

鲁中山地侧柏人工林土壤质量评价及 林分密度的影响作用

杜振宇, 葛忠强, 王清华, 梁 燕, 李宗泰, 刘桂民

(山东省林业科学研究院, 济南 250014)

摘 要:为了解鲁中山地长期侧柏人工林土壤质量状况,研究不同林分密度对土壤质量的影响,为人工林的合理经营提供科学依据。以鲁中山地不同密度(1 300~6 400 株/hm²)侧柏人工林样地土壤为研究对象,通过野外调查和室内分析,采用因子分析法研究了长期侧柏林土壤的物理、化学、生物及综合质量,并探讨了林分密度对侧柏人工林土壤质量的影响。结果表明:供试侧柏林地土壤质量综合得分与土壤硬度、有机质含量、过氧化氢酶活性均呈显著正相关($p<0.05$),与毛管孔隙度、水解氮含量、脲酶活性具有极显著的正相关关系($p<0.01$)。相比之下,黑峪林场侧柏林土壤整体质量优于燕子山林场和原山林场,后两者相差不大。随林分密度增加,侧柏林土壤化学、生物和综合质量均表现出显著下降;林分密度增加会增加植物对养分的吸收,降低林内凋落物分解速率,不利于人工林系统内的养分再循环,从而导致林地土壤质量的下降。在林分密度较低($<2\ 500$ 株/hm²)时,土壤质量平均得分分别是 2 500~3 500 株/hm²、3 500~4 500 株/hm² 和 $>4\ 500$ 株/hm² 密度组的 2.11、2.02、2.27 倍。鲁中山地侧柏林土壤质量受林分密度影响较大,在林分密度低于 2 500 株/hm² 时具有较高的土壤化学、生物和综合质量。建议对鲁中山地侧柏人工林采取合理间伐措施,降低林分密度,提高林地土壤质量,以利于侧柏林可持续经营,从而更好地发挥生态效益。

关键词:鲁中山地; 侧柏人工林; 土壤质量; 林分密度

中图分类号:S714.2; S753.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)02-0128-08

Assessment on Soil Quality of *Platycladus orientalis* Plantations in Central Mountainous Areas of Shandong Province and the Influence of Stand Density

DU Zhenyu, GE Zhongqiang, WANG Qinghua, LIANG Yan, LI Zongtai, LIU Guimin

(Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China)

Abstract: In order to understand the soil quality of long-term *Platycladus orientalis* plantations in central mountainous area of Shandong Province, and to study the effects of different stand densities on soil quality, based on field investigation and indoor analysis, the physical, chemical, biological and comprehensive quality of the soils of *Platycladus orientalis* plantations with different densities (1 300~6 400 trees/hm²) in central mountainous area of Shandong Province were studied by factor analysis, and the effects of stand densities on soil quality of plantations were discussed. The results showed that comprehensive scores of soil quality of *Platycladus orientalis* plantations were significantly and positively correlated with soil hardness, organic matter content and catalase activity ($p<0.05$), and had highly significant correlation with capillary porosity, available N content and urease activity ($p<0.01$). In comparison, average soil quality of *Platycladus orientalis* plantations in Heiyu forest farm was better than those in Yanzishan and Yuanshan forest farm, and the latter two differed slightly. The physical, chemical, biological and comprehensive quality scores of forest soils significantly decreased with the increase of stand density. Increasing stand density could increase plant nutrient uptake and decrease litter decomposition rate, which is not conducive to nutrient recycling in plantation system, resulting in a decline in soil quality of forest land. The average score of soil quality at low density ($<2\ 500$ trees/hm²) was 2.11, 2.02 and 2.27 times as much as those at stand densities of 2 500~3 500 trees/hm², 3 500~4 500 trees/hm² and $>4\ 500$ trees/hm², respectively. These results indicated that the soil qual-

收稿日期:2019-04-19

修回日期:2019-05-21

资助项目:山东省重点研发计划(2016GNC111008);山东省林业科技创新项目(LYCX03-2018-14)

第一作者:杜振宇(1973—),男,山东枣庄人,研究员,主要从事森林土壤、林木营养和森林生态方面研究。E-mail:zydu@qq.com

通信作者:王清华(1973—),女,山东烟台人,研究员,主要从事森林生态方面研究。E-mail:wqh0228@foxmail.com

ity of *Platycladus orientalis* plantations was greatly affected by stand density in central mountainous areas of Shandong Province. The soil chemical, biological and comprehensive qualities were higher when the stand density was less than 2 500 plants/hm². It is suggested that rational thinning measures should be taken to reduce stand density and improve soil quality in order to facilitate sustainable management of *Platycladus orientalis* plantation in central mountainous area of Shandong Province, so as to bring ecological benefits into full play.

Keywords: central mountainous areas of Shandong Province; *Platycladus orientalis* plantation; soil quality; stand density

土壤是农业、林业及其他自然生态系统的基础,是人类生存最重要的资源。土壤质量是指土壤具有维持生物的生产力、保护环境质量和促进动植物健康的能力^[1]。Doran 等^[2]认为土壤质量和土壤健康具有相同含义。近年来,国内外许多学者针对土壤质量开展了大量研究工作,但土壤质量的定量化评价仍然没有形成统一的标准^[3]。

随着森林生态系统健康理念的深入发展,森林土壤质量也逐渐引起人们的关注。森林土壤质量评价是森林土壤质量研究的基础和重要内容之一,对于诊断自然或人为因素引起的林地土壤结构紊乱,森林土壤退化以及所引起的功能失调具有重要意义。国内针对人工林土壤质量评价也开展了较多研究,涉及树种主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)^[4]、马尾松(*Pinus massoniana*)^[5]、落叶松(*Larix gmelinii*)^[1,6]、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)^[7]、柠条(*Caragana korshinskii*)^[8]、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[9]、山杨(*Populus davidiana*)^[10]、红豆杉(*Taxus chinensis*)等^[11]。在目前针对人工林土壤质量的评价中,研究者均是选择若干个土壤物理、化学、生物学指标组成一个指标集,对土壤肥力或整体质量进行综合评价,未能对土壤物理、化学和生物等各类质量进行比较分析,从而影响了林地土壤质量的深入了解,存在较大局限性。林分密度是影响土壤性质的关键因素,而关于林分密度对人工林土壤质量影响的研究鲜见报道。

侧柏(*Platycladus orientalis*)耐干旱瘠薄能力强,是我国北方山区主要造林树种,对荒山绿化、水土保持、净化空气等具有重要意义。山东省是我国侧柏林中心分布区之一。鲁中山地侧柏人工林多为 20 世纪 60 年代营造,造林时密度普遍很大,由于后期缺乏间伐、更新等科学抚育措施,目前林分密度多数仍在 3 000 株/hm² 以上,郁闭度一般为 0.6~0.9,导致侧柏林木生长缓慢,林下植被稀疏,水土流失严重。该区侧柏林地处于土层较薄的青石山坡地,林地土壤性状相对较差。目前关于侧柏林地土壤质量评价的研究很少,仅有李淑芬等^[12]在针对苏北低山丘陵区森林

土壤健康评价中,选取了一块侧柏样地与其他林地进行了对比研究;尚未有关于鲁中山地侧柏人工林土壤质量评价的研究报道。本研究对鲁中山地的侧柏林的土壤物理、化学、生物和综合质量进行系统研究,并探讨林分密度对各类土壤质量的影响作用,旨在为干旱瘠薄山地侧柏人工林的健康管理提供理论基础和技术依据。

1 研究区概况

鲁中山区位于山东省中部,行政区划主要有济南、淄博、泰安等地市,山地与丘陵占总面积的 70% 以上,属于山东省内地势最高、山地最集中的区域,海拔 1 000 m 以上的山地有泰山、鲁山、沂山等。由这些主峰向四周逐渐降低为海拔 500 m 以下的低山丘陵。该区属于暖温带湿润气候区,年平均气温 12~14℃,极端低温为-18~-14℃,≥10℃积温由东向西递增,约为 4 200~4 600℃。无霜期 190~210 d,年平均降水量为 600~900 mm,降雨主要集中在 6—9 月,约占全年降水量的 3/4。年平均空气相对湿度为 60%,为半湿润状态。由于酸性母岩与钙质呈相间分布,区域内土壤以棕壤与褐土为主,植被以落叶阔叶林和温性针叶林为主。其中,棕壤上以麻栎(*Quercus acutissima*)、赤松(*Pinus densiflora*)、油松为代表,褐土上则以侧柏、榆树(*Ulmus pumila*)和朴树(*Celtis sinensis*)为主^[13]。

2 研究方法

2.1 样地设置

在研究区选取 22 块有代表性的不同密度长期侧柏人工林地作为研究对象,每块样地面积均为 20 m×20 m,其中 1—6 号样地位于济南市燕子山林场,7—14 号样地位于济南市黑峪林场,15—22 号样地位于淄博市原山林场。所有样地的侧柏人工林均于 20 世纪 60 年代造林,林龄相近,林地的土壤类型为褐土,大多由石灰岩母质发育而成,林下植被主要有君迁子(*Diospyros lotus*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、荆条(*Vitex negundo* var. *Heterophylla*)、羊须草(*Carex*

callitrichos)、珍珠菜(*Lysimachia clethroides*)等。调查各块样地的林分生长特征和立地因子,样地调查因子包括:林分密度、胸径、树高、郁闭度、林下盖度、坡度、坡向、海拔、坡位等,结果见表 1。

表 1 不同密度侧柏人工林样地基本概况

编号	密度/ (株·hm ⁻²)	林龄/ a	平均树高/ m	平均胸径/ cm	郁闭度	林下盖度/ %	坡度/ (°)	坡向	海拔/ m	坡位
1	4000	50	6.07	8.94	0.50	10	22	南偏东 10°	224	下坡
2	5800	50	8.62	8.77	0.90	20	30	北偏东 2°	157	中坡
3	5200	50	6.59	11.06	0.70	20	30	西偏北 44°	193	下坡
4	3000	50	9.46	11.90	0.70	80	22	西偏北 24°	139	下坡
5	2600	50	11.85	15.44	0.60	60	32	东偏北 6°	179	下坡
6	5100	50	6.09	8.26	0.40	15	26	南偏西 5°	224	中坡
7	4000	51	9.26	14.36	0.70	35	24.5	北偏东 40°	355	中坡
8	2800	51	11.02	15.84	0.60	65	16	东偏南 18°	414	中坡
9	1300	51	11.19	17.10	0.40	90	13	东	411	中坡
10	3100	51	10.91	12.22	0.90	10	22	西偏北 10°	390	中坡
11	3600	51	10.38	13.98	0.70	90	0	北	395	平地
12	2300	51	10.34	15.48	0.70	90	13	北	340	下坡
13	3200	51	10.05	13.74	0.65	80	19	西偏南 40°	372	下坡
14	4300	51	8.83	12.22	0.85	10	22	西偏南 40°	391	下坡
15	3300	48	9.37	10.20	0.85	40	10	北	321	中坡
16	6400	48	7.01	7.34	0.80	90	23	北偏西 10°	282	中坡
17	3000	48	7.14	10.59	0.50	90	25	北偏西 10°	343	上坡
18	3000	48	9.59	10.42	0.75	80	27.5	东偏南 34°	402	中坡
19	2900	48	9.74	14.37	0.70	85	28	东偏南 16°	362	中坡
20	3000	48	9.94	11.07	0.80	35	35	北偏东 40°	361	中坡
21	2400	48	10.35	14.04	0.70	80	26	东	362	中坡
22	2100	48	9.89	16.48	0.65	60	30	北偏东 38°	384	中坡

2.2 采样方法

2017 年 6 月在每块样地采用蛇形取样法采集土壤样品,随机选取 4 个采样点,用土钻采集 0—20 cm 土层样品,每个采样点约 1 kg,去除其中的植物根系、动植物残体,混合均匀后用四分法取 1 kg 土样,装袋后带回实验室。将土样置于实验室阴凉处自然风干,分成两份,分别过 20 目筛和 100 目筛备用。

2.3 评价指标与测定方法

2.3.1 土壤物理指标 本研究选取土壤物理指标 8 个,分别为土壤硬度、腐殖层厚度、容重、孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管持水量、黏粒含量。土壤硬度和腐殖层厚度分别采用硬度计和钢尺直接测定,沿样地对角线每隔 1 m 取一个测量点,取各点测量结果的平均值。由于土壤硬度受含水量影响较大,选择近 15 d 内没有降雨的日期进行测定。土壤容重采用环刀法测定,规格为 100 cm³;采用环刀浸水法测定土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和毛管持水量^[4]。黏粒含量采用吸管法测定^[14]。

2.3.2 土壤化学指标 选取土壤化学指标 7 个,分别为 pH 值、电导率(EC)、阳离子交换量(CEC)、有机质、水解氮、有效磷、有效钾。土壤 pH 值采用酸度计测定,

水土比为 1 : 2.5;电导率采用电导率仪测定,水土比为 1 : 5;CEC 采用 EDTA-乙酸铵混合液交换法测定;采用油浴加热—重铬酸钾容量法测定土壤有机质含量;水解氮含量的测定采用碱解扩散法;有效磷含量采用碳酸氢钠溶液浸提—钼蓝比色法测定;采用中性醋酸铵溶液浸提—火焰光度计法测定土壤有效钾含量^[15]。

2.3.3 土壤生物指标 选取土壤生物指标 4 个,分别为过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性和细菌数量。土壤酶活性的测定参照关松荫^[16]编著的《土壤酶及其研究法》。土壤细菌数量测定采用稀释平板涂布法^[17]。

2.4 土壤质量评价方法

由于各类土壤指标对土壤质量的影响并不一致,采用因子分析法对侧柏人工林地的土壤物理、化学和生物质量分别进行评价,具体步骤见参考文献[18—19]。首先将各指标测定数据进行标准化变换,然后通过计算提取出累计贡献率超过 80%的公因子,建立因子模型;用线性回归方法将公因子表达成可观测变量的函数,计算出公因子得分;再将公因子得分与公因子权重相乘,得到各样地的因子得分;将因子得分按下式进行标准化处理,因子得分最低的样本综合分值为 0,最高的分值为 1,其余样本分值介于 0~1。

$$Y'_i = \frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}}$$

式中:Y'_i 为转换后的数据,为各样地的土壤物理(化学、生物)质量分值;Y_i 为样本的因子得分;Y_{max} 为样本中最大因子得分;Y_{min} 为最小因子得分。取土壤物理、化学和生物质量分值的平均值,并进行标准化变换后,作为该样地的土壤质量综合得分。

2.5 数据分析

利用 Excel 2007 软件进行数据处理与图表制作,采用 statistiXL 1.8 软件进行描述性统计分析、相关性分析和因子分析。

3 结果与分析

3.1 公因子提取及贡献率

将供试侧柏人工林土壤样品的 8 个物理指标、7 个化学指标和 4 个生物指标分别进行因子分析来评价土壤物理质量、化学质量和生物质量。3 类土壤指标数据经标准化后通过计算,分别选择前 4,4,3 个公因子,累积方差贡献率分别为 91.43%,84.26%,92.16%(表 2),均包含了绝大部分原始数据的足够信息,能满足因子分析的要求。因子分析中一般要求所提取的公因子能反映全部信息的 80%以上即可。

表 2 土壤物理、化学和生物学性质公因子特征根及贡献率

评价对象	功能类别	公因子 1	公因子 2	公因子 3	公因子 4
土壤物理质量	特征值	3.31	1.98	1.07	0.96
	贡献率/%	41.37	24.71	13.35	11.99
	累计贡献率/%	41.37	66.08	79.43	91.43
土壤化学质量	特征值	2.75	1.34	1.11	0.70
	贡献率/%	39.27	19.13	15.84	10.02
	累计贡献率/%	39.27	58.40	74.24	84.26
土壤生物质量	特征值	1.62	1.10	0.96	
	贡献率/%	40.60	27.50	24.06	
	累计贡献率/%	40.60	68.10	92.16	

3.2 公因子载荷及权重确定

为突出各个主因子的典型代表变量,采用方差极大(Varimax)旋转法,求得旋转后公因子载荷表(表 3)。由表 3 可以看出,在土壤物理质量评价中决定公因子 1 的主要是土壤容重、土壤孔隙度、非毛管孔隙度,公因子 2 主要反映了毛管孔隙度,公因子 3 和公因子 4 则分别主要由土壤黏粒含量和腐殖层厚度决定,这也说明土壤通气性对物理质量具有重要影响作用;在土壤化学质量评价中,公因子 1 主要由 CEC 和水解氮决定,公因子 2 则主要由有效磷和有效钾决定,公因子 3 和公因子 4 则分别由土壤 EC 和 pH 值决定,这说明土壤养分决定了土壤的化学质量。对于土壤生物质量而言,公因子 1 主要反映了过氧化氢酶

和脲酶活性,公因子 2 和公因子 3 则分别由蔗糖酶和细菌数量决定。

由于各个公因子对土壤质量的影响程度不尽相同,因此必须对各公因子赋予不同的权重,以区分不同公因子影响作用的大小。为了更合理地确定权重,客观突出各公因子的影响程度,以公因子特征根贡献率作为该公因子的权重值^[20]。

表 3 旋转后公因子载荷

评价对象	指标	公因子 1	公因子 2	公因子 3	公因子 4
土壤物理质量	土壤硬度	0.045	-0.436	0.581	-0.277
	腐殖层厚度	-0.066	-0.034	0.026	-0.981
	毛管孔隙度	0.012	0.961	-0.075	0.095
	容重	0.920	-0.376	-0.030	0.019
	孔隙度	-0.919	0.376	-0.013	-0.015
	非毛管孔隙度	-0.913	-0.384	0.046	-0.090
	毛管持水量	-0.456	0.870	-0.028	-0.074
	黏粒	-0.057	0.059	0.923	0.074
土壤化学质量	pH 值	-0.128	0.233	0.065	0.927
	电导率	-0.038	-0.113	-0.916	-0.136
	有机质	0.569	-0.157	-0.605	0.199
	CEC	0.888	-0.151	0.207	-0.048
	碱解氮	0.843	0.024	-0.377	-0.244
	有效磷	0.083	0.843	0.060	0.331
	有效钾	0.456	-0.704	-0.188	0.016
	过氧化氢酶活性	0.907	-0.211	0.034	
土壤生物质量	脲酶活性	0.876	0.295	0.024	
	蔗糖酶活性	0.024	0.980	0.035	
	细菌数量	0.035	0.034	0.999	

3.3 土壤质量评价结果

按因子分析的要求计算各样地土壤物理、化学和生物质量主要公因子得分值,然后将各公因子得分与权重值分别相乘,加合后得到各个样地不同土壤性质的质量分值,进而计算得出土壤质量综合得分(表 4)。将土壤质量综合得分与所有 19 个土壤指标进行 Pearson 相关分析,分析结果表明,土壤质量综合得分与土壤硬度、有机质和过氧化氢酶活性量的相关性达到显著水平,与毛管孔隙度、水解氮和脲酶活性达到极显著水平(表 5)。

评价结果表明,土壤物理、化学和生物质量分值最高的样块分别为 6 号、21 号和 22 号;土壤质量综合得分最高的样地为 22 号,最低的为 10 号样地。通过对各调查地点进行比较可知,3 个调查地点燕子山林场、原山林场和黑峪林场的土壤质量平均得分分别为 0.37,0.35,0.42,黑峪林场的土壤质量相对较好一些。由图 1 可以看出,燕子山林场土壤的物理质量、原山林场的土壤化学质量和黑峪林场的土壤生物质量相对较好。

表 4 不同密度侧柏人工林土壤质量评分结果

编号	密度/ (株·hm ⁻²)	质量分值			土壤质量 综合得分
		物理性质	化学性质	生物学性质	
1	4000	0.879	0.418	0.264	0.419
2	5800	0.455	0.396	0.537	0.336
3	5200	0.581	0.279	0.257	0.205
4	3000	0.698	0.659	0.706	0.662
5	2636	0.776	0.068	0.559	0.343
6	5102	1.000	0.186	0.038	0.256
7	4000	0.812	0.339	0.894	0.653
8	2800	0.260	0.362	0.876	0.389
9	1300	0.748	0.400	0.925	0.667
10	3100	0.196	0.068	0.430	0.000
11	3600	0.426	0.022	0.545	0.145
12	2300	0.681	0.131	0.642	0.368
13	3200	0.484	0.188	0.945	0.447
14	4300	0.276	0.000	0.627	0.102
15	3300	0.396	0.533	0.637	0.422
16	6400	0.795	0.252	0.428	0.377
17	3000	0.000	0.483	0.698	0.236
18	3000	0.704	0.114	0.000	0.060
19	2856	0.555	0.241	0.373	0.230
20	3000	0.625	0.406	0.440	0.376
21	2360	0.480	1.000	0.515	0.629
22	2100	0.818	0.944	1.000	1.000

3.4 林分密度对土壤质量的影响

Pearson 相关分析表明,林分密度与土壤生物质量之间的相关系数为-0.438,相关性达到显著水平($p<0.05$),而与土壤物理、化学质量及土壤综合质量

之间的相关系数分别为 0.113, -0.281, -0.344, 均没有达到显著性水平;但由图 2 可以明显看出,随林分密度增加,土壤化学、生物质量分值和土壤质量综合分值均呈明显下降趋势,而土壤物理质量分值没有明显变化规律。

表 5 侧柏人工林土壤质量综合得分与不同指标之间的相关性

指标	相关系数	指标	相关系数
土壤硬度	-0.481*	有机质	0.448*
腐殖层厚度	-0.026	CEC	0.625**
毛管孔隙度	0.616**	水解氮	0.658**
容重	-0.130	有效磷	0.336
孔隙度	0.156	有效钾	0.417
非毛管孔隙度	-0.329	过氧化氢酶活性	0.497*
毛管持水量	0.414	脲酶活性	0.566**
黏粒	0.154	蔗糖酶活性	0.270
pH 值	0.011	细菌数量	0.200
电导率	-0.132		

注: * 和 ** 分别代表“显著”($p<0.05$)和“极显著”($p<0.01$)水平。

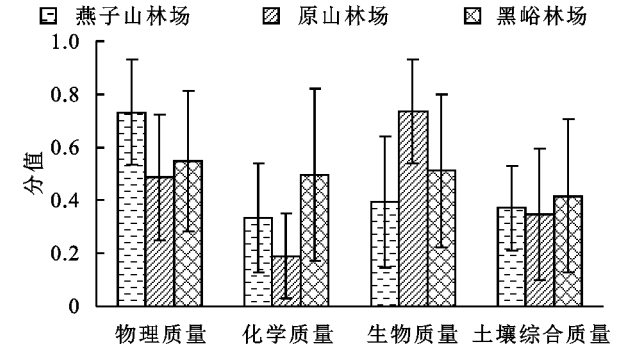


图 1 不同调查地点侧柏林的土壤质量分值

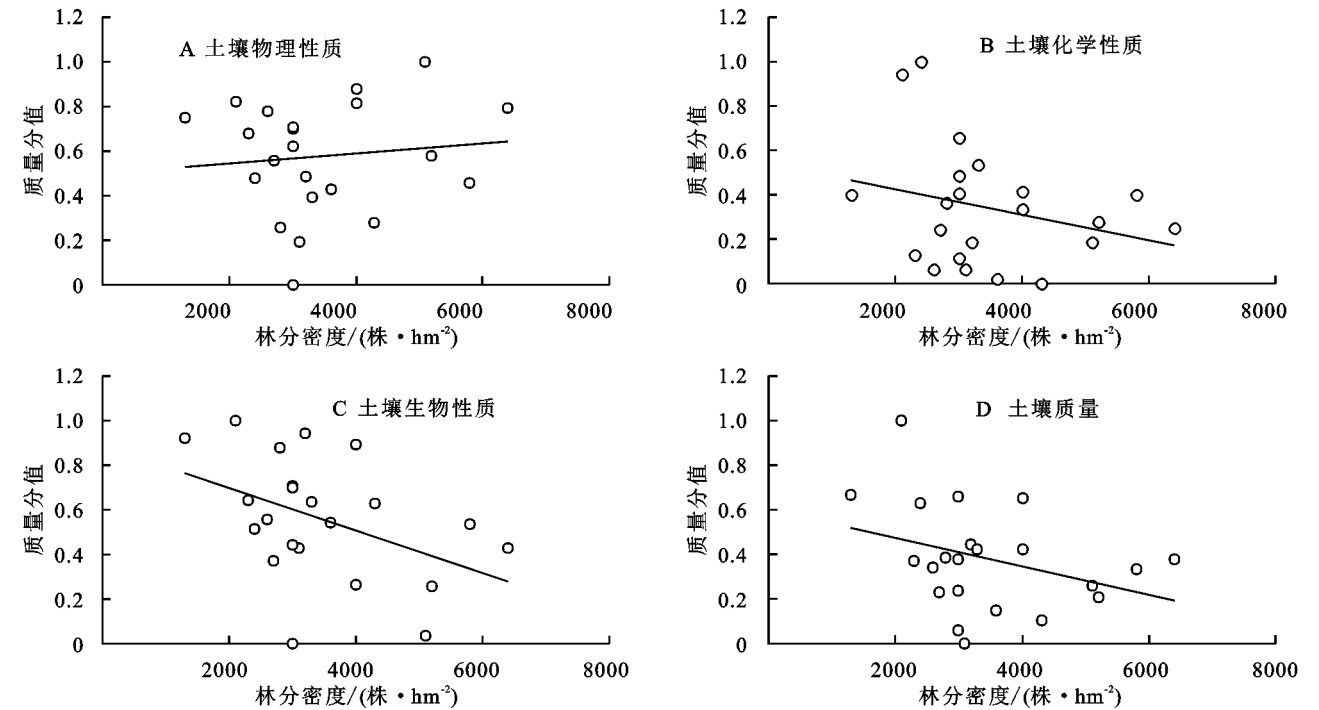


图 2 林分密度对土壤物理、化学、生物质量及综合质量的影响

根据鲁中山地长期侧柏人工林的密度分布情况,将供试侧柏林分成 4 组,分别为 <2500 , $2500 \sim 3500$, $3500 \sim 4500$, >4500 株/ hm^2 ,分别计算出各密度组林地土壤的物理质量、化学和生物质量平均分,以及土壤综合质量平均得分。通过对不同密度组进行比较可知(图 3),在林分密度较低时(<2500 株/ hm^2),土壤化学、生物质量和土壤综合质量均明显高于其他密度组;随林分密度增加,土壤物理质量平均分表现出先降后升的趋势。林分密度大于 2500 株/ hm^2 的 3 个密度组土壤质量得分非常接近,而 <2500 株/ hm^2 密度组的土壤质量平均得分为 0.67,分别是 $2500 \sim 3500$, $3500 \sim 4500$ 和 >4500 株/ hm^2 密度组的 2.11, 2.02, 2.27 倍。研究结果表明,鲁中山地长期侧柏林土壤质量受林分密度影响较大,密度较低时有利于林地土壤质量的提升,化学性质和生物性质也有明显改善。

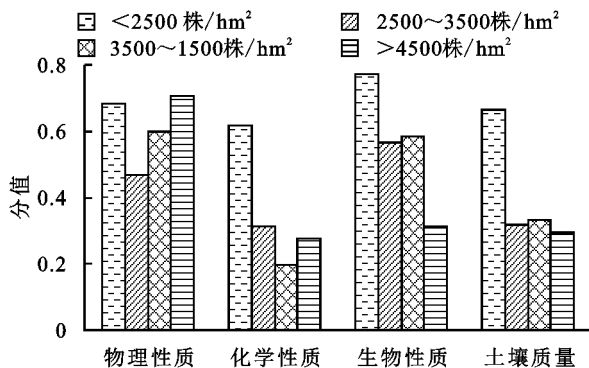


图 3 侧柏人工林不同密度分组的土壤质量分值

4 讨论与结论

4.1 侧柏人工林土壤质量评价指标与方法的选择

土壤质量是一个复杂的功能体,受地形、气候、成土母质、植被等自然因素和人为因素共同影响,不能直接测定,但可通过土壤质量指标来间接推测^[4]。在进行森林土壤质量评价时,关键是建立合理的评价指标体系以及选择适宜的评价方法。路鹏等^[21]提出在进行土壤质量评价时应包含物理、养分和生物这 3 类指标。由于土壤质量主要包括物理、化学质量和生物质量,因此选择评价指标时应从众多土壤物理、化学和生物学指标中选取。本研究主要从可比性、适用性、代表性、易测性等多方面考虑,选取了 8 个土壤物理指标,分别为腐殖层厚度、容重、孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、毛管持水量、黏粒含量和土壤硬度;7 个土壤化学指标,分别为 pH 值、电导率、CEC、有机质、水解氮、有效磷和有效钾,均是在土壤质量评价中被使用较多的主要指标。

土壤生物学性质主要包括土壤酶活性和微生物

特性等方面,是森林生态系统中土壤质量的重要研究内容,在一定程度上反映了土壤肥力状况。本研究选取了 4 个土壤生物学指标,分别为土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶和细菌数量。土壤酶具有专一性强、灵敏可靠的特点,与土壤理化性质、生物多样性等密切相关,常被运用于土壤质量评价和森林生态监测^[22]。但由于酶活性受外界环境影响较大,在将土壤酶用于土壤质量评价指标时,应该从总体上考虑酶活性,而不能只着眼于单一酶类型;土壤过氧化氢酶可促进过氧化氢分解,表征土壤的生物化学活性^[23],脲酶活性可反映氮素的转化强弱^[24],蔗糖酶能够体现土壤中有机碳的积累、分解和转化^[25],能够综合反映土壤生物学性质。

在土壤质量评价中,多数研究者基本上都是综合土壤物理、化学、生物学 3 大类指标,一起去评价而得出最终结果。国内外学者们使用的评价方法通常有:质量指数法、模糊数学法、层次分析法、灰色关联度法、主成分分析法、人工神经网络法、因子分析法等^[1,4],这些数学方法提供了定量化手段,促进了土壤质量评价的发展。在多种方法中,国内应用最多的是模糊数学法、质量指数法和主成分分析法,而国外常用的评价方法主要是质量指数法、质量模型、多元线性回归和相对质量法^[26]。本研究选用了因子分析法对鲁中山地长期侧柏林不同密度林地土壤质量进行综合评价。因子分析法能够更大幅度地降低不同指标之间相关性对评价结果的影响,比较准确反映林地土壤质量真实情况^[27]。

4.2 侧柏人工林林分密度对土壤质量的影响

林分密度是人工林经营的重要环节,直接影响到森林群落内水分和光、热的合理分配,会使林下生物多样性和林分结构发生改变^[28]。目前,关于人工林密度对林木生长和养分循环影响方面的研究较多^[29-31]。鲁昭伟等^[32]研究了北京山地不同密度侧柏人工林的土壤水文效应,结果表明土壤总孔隙度随林分密度($1500 \sim 2900$ 株/ hm^2)增加表现为先增大而后减小,土壤有效持水能力随林分密度增加表现为先减小后增大,以 1500 株/ hm^2 最强。康冰等^[33]研究了马尾松人工林林分密度($1050 \sim 2250$ 株/ hm^2)对土壤性质的影响,发现在 1800 株/ hm^2 密度时林地养分总体较高,土壤物理和化学特性要优于过疏或过密林分。林分密度过大时,针叶存留时间长,以凋落物形式归还给土壤的养分减少,不利于人工林系统内的养分再循环^[34],从而降低林地土壤质量。但尚未有人研究林

分密度对林地土壤质量的综合影响作用。

根据山东省第八次森林资源清查结果^[35],2014年侧柏人工林面积为11.36万hm²,占全省人工针叶林总面积的44.4%,是山东省栽植面积最大的针叶林树种,是鲁中山区瘠薄青石山地绿化造林的首要树种。目前该区侧柏人工林普遍存在密度过大,郁闭度过高,林木生长较差的问题。本研究采用因子分析对鲁中山地长期侧柏人工林土壤不同性质质量及土壤综合质量进行了分析评价,结果表明,随林分密度增加,土壤化学、生物质量和土壤综合质量均呈下降趋势,而土壤物理性质没有明显变化规律。林分密度与土壤生物质量之间存在显著负相关。在林分密度较低时(<2 500株/hm²),土壤化学性质、生物性质和土壤质量的平均分均明显高于其他密度组。

侧柏林木在林分密度较低时生长较好,胸径和树高均有大幅提高(表1),地上部生物量随之增加,林地表层枯落物也相应较多,枯落物分解产生了更多的有机酸,同时增加了土壤有机质和养分含量;林分密度过大则会加速植物对土壤养分的吸收,而侧柏林内凋落物的分解速率较低^[36],归还给土壤的养分减少,造成植物对养分的吸收速度大于养分补偿的速度,从而在长期入不敷出的情况下降低了土壤养分含量^[37],致使土壤化学和生物质量下降,进而降低了土壤综合质量。本研究发现,侧柏人工林土壤物理性质平均分随林分密度增加表现出先降后升的趋势。侧柏人工林在林分密度较低时,林下植被物种多样性较好^[38],植物根系对土壤的切割作用较强,同时会产生较厚的凋落物和腐殖质,加速土壤表层团粒的形成,使土壤疏松,增加孔隙度^[39],从而提高土壤物理质量。与林分密度对土壤化学、生物质量的影响不同,密度过高并未降低土壤物理性质,其中的影响机制尚不清楚,有必要在后续研究中进行深入探讨。

总的来说,鲁中山地长期侧柏林土壤质量受林分密度影响较大,密度较低时有利于林地土壤质量的提升。因此,应尽快对鲁中山地长期侧柏人工林采取合理间伐措施,降低林分密度,提高土壤质量,从而促进林分生长,以利于其更好地发挥生态效益。

参考文献:

- [1] 杨晓娟.东北长白山系低山丘陵区不同林分土壤肥力质量研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [2] Doran J W, Parkin T B. Defining and accessing soil quality [M]. Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, 1994.
- [3] 郑昭佩,刘作新.土壤质量及其评价[J].应用生态学报, 2003,14(1):131-134.
- [4] 马静.油松人工林土壤健康评价及生物调控研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.
- [5] 覃其云,唐健,邓小军,等.广西马尾松人工林土壤肥力评价研究[J].林业调查规划,2017,42(6):16-21,32.
- [6] 任丽娜,王海燕,丁国栋,等.华北土石山区人工林土壤健康评价研究[J].水土保持学报,2010,24(6):46-52.
- [7] 漆良华,范少辉,艾文胜,等.湘中丘陵区竹杉混交对毛竹林土壤质量的影响[J].山地学报,2012,30(3):314-320.
- [8] 张晋爱,张兴昌,邱丽萍,等.黄土丘陵区不同年限柠条林地土壤质量变化[J].农业环境科学学报,2007,26(S1):136-140.
- [9] 黄宇,汪思龙,冯宗炜,等.不同人工林生态系统林地土壤质量评价[J].应用生态学报,2004,15(12):2199-2205.
- [10] 胡建忠.山杨混交类型生产力及土壤质量综合评价[J].水土保持研究,1995,2(1):44-50.
- [11] 方向华.南方红豆杉林地土壤质量变化特征[D].南京:南京林业大学,2017.
- [12] 李淑芬,于法展,李保杰.苏北低山丘陵区典型性森林土壤健康评价研究[J].水土保持研究,2009,16(4):264-269.
- [13] 燕婷婷,朱清科,赵维军,等.基于SPEI的鲁中山区1958—2015年干旱特征分析[J].西北林学院学报,2017,32(6):162-168.
- [14] 国家林业局.森林土壤颗粒组成(机械组成)的测定LY/T1225—1999[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [15] 史瑞和.土壤农化分析[M].2版.北京:中国农业出版社,1990.
- [16] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [18] 段必挺,杨锡永,李发平,等.基于因子分析的土壤肥力综合评价[J].现代农业科技,2016,669(7):228-230.
- [19] 王清华,杜振宇,邢尚军,等.山东省主要公路路域生态环境评价[J].水土保持研究,2009,16(4):165-169.
- [20] 孙希华.山东农业生态环境质量评价与发展策略[J].山东师范大学学报:自然科学版,1999,14(2):161-165.
- [21] 路鹏,苏以荣,牛铮,等.土壤质量评价指标及其时空变异[J].中国生态农业学报,2007,15(4):190-194.
- [22] 吕瑞恒,刘勇,于海群,等.北京山区不同林分类型土壤肥力的研究[J].北京林业大学学报,2009,31(6):159-163.
- [23] 王兵,刘国彬,薛莲,等.黄土丘陵区撂荒对土壤酶活性的影响[J].草地学报,2009,17(3):282-287.
- [24] 孙文艳,廖超英,李晓明,等.毛乌素沙地东南部人工林土壤生物学特性[J].西北林学院学报,2013,28(3):28-33.
- [25] 张超,刘国彬,薛莲,等.黄土丘陵区不同林龄人工刺槐

林土壤酶演变特征[J].林业科学,2010,46(12):23-29.

[26] 黄勇,杨忠芳.土壤质量评价国外研究进展[J].地质通报,2009,28(1):130-136.

[27] 张连金,赖光辉,孔颖,等.基于因子分析法的北京九龙山土壤质量评价[J].西北林学院学报,2016,31(3):7-14.

[28] 李国雷,刘勇,吕瑞恒.华北落叶松人工林密度调控对林下植被发育的作用过程[J].北京林业大学学报,2009,31(1):19-24.

[29] 姚瑞玲,丁贵杰,王胤.不同密度马尾松人工林凋落物及养分归还量的年变化特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(5):83-86.

[30] 孙书存,高贤明,包维楷,等.岷江上游油松造林密度对油松生长和群落结构的影响[J].应用与环境生物学报,2005,11(1):8-13.

[31] 王艳霞,吴承祯,洪伟,等.杉木人工林生长对密度效应的响应[J].森林与环境学报,2007,7(1):25-29.

[32] 鲁昭伟,陈波,潘青华,等.北京山地不同密度侧柏人工林枯落物及土壤水文效应[J].水土保持学报,2013,27(1):224-228.

[33] 康冰,刘世荣,蔡道雄,等.马尾松人工林林分密度对林下植被及土壤性质的影响[J].应用生态学报,2009,20(10):2323-2331.

[34] 赵广亮,王继兴,王秀珍,等.油松人工林密度与养分循环关系的研究[J].北京林业大学学报,2006,28(4):39-44.

[35] 张伟,杨传强,赵青.山东省侧柏人工林立地指数表的编制[J].山东林业科技,2014,44(3):6-10.

[36] 孙千惠,吴霞,王媚臻,等.林分密度对马尾松林林下物种多样性和土壤理化性质的影响[J].应用生态学报,2019,39(3):732-738.

[37] 赵广亮,王继兴,王秀珍,等.油松人工林密度与养分循环关系的研究[J].北京林业大学学报,2006,28(4):39-44.

[38] 梁燕,葛忠强,谢同利,等.鲁中山地侧柏人工林下植物多样性分析与评价[J].山东林业科技,2018,48(2):19-27.

[39] 李民义,张建军,郭宝妮,等.晋西黄土区不同密度油松人工林林下植物多样性及水文效应[J].生态学杂志,2013,32(5):1083-1090.



(上接第 127 页)

[11] 高俊琴,欧阳华,白军红.若尔盖高寒湿地土壤活性有机碳垂直分布特征[J].水土保持学报,2006,20(1):76-86.

[12] 田玉强,欧阳华,宋明华,等.青藏高原样带高寒生态系统土壤有机碳分布及其影响因子[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2007,33(4):443-449.

[13] Lopez-Sangil L, Rovira P. Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: An integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013,62:57-67.

[14] Fortuna A, Harwood R R, Paul E A. The effects of compost and crop rotations on carbon turnover and the particulate organic matter fraction[J]. Soil Science, 2003,168(6):434-444.

[15] Walther G R. Community and ecosystem responses to recent climate change[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2010, 365(1549):2019-2024.

[16] Du B, Kang H, Pumpanen J, et al. Soil organic carbon stock and chemical composition along an altitude gradient in the Lushan Mountain, subtropical China[J]. Ecological Research, 2014,29(3):433-439.

[17] Leifeld J, Zimmermann M, Fuhrer J, et al. Storage and turnover of carbon in grassland soils along an elevation gradient in the Swiss Alps[J]. Global Change Biology, 2009,15(3):668-679.

[18] 李丹维,王子泉,田海霞,等.太白山不同海拔土壤碳、氮、磷含量及生态化学计量特征[J].土壤学报,2017,54(1):160-170.

[19] Six J, Conant R. T, Paul E, et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils[J]. Plant and Soil, 2002,241(2):155-176.

[20] Kammer A, Hagedorn F, Shevchenko I, et al. Tree-line shifts in the Ural mountains affect soil organic matter dynamics[J]. Global Change Biology, 2009,15(6):1570-1583.

[21] Hagedorn F, Mulder J, Jandl R. Mountain soils under a changing climate and land-use[J]. Biogeochemistry, 2010,97(1):1-5.