23	60.54	49.30	11.24
	华北落叶松	0.89	2.37	62.45	50.21	12.24
	油 松	1.14	2.71	57.93	47.30	10.63
阔叶林	白桦林	0.96	2.41	60.17	50.80	9.37
	青杨林	1.21	2.50	51.60	42.22	9.38
	山杨林	0.78	2.37	67.09	56.30	10.79
混交林	7 桦 3 云	0.90	2.53	64.43	49.00	15.43
	8 桦 2 柏	0.91	2.29	60.26	47.60	12.66
	9 云 1 柏	0.75	2.12	64.62	51.70	12.92
	5 桦 2 糙 2 柏 1 云	0.88	2.53	65.22	50.93	14.29
	6 云 4 桦	0.70	2.09	66.51	52.43	14.08
	8 油 2 云	1.02	2.60	60.77	45.50	15.27
灌木林	沙 棘	1.08	2.37	53.19	47.80	5.39
	柠 条	1.04	2.43	49.98	47.84	2.14
	金露梅	0.97	2.39	53.17	49.70	3.47
对 照 样 地	荒山荒坡	1.36	2.82	48.84	46.87	1.98

由表 2 可知, 不同植被类型和林分类型的土壤容重和土壤孔隙度, 有林地土壤容重比荒山荒坡小, 而孔隙度比荒山荒坡大, 这是因为土壤容重是土壤紧实度的指标, 土壤容重越小, 土壤团粒越多, 土壤越疏松, 透气性越好, 其孔隙度就越大。各植被类型土壤容重中混交林的土壤容重最小, 为 0.86 g/cm³, 荒山荒坡土壤容重最大, 为 1.36 g/cm³; 各林分类型土壤容重在 0.70~1.36 g/cm³ 之间, 其中云杉—白桦混交林(6:4)土壤容重最小, 荒山荒坡土壤容重最大。各植被类型土壤总孔隙度和非毛管孔隙度呈现相同

变化规律, 大小顺序为: 混交林> 针叶林> 阔叶林> 灌木林> 荒山荒坡; 各林分类型土壤总孔隙度在 48.84%~67.09%之间, 非毛管孔隙度在 1.98%~15.43%之间。各植被和林分类型的土壤容重和孔隙度的变化规律都与土壤表层枯落物积累、腐殖质层形成、根系分布和土壤结构有关。

3.2 不同林型土壤养分状况分析

根据土壤养分分级标准分析黄土丘陵区水源涵养林不同林分类型土壤的养分状况。土壤养分分级标准见表 3^[9], 不同养分的测试结果见表 4。

表 3 土壤主要养分分级标准

等级	有机质/ %	总氮/ %	速效氮/(mg · kg ⁻¹)	总磷/ %	速效磷/(mg · kg ⁻¹)	总钾/ %	速效钾/(mg · kg ⁻¹)
1	> 4	> 0. 20	> 150	> 0. 20	> 40	> 3	> 200
2	3~ 4	0. 15~0. 20	120~ 150	0. 15~0. 20	20~ 40	2~ 3	150~ 200
3	2~ 3	0. 10~0. 15	90~ 120	0. 10~0. 15	10~ 20	1. 5~ 2	100~ 150
4	1~ 2	0. 075~0. 10	60~ 90	0. 07~0. 10	5~ 10	1. 0~ 1. 5	50~ 100
5	0. 60~1	0. 05~0. 075	30~ 60	0. 04~0. 07	3~ 5	0. 5~1	30~ 50
6	< 0. 60	< 0. 05	< 30	< 0. 04	< 3	< 0. 5	< 30

3.2.1 土壤有机质分析 土壤有机质是土壤固相部分的重要组成成分,它与土壤矿质部分共同作为林木营养的来源^[9]。森林土壤有机质在改善土壤的透水性、蓄水性、通气性,促进土壤结构形成方面占主导作用^[11-12]。

由表 4 可以看出,不同植被类型土壤有机质含量分布差异很大:混交林> 针叶林> 阔叶林> 灌木林> 荒山 荒坡,其平均含量依次为 6. 17%, 5. 84%, 4. 85%, 3. 25%, 0. 38%。不同林分类型,土壤有机质含量在 0. 38%~9. 37%之间。同一植被类型不同林分类型土壤的有机质含量也有很大差异。由此可见,

不同林分类型对土壤有机质状况具有很大影响。结合土壤养分评价标准,不同植被类型有机质等级:混交林、阔叶林和针叶林为 1 级,灌木林为 2 级,荒山荒坡为 6 级;不同林分类型有机质等级:华北落叶松、青杨林、金露梅、青海云杉、混交林、祁连圆柏和油松为 1 级,白桦林、山杨林和沙棘为 3 级,柠条和荒山荒坡为 6 级。由以上分析可知,林分类型对土壤有机质有很大影响,这主要是因为森林土壤中的有机质主要来自于地表森林枯枝落叶层的分解补充与累积,不同植被下地表枯落物厚度、组成成分的差异以及部分动物、微生物的残体差异,导致其有机质含量不同。

表 4 不同林分类型土壤养分含量

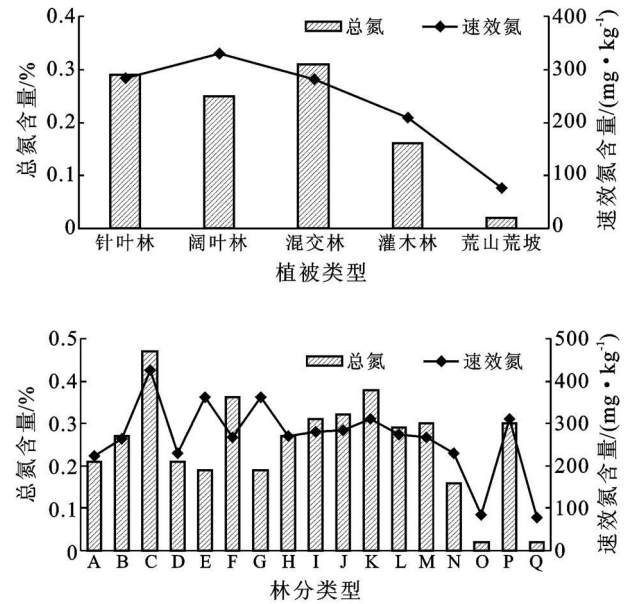
植被类型	林 型	有机质/ %	总氮/ %	速效氮/(mg · kg ⁻¹)	总磷/ %	速效磷/(mg · kg ⁻¹)	总钾/ %	速效钾/(mg · kg ⁻¹)
针叶林	祁连圆柏	4. 27	0. 21	221. 48	0. 06	15. 98	2. 01	104. 50
	青海云杉	5. 47	0. 27	262. 15	0. 04	17. 40	1. 93	90. 75
	华北落叶松	9. 37	0. 47	424. 38	0. 08	11. 04	1. 49	98. 00
	油 松	4. 24	0. 21	229. 64	0. 06	12. 55	1. 81	84. 00
阔叶林	白桦林	3. 70	0. 19	359. 80	0. 07	6. 18	1. 95	97. 00
	青杨林	7. 15	0. 36	267. 23	0. 08	19. 89	1. 93	94. 00
	山杨林	3. 70	0. 19	359. 80	0. 07	6. 18	1. 95	97. 00
混交林	7 桦 3 云	5. 27	0. 27	269. 00	0. 05	9. 00	1. 87	108. 00
	8 桦 2 柏	3. 65	0. 31	279. 00	0. 09	13. 00	2. 06	132. 00
	9 云 1 柏	7. 42	0. 32	285. 00	0. 11	13. 00	2. 55	143. 00
	5 桦 2 糙 2 柏 1 云	9. 77	0. 38	311. 00	0. 11	16. 00	2. 73	155. 00
	6 云 4 桦	6. 76	0. 29	275. 00	0. 07	16. 00	1. 93	106. 00
	8 油 2 云	4. 15	0. 30	267. 00	0. 08	10. 00	1. 96	109. 00
灌木林	沙 棘	3. 24	0. 16	231. 30	0. 05	21. 02	1. 81	99. 33
	柠 条	0. 47	0. 02	85. 40	0. 05	3. 00	1. 59	90. 00
	金露梅	6. 03	0. 30	309. 63	0. 08	8. 28	1. 63	92. 67
对照样地	荒山荒坡	0. 38	0. 02	76. 47	0. 04	4. 32	1. 75	88. 63

3.2.2 土壤氮元素分析 土壤全氮含量是土壤氮素养分的贮备指标,土壤氮素的消长,主要决定于生物积累和分解作用的相对强弱、气候、植被、耕作制度诸因素。全氮量和碱解氮能较好地反映出土壤氮素供应水平^[13]。研究区各植被类型和林分类型土壤氮含量情况见图 1。

从图 1 可以看出,不同植被类型土壤的总氮含量范围在 0. 019%~0. 309%之间,其养分等级与土壤

有机质等级相同;土壤的速效氮含量范围在 76. 47~328. 94 mg/kg 之间,除了荒山荒坡为 4 级外,其它植被类型均为 1 级,土壤总氮和速效氮含量变化规律比较一致,其大小顺序为:混交林> 针叶林> 阔叶林> 灌木林> 荒山荒坡。不同林分类型,土壤的总氮含量在 0. 019%~0. 469%之间,土壤的速效氮含量在 76. 47~424. 38 mg/kg 之间,其中华北落叶松的土壤总氮和速效氮含量都是最高,不同林分类型土壤的总

氮和速效氮含量的变化规律也比较一致, 土壤的总氮养分等级与土壤有机质等级相同, 速效氮除了柠条和荒山荒坡属于 4 级外, 其它林分类型均达到 1 级。由以上分析可知, 土壤中的总氮和速效氮普遍偏高, 而且不同植被类型和林分类型土壤总氮和速效氮变化同有机质变化一致。这主要是由于土壤中的氮素是一种以生物来源为主的植物营养元素^[14], 所以土壤氮素含量与土壤有机质的积累密切相关, 一般情况下土壤有机质越高含氮量也越高。



注: A 祁连圆柏; B 青海云杉; C 华北落叶松; D 油松; E 白桦林; F 青杨林; G 山杨林; H 7 桦 3 云; I 8 桦 2 柏; J 9 云 1 柏; K 5 桦 2 桤 2 柏 1 云; L 6 云 4 桦; M 8 油 2 云; N 沙棘; O 柠条; P 鑫露梅; Q 荒山荒坡。下同。

图 1 土壤氮含量比较

3.2.3 土壤磷元素分析 全磷是衡量土壤中各种形态磷素总和的一个指标, 而速效磷相对地说明了土壤的供磷水平, 可以作为判断是否必要施肥的依据, 在实际生产中有重大意义。研究区各植被类型和林分类型土壤磷含量情况见图 2。

从图 2 可知, 不同植被类型, 土壤的总磷含量在 0.04%~0.09% 之间, 其中, 混交林和阔叶林的总磷含量达到 4 级, 而针叶林、灌木林和荒山荒坡达到 5 级, 混交林的总磷含量最大, 为 0.09%, 荒山荒坡的总磷含量最小, 为 0.04%; 土壤的速效磷在 4.32~14.24 mg/kg 之间, 除了荒山荒坡速效磷含量为 5 级外, 其它植被类型均为 3 级, 而针叶林的速效磷含量最高, 达到 14.24 mg/kg。不同林分类型, 土壤的总磷含量达到 4 级的有混交林、华北落叶松、青杨林和金露梅, 而其它林分类型均达到 5 级; 土壤的速效磷含量在 3~21.02 mg/kg 之间, 其中, 沙棘的速效磷含

量最大, 达到 2 级, 白桦林、山杨林和金露梅的速效磷含量达到 4 级, 柠条和荒山荒坡的含量最小, 仅为 5 级, 其它林分类型均达到 3 级。由以上分析可知, 各植被类型和林分类型土壤的磷元素含量普遍不高。造成这种结果的原因主要有各植被类型和林分类型土壤表层的枯落物厚度不同, 从而有机质的腐烂程度也不同, 造成磷含量的不同^[15]。

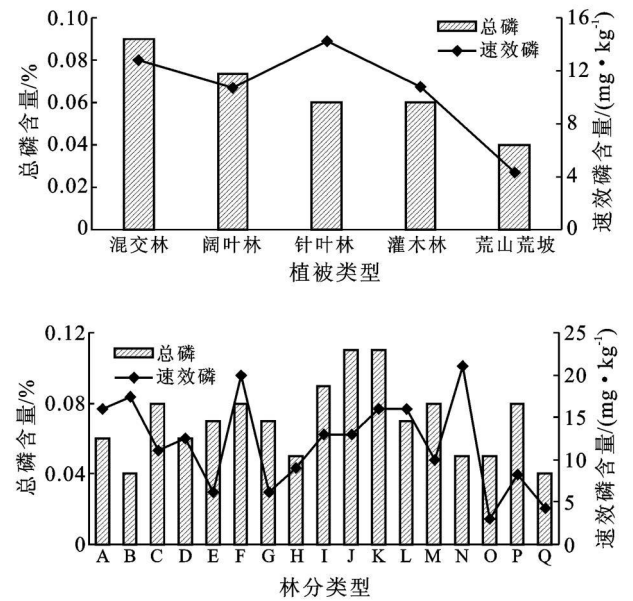


图 2 土壤磷含量比较

3.2.4 土壤钾元素分析 土壤钾是植物光合作用、淀粉合成和糖类转化所必需的元素, 也是衡量土壤肥力的一个重要指标。研究区各植被类型和林分类型土壤氮钾含量情况见图 3。

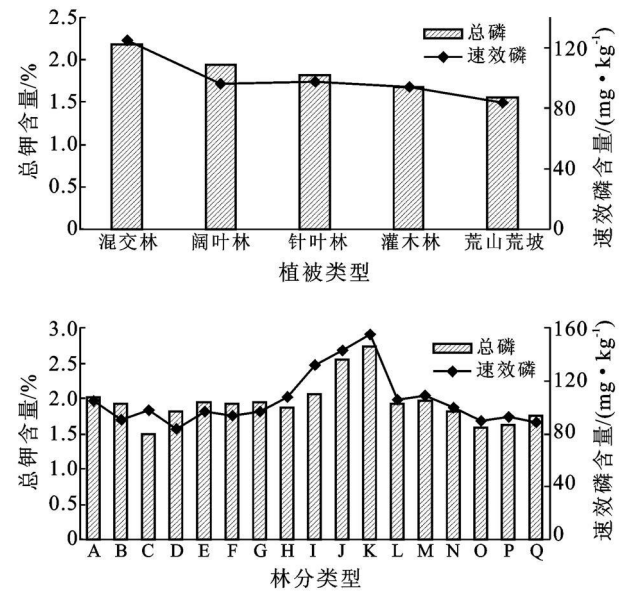


图 3 土壤钾含量比较

钾素是植物生长所必需的营养成分之一,植物所能利用的钾是速效钾,它能真实反映土壤中钾素的供应情况^[5]。从图 3 可知,不同植被类型,土壤的总钾含量在 1.35%~2.18%之间,其中,混交林的总钾含量最大,达到 1 级,阔叶林、针叶林和灌木林的含量次之,达到 3 级,而荒山荒坡的含量最小,达到 4 级;土壤的速效钾含量在 88.63~125 mg/kg 之间,其中,混交林的速效钾含量达到 3 级,其它均达到 4 级。不同林分类型,土壤的总钾含量达到 2 级的有所有混交林林分类型和祁连圆柏,除了荒山荒坡为 4 级标外,其它林分类型均达到 3 级;土壤的速效钾含量除了混交林的林分类型和祁连圆柏达到 3 级外,其它均为 4 级。由以上分析可知,土壤中的钾元素含量普遍很少,这与当地的土壤质地有关。

4 结论

(1) 通过比较可知,混交林林下土壤容重的平均值最小,而林下土壤毛管孔隙度的平均值最大,这说明混交林林下土壤表层疏松多孔,具有较高的水源涵养和水土保持功能。

(2) 在林地土壤养分方面,不同林分下调落物的数量、化学成分和分解速率不同,使得土壤养分状况有较大差异。各植被类型土壤有机质、氮、磷、钾分布规律基本一致:混交林>针叶林>阔叶林>灌木林>荒山荒坡;不同林分类型中华北落叶松林下土壤的氮元素含量最高,而磷钾含量相对偏少,青杨林林下土壤的磷元素含量最高,而氮钾含量相对偏少,白桦—糙皮桦—祁连圆柏—云杉混交林(5:2:2:1)林下土壤的钾元素含量最高,而氮磷含量相对偏少。综合比较而言,混交林能很好的促进有机质、氮、磷、钾含量的增加,改善土壤养分状况,有利于土壤肥力的持续。

(3) 建议对该区域不同林分下土壤进行长期定位调查分析,并结合当地森林植被类型开展综合研究,掌握各林型土壤的动态变化,揭示不同林分类型对土壤理化性状的影响。

(4) 建议当地政府应针对不同林地土壤的特点,调整林分模式,积极营造混交林,改善林地生态环境,以维护黄土丘陵区林地的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] 渠开跃,代力民,冯慧敏,等.辽东山区不同林型土壤有机质 NPK 分布特征[J].土壤通报,2009,40(3):558-562.
- [2] 宋会兴,苏智先,彭远英.山地土壤肥力与植物群落次生演替关系研究[J].生态学杂志,2005,24(12):1531-1533.
- [3] 耿玉清,余新晓,孙向阳,等.北京八达岭地区油松与灌丛林地土壤肥力特征的研究[J].北京林业大学学报,2007,29(2):50-54.
- [4] 黄志宏,田大伦,周光益,等.广东南岭不同林分类型土壤养分状况比较分析[J].东北林业大学学报,2009,37(9):63-67.
- [5] 林培松,尚志海.韩江流域典型区不同森林类型土壤理化性质初步研究[J].水土保持研究,2009,16(3):117-120.
- [6] 于法展,齐芳燕,李淑芬,等.江西庐山自然保护区不同森林植被下土壤理化性状研究[J].苏州科技学院学报:自然科学版,2009,26(3):68-71.
- [7] 王政权,王庆成.森林土壤物理性质的空间异质性研究[J].生态学报,2000,20(6):945-950.
- [8] 黄庆丰,高健,吴泽民.不同森林类型土壤肥力状况及水源涵养功能的研究[J].安徽农业大学学报,2002,29(1):82-86.
- [9] 陈少雄.桉树人工林土壤养分现状与施肥研究[J].桉树科技,2009,26(1):52-63.
- [10] 刘鸿雁,黄建国.缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J].应用生态学报,2005,16(11):2041-2046.
- [11] 秦嘉海,金自学,王进,等.祁连山不同林地类型对土壤理化性质和水源涵养功能的影响[J].水土保持学报,2007,21(1):92-95.
- [12] 黄昌勇.土壤学[M].1版.北京:中国农业出版社,2000:291-292.
- [13] 薛立,吴敏,徐彦,等.几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J].土壤学报,2005,42(6):1017-1023.
- [14] 林德喜,樊后保,苏兵强,等.马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究[J].土壤学报,2004,41(4):655-659.
- [15] 李燕,薛立,曹鹤,等.杉木皆伐后土壤养分的变化[J].土壤通报,2009,40(5):1077-1081.