

针阔混交林次生演替过程中的群落组成及元素迁移特征

刘惠清, 许嘉巍, 刘佳雪

(东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

摘要: 针阔混交林次生演替过程中的群落组成及元素迁移特征具有重要的生态学意义。本文以吉林省左家自然保护区处不同演替阶段的红松针阔混交林群落为研究对象, 采用野外定点调查和室内分析方法, 对杂类草、榛子灌丛、蒙古栎林、蒙古栎—黑桦林、杂木林的群落组成、凋落物和土壤 A、B 层营养元素迁移特征进行对比分析。结果表明: 群落由杂类草演替为杂木林群落, 生境发生了由干热向温湿方向的变化; 元素迁移由有机质的表聚为主过渡为有机质、粘粒和营养元素明显下移, pH 值由偏中性转为弱酸性。

关键词: 红松针阔混交林; 演替过程; 元素迁移

文章编号: 1000-0585(2008)06-1331-09

红松针阔混交林群落是我国温带湿润地区的地带性植被, 广泛分布于小兴安岭和长白山地区。目前, 多为强度择伐后形成的天然次生林, 原始的红松针阔混交林仅占有林地面积的 1.15%^[1], 呈零星的斑块状分布。集中过量的采伐, 导致大量珍贵树种减少, 国家二类保护植物瓶尔小草 (*Ophioglossum vulgatum*)、对开蕨 (*Phyllitis japonicus*) 已处于濒临灭绝的境地^[2]。恢复红松针阔混交林群落, 是保护濒危物种的当务之急。但国内外对红松针阔混交林群落的研究主要集中于其对气候变化和人类干扰的响应^[3~7]、不同演替阶段凋落物和地下生物量的研究^[8~12], 对不同演替阶段植被、凋落物和土壤间的垂直联系及元素迁移特征、迁移规律的研究较少。本文通过对红松针阔混交林不同演替阶段的群落、凋落物和土壤间元素迁移、转化的对比分析, 探讨其变化的机理, 为不同演替阶段红松针阔混交林的有序恢复提供立论依据。

1 研究区概况

左家镇位于吉林省中东部, 处长白山地向中西部平原过渡的丘陵地带, 地理位置为 44°03'~44°04'N, 126°00'~126°02'E, 年均温为 4.8℃; 1 月最冷, 月均温为 -17.2℃, 7 月最热, 月均温为 22.2℃。年降水量为 661.9mm, 6~9 月降水占全年降水量的 74.4%, 湿润度为 1.1, 属温带湿润气候区。地貌以丘陵为主, 海拔约为 245~550m, 地表基岩多为中生代燕山运动时期的花岗岩侵入体, 原生植被为红松针阔混交林, 土壤为暗棕壤。受人类干扰的影响, 目前的丘陵多被杂木林、蒙古栎—黑桦林、蒙古栎林、榛子灌丛、杂类草等处不同演替阶段的群落所覆盖。

收稿日期: 2008-04-27; 修订日期: 2008-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40771014)

作者简介: 刘惠清 (1949-), 女, 吉林长春人, 博士, 教授。主要从事综合自然地理、景观生态学研究。

E-mail: liuhq595@nenu.edu.cn

2 研究方法

2.1 样品采集

2006年10月中旬在左家自然保护区东山,海拔250~350m的花岗岩暗棕壤丘陵西坡、西南坡设置10个样地(图1),每一样地设2个标准样方(杂类草群落的样方为1m×1m,其他群落样方为10m×10m)进行植物、凋落物及样地情况调查(表1)并采集凋落物和土壤样品。

采用33cm×33cm的取样框收集每一样地的地表凋落物,采用网格法在每一样地内选2个样点取A、B层的土壤各500g,将2个样点的土壤分层混合,样品风干处理后,做理化分析。

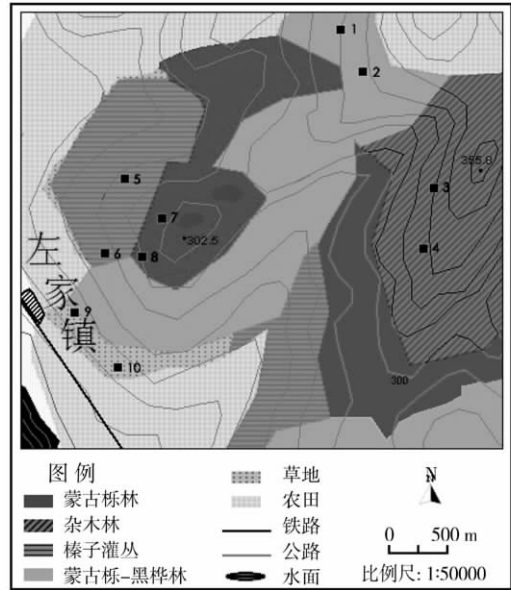


图1 样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of the samples

表1 样地生境概况

Tab. 1 Summary of habitat samples

编号	调查地点	群落类型	坡度(°)	海拔(m)	0m 温度(°C)	植被盖度	植被高度(m)	人类干扰
1	左家东山西南坡	蒙古栎-黑桦	21	320	6.3	90%	14.4	弱
2	左家东山西南坡	蒙古栎-黑桦	22	328	6.4	89%	14.5	弱
3	左家东山西南坡	杂木林	24	330	6.1	95%	15.2	弱
4	左家东山西南坡	杂木林	25	328	6.2	97%	15.9	弱
5	左家东山西坡	榛子灌丛	18	282	6.9	81%	1.8	中等
6	左家东山西南坡	榛子灌丛	21	278	7.0	80%	1.6	中等
7	左家东山西坡	蒙古栎林	21	298	6.8	85%	13.9	较弱
8	左家东山西南坡	蒙古栎林	22	290	6.6	81%	14.1	较弱
9	左家东山西南坡	杂类草	17	256	7.2	89%	0.2	强
10	左家东山西南坡	杂类草	17	254	7.4	90%	0.25	强

2.2 样品分析方法

凋落物成分与土壤理化性质采用常规分析:①自然含水量采用烘干法(GB 7172-87)。②容重、土壤持水性采用环刀法。③颗粒组成及微团聚体采用比重计法。④pH值采用电位法(pHS-3B精密pH计)。⑤有机质采用重铬酸钾法。⑥全氮、全磷分别采用高氯酸消煮后,凯式定氮法和钼锑钒比色法。⑦速效氮、速效磷采用碱扩散法。⑧用高氯酸K硫酸硝化碱蒸馏法测定土壤碳含量。

2.3 数据整理及统计分析

对野外监测和实验室分析获得的数据,首先进行量纲统一,即标准化处理;其次对数据的精度进行可信度检测,剔除误差较大的数据;最后对整理后的数据运用统计学软件包SPSS11.0、Microsoft Excel 2001进行相关分析。

3 结果与分析

左家自然保护区的红松针阔混交林遭破坏后，次生的演替序列依次为：裸地→杂类草→灌丛→蒙古栎林→蒙古栎—黑桦林→杂木林→针阔混交林（顶级）。本文所选样地基本代表了不同演替阶段的群落。

3.1 处不同演替阶段的群落组成

研究区现存 5 种处不同演替阶段的群落，其物种组成与结构见表 2。

表 2 不同演替阶段群落物种与结构调查

Tab. 2 Species and structure of various succession stages

属性	杂木林	蒙古栎-黑桦林	蒙古栎林	榛子灌丛	杂类草
垂直结构	4 层	3 层	3 层	2 层	—
水平结构	镶嵌式	丛式	丛式	斑块式	—
郁闭度	90%	65%	60%	盖度 80%	盖度 90%
乔木层	24 株	21 株	22 株	—	—
灌木层	21 株	10 株	13 株	29 株	—
草本层	10 种	9 种	12 种	9 种	15 种
层间植物	2 种	—	—	—	—
冠层高(m)	16.5	15.8	14.0	1.8	0.35
物种组成	杂木林群落	糠椴 (<i>Tilia mandshurica</i>) 4 株、蒙古栎 (<i>Quercus mongolica</i>) 8 株、紫椴 (<i>Tilia amurensis</i>) 2 株、黄檗 (<i>Phellodendron amurense</i>) 4 株、花曲柳 (<i>Fraxinus rhynchophylla</i>) 2 株、黑桦 (<i>Betula davurica</i>) 4 株、小叶鼠李 (<i>Rhamnus parvifolia</i>) 5 株、卫矛 (<i>Euonymussacrosancta</i>) 2 株、榛子 (<i>Corylus heterophylla</i>) 4 株、金银忍冬 (<i>Lonicera maackii</i>) 4 株、刺五加 (<i>Acanthopanax senticosus</i>) 3 株、鸡树条荚蒾 (佛头花, <i>Viburnum sargentii koehne</i>) 3 株; 五味子 (<i>Schizandra chinensis</i>)、山葡萄 (<i>Vitis amurensis Rupr</i>); 毛缘苔草 (<i>Carex pilosa</i>)、山茄子 (<i>Brachybotris paridiformis</i>)、东风菜 (<i>Doellingeria scaber</i>)、黄精 (<i>Polygonatum sibiricum</i>)、鸡腿堇菜 (<i>Viola acuminata Ledeb</i>)、铃兰 (<i>Convallaria keiskei</i> Miq.)			
	蒙古栎黑桦林群落	蒙古栎 8 株、黑桦 6 株、花曲柳 2 株、黄榆 (<i>Ulmus macrocarpa</i>) 3 株、东北杏 (<i>Prunus mandshurica</i>) 2 株; 胡枝子 (<i>Lespedeza bicolor</i>) 2 株、金银忍冬 1 株、榛子 2 株、小叶鼠李 1 株、鸡树条荚蒾 1 株、卫矛 2 株、金银忍冬 1 株; 毛缘苔草、关苍术 (<i>Atractylis Japonica</i>)、铃兰 (<i>Convallaria keiskei</i>)、玉竹 (<i>Polygonatum odoratum</i>)、球果堇菜 (<i>Viola collina Bess</i>)、穿山龙 (<i>Dioscoreae Nipponicae</i>)、轮叶沙参 (<i>Adenophora tetraphylla</i>) 等			
	蒙古栎林群落	蒙古栎 22 株; 胡枝子 6 株、叶底珠 (<i>Securinega suffruticosa</i>) 5 株; 混生有狭叶山楂 (<i>Crataegifolia pinnatifida</i>) 1 株、金银忍冬 1 株; 羊胡子苔草 (<i>Carrx callitrichos</i>)、莓叶萎陵菜 (<i>Potentilla Fragarioidis</i>)、穿山龙、铁线莲 (<i>Clematis florida Thunb</i>)、仙鹤草 (<i>Agrimonia pilosa Ledeb</i>)、宽叶蒿 (<i>Artemisia leucophylla</i>)、玉竹、小玉竹 (<i>Polygonatum delavayi</i>)、连钱草 (<i>Glechoma longituba</i>)、球果堇菜等			
	榛子灌丛群落	榛子 12 株、金银忍冬 3 株、小叶鼠李 2 株、胡枝子 2 株、刺五加 1 株、山刺玫 (<i>Rosa davurica Pall</i>) 1 株、稠李 (<i>Padus racemosa</i>) 2 株、茶条槭 (<i>Acer ginnala</i>) 1 株、蒙古栎幼苗 5 株; 苔草 (<i>Carex tristachya</i>)、小叶芹 (<i>Czernaevia laevigata</i>)、龙芽草 (<i>Agrimonia pilosa</i>)、紫苑 (<i>Aster tataricus</i>) 等			
	杂类草群落	水蒿 (<i>Artemisia selengensis</i>)、鸡儿肠 (<i>Kalimeris indica</i>)、河草 (<i>Bolboschoenus planiculmis</i>)、苦菜 (<i>Choris repens</i>)、萎陵菜 (<i>Potentilla chinensis Ser</i>)、马先蒿 (<i>Pedicularis reupinanta L</i>)、车轴草 (<i>Galium odoratum</i>)、车前 (<i>Plantago asiatica Linn</i>)、仙鹤草 (<i>Agrimonia pilosa Ledeb</i>)、香薷 (<i>Elsholtzia ciliata</i>)、蓝萼香茶菜 (<i>Rabdosia japonica</i>)、鸡眼草 (<i>Kummerowia striata</i>) 等			

从表中可见，在杂类草向杂木林群落的正向演替过程中，群落的垂直结构和水平结构的异质化增强，物种多样性增加，光能和养分的利用率提高。

3.2 不同演替阶段凋落物与植被的关系

凋落物是群落内各生物种群在其生长发育过程中新陈代谢的产物,包括枯枝落叶、落皮、花果、草本植物的枯死体、野生动物的残骸及其代谢产物等,是土壤有机碳和土壤有机质的重要来源^[13]。处不同演替阶段群落的凋落物厚度、组成及有机质含量等见表3。

表3 不同演替阶段凋落物(0层)组成与养分含量

Tab. 3 Litter composition and nutrition content of various succession stages

演替阶段	凋落物厚度 (cm)	凋落物组成 (%)				有机质含量 (%)	有机碳 (g/mg)	全氮 (%)	全磷 (%)
		残枝	落叶	半分解物	其他				
杂类草	3.03	—	—	20.8	79.2	56.24	34.5	1.18	0.200
榛子灌丛	3.57	10.61	25.22	45.93	18.24	58.47	68.7	1.36	0.219
蒙古栎林	3.76	12.44	31.03	38.40	18.13	59.81	75.3	1.35	0.195
蒙古栎-黑桦	3.88	13.24	34.27	39.24	13.25	63.89	80.4	1.41	0.218
杂木林	3.92	11.58	35.61	45.61	9.20	72.49	97.5	1.53	0.292

在杂类草群落向杂木林群落的演替过程中,凋落物厚度顺次增加,但增加的幅度不同。榛子灌丛群落凋落物的厚度较杂类草群落增厚0.54cm,增幅为17.8%,其他群落的厚度变化不超过5%。凋落物厚度的增加,表现的是量变的过程,其实随着组成成分的不同,质变已经发生,为土壤的生成提供了不同的物质源。

凋落物中有机质含量杂木林最高,杂类草群落最低。杂木林与蒙古栎-黑桦林群落的变幅为13%、蒙古栎-黑桦林与蒙古栎林的变幅为7%、蒙古栎林与榛子灌丛的变幅为2%、榛子灌丛与杂类草的变幅为3%。复杂的垂直结构和较高的郁闭度及较厚的凋落物是杂木林群落有机质累积高的主要原因。草本群落地上部分生物量较森林群落低,分解速度快,有机质累积相对较低。演替过程中凋落物中有机质含量与凋落物厚度的变化基本一致。

有机碳是植物、动物及微生物遗体、排泄物、分泌物及部分分解产物和土壤腐殖质的总和,是进入土壤的植物残体量及其在土壤微生物作用下分解损失量的平衡值^[14]。杂类草群落的有机碳含量最低,仅相当于杂木林群落的35.4%。总体看,有机碳含量的变化是:杂类草<榛子灌丛<蒙古栎林<蒙古栎林-黑桦林<杂木林。杂类草与榛子灌丛群落有机碳含量的变幅最大,高达99.9%;其次是蒙古栎林与杂木林群落,变幅为21.3%;变幅最小的是蒙古栎林与蒙古栎林-黑桦林群落,变幅仅为6.7%。凋落物中的有机碳,主要来自地上部分,凋落物厚度与组成的变化,是影响有机碳含量变化的主要原因。

凋落物中的氮源于植物的固氮作用和植物残体的分解^[15]。在演替的初级阶段,杂类草群落光照足,温度高,相对干燥,植物残体的分解速度快,相对累积弱,全氮含量低。由杂类草演替为林地,郁闭度提高,温度变低、湿度变大,植物残体的分解速度低于累积速度,氮含量随之增加。杂类草群落向杂木林群落的演替过程中氮含量的变幅,杂类草与榛子灌丛群落为15%、榛子灌丛与蒙古栎林群落为-0.7%、蒙古栎与蒙古栎-黑桦林群落为4%、蒙古栎-黑桦林与杂木林群落为8.5%。磷含量在群落次生演替过程中的变化趋势与氮相似,从杂类草群落向杂木林群落的演替过程中磷含量的变化幅度依次为:9.5%、-10.9%、11.79%和33.9%。

蒙古栎林较榛子灌丛的氮、磷含量低,与其植物种类单调、分解回归慢有关。演替至蒙古栎-黑桦林群落后,氮、磷含量增高,元素的迁移速率加大,促进了氮、磷的回归。

综上所述,凋落物中有机质、有机碳、氮和磷的含量既和凋落物的厚度与成分有关,

也与群落的物种组成、小气候有关。其含量变化显示两个拐点：一是杂类草向榛子灌丛群落的演替，二是蒙古栎—黑桦林向杂木林群落的演替。

3.3 不同演替阶段土壤 (A、B) 层与植被的关系

3.3.1 物理性质的对比分析 不同演替阶段群落的土层厚度、土壤容重、含水量、质地等物理指标见表 4。杂类草群落土壤 A 层比 B 层厚约 0.66 倍，这与草本植物根系分布较浅，有机质的积累主要源自根系物质有关^[16]；随次生演替的发展，土壤 A 层变薄，B 层变厚。这一方面表明植被、凋落物对土壤的形成有重要作用，另一方面也说明森林群落的次生演替促进了植物与土壤之间的物质转换和土壤保持养分能力的增强。

表 4 群落不同演替阶段土壤的物理性质

Tab. 4 Soil physical quality of various succession stages

群落	土壤发生层	平均厚度 (cm)	含水量 (%)	容重 (g/cm ³)	土壤颗粒组成 (%)		
					砂粒 (2~0.01mm)	粉砂 (0.01~0.001mm)	粘粒 (<0.001mm)
杂类草	A	10	18.87	1.562	38.76	38.70	22.54
	B	6	11.41	1.681	41.79	37.03	21.18
榛子灌丛	A	8	21.51	1.499	44.9	28.48	24.62
	B	18	17.69	1.509	47.96	25.47	26.57
蒙古栎林	A	10	20.87	1.404	47.96	27.50	24.54
	B	20	16.37	1.655	41.06	31.52	27.42
蒙古栎-黑桦林	A	13	21.81	1.321	45.14	26.70	28.16
	B	17	18.38	1.519	39.7	23.67	36.63
杂木林	A	15	21.98	1.315	39.44	22.57	36.99
	B	20	18.39	1.512	35.23	15.79	48.98

土壤容重大小，取决于矿物组成、质地、结构及固体颗粒排列疏密的程度^[17]。分析结果显示，群落土壤容重 B 层高于 A 层，随次生演替的进行，容重变小。反映森林土壤的发育过程趋于完善，植物、水、气之间的元素交换加强，结构趋好。

土壤含水量能较好地反映土壤水分和林内湿润状况，它影响元素和粘粒的向下淋溶^[18]。总体看，土壤含水量 A 层大于 B 层，表明水分的供给主要源自大气降水和坡面流水；杂类草群落土壤含水量明显小于榛子灌丛、蒙古栎林、蒙古栎—黑桦林和杂木林群落 (图 2)，表明森林群落较杂类草群落生境趋湿润。

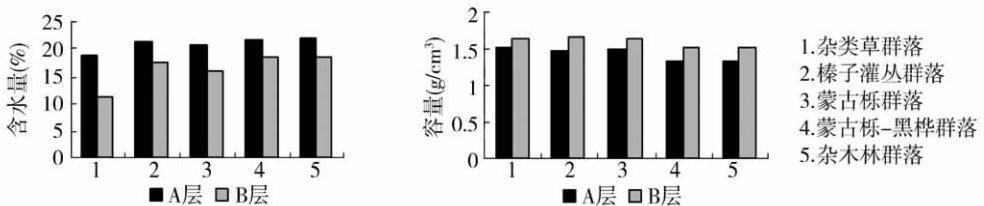


图 2 不同演替阶段土壤容重、含水量变化示意图

Fig. 2 Soil bulk density and water content changes of various succession stages

除杂类草群落外，各群落粘粒含量 B 层高于 A 层，杂木林群落 B 层与 A 层粘粒含量比为 1.32:1，比杂类草群落 B 层与 A 层的粘粒比高 1.4 倍。在演替序列中，土壤砂粒含量呈减少态势，且 B 层减少的速率比 A 层高。数据表明：雨季相对集中的研究区，群落演替的不同阶段，水土流失速率不同。演替初期，植被的抗蚀能力弱，土壤的砂性明显，

水土流失较快；随着演替的进展，森林凋落物增厚，对地表的保护功能增强，有利于水土保持和成土过程的发生，土壤的粘化过程和粘粒的下移过程增强，养分的蓄积量增高。

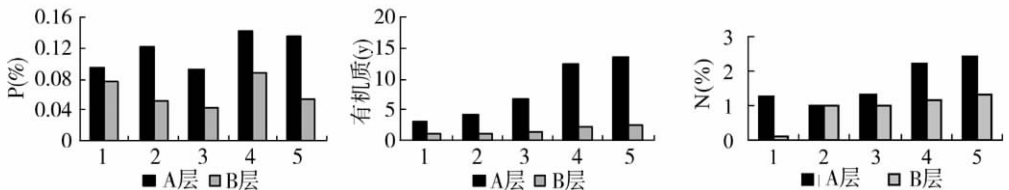
通过分析，清楚地看到，处不同演替阶段的群落对土壤的物理性状有明显的影。榛子灌丛群落是土壤物理性状趋好的拐点；蒙古栎林群落是针阔混交林次生演替的先锋树种，是形成地带性土壤—暗棕壤的不可或缺的演替阶段。

3.3.2 主要营养成分的对比分析 土壤是植物生长的基质，5 种群落土壤化学性质和营养状况的测试结果（表 5）反映了其化学性质与群落演替是互为反馈的关系^[16]。

表 5 群落演替不同阶段土壤主要营养元素含量

Tab. 5 Primary soil nutrition content of various succession stages

群落	土壤发生层	有机质 (%)	全氮 (%)	速效氮 (%)	全磷 (%)	速效磷 (%)	pH
杂类草	A	3.152	1.285	0.153	0.095	0.13	6.91
	B	0.982	0.105	0.050	0.076	0.44	6.73
榛子灌丛	A	4.28	1.02	0.204	0.122	—	6.05
	B	0.923	1.01	0.226	0.052	—	5.74
蒙古栎林	A	6.658	1.325	0.295	0.092	0.10	6.89
	B	1.394	1.025	0.062	0.043	—	5.20
蒙古栎- 黑桦林	A	12.538	2.23	0.562	0.142	0.31	6.83
	B	2.276	1.14	0.131	0.085	—	5.28
杂木林	A	13.512	2.41	0.579	0.137	0.04	6.25
	B	2.438	1.30	0.168	0.054	—	5.41



1. 杂类草群落；2. 榛子灌丛群落；3. 蒙古栎群落；4. 蒙古栎—黑桦群落；5. 杂木林群落

图 3 各演替阶段凋落物—土壤层营养元素迁移示意图

Fig. 3 Litter-soil nutrition migration of various succession stages

次生演替过程中，土壤有机质的增长趋势为：杂木林>蒙古栎—黑桦林>蒙古栎林>榛子灌丛>杂类草。A 层土壤有机质含量高且变化较 B 层明显，生物累积作用在 A 层表现更为明显。土壤中的全 N 含量呈增加的趋势。土壤速效氮的变化与全氮含量变化相同。土壤全磷含量表层高于 B 层，速效磷含量在 B 层较低，且与全磷之间对应关系不明显（图 3）。土壤 pH 值控制和影响土壤中微生物区系的改变，从而左右着绝大多数营养元素的转化方向和过程，决定其有效性^[19]。杂类草群落的 pH 值较高，具微弱的草原土壤特征，而森林群落土壤 pH 值较低，均呈微酸性，与暗棕壤的特征一致。从演替过程来看，表层土壤的 pH 值榛子灌丛最低（6.08），杂类草最高（6.91）。B 层的 pH 值蒙古栎林最低（5.20），杂类草最高（6.73）。总体看，B 层 pH 值较 A 层酸性略强，土壤呈弱酸性淋溶状态。根据表 5 的数据建立土壤性质的相关分析矩阵（表 6）。

从表 6 可见，土壤主要营养元素迁移时，其有机质与全 N、速效 N 显著相关，对土壤含水量、容重等有重要影响；而与速效磷的相关性远小于全氮与速效氮，与全磷的相关

表 6 土壤主要营养元素的相关分析

Tab. 6 Correlation matrix for primary nutrient elements of soil

pH	1							
全氮	0.162	1						
全磷	-0.350	0.021	1					
含水量	0.228	0.547	-0.080	1				
速效氮	0.513	0.869**	-0.068	0.573	1			
速效磷	0.513	-0.602	-0.0361	-0.615	-0.415	1		
土壤容重	-0.243	-0.666*	-0.425	-0.489	-0.609	0.116	1	
有机质	0.541	0.873**	-0.054	0.524	0.962**	-0.429	-0.707*	1

**显著性水平在 0.01 下, *显著性水平在 0.05 下, 带标记的为相关显著。

性不明显。演替的不同阶段, 凋落物的种类和厚度不仅制约着有机质的组成和含量, 而且影响土壤水分、营养元素的迁移和土壤的理化性质。

3.4 处不同演替阶段凋落物-土壤 A、B 层的元素迁移分析

植物群落通过两种途径影响土壤的发育^[20]: 一是改变光热水条件; 二是通过根系和凋落物的供给, 直接参与土壤的成土过程。在群落演替过程中, 凋落物与土壤层间元素的迁移真实地再现了这两种途径, 也表明了土壤和植被间的交互影响。

在红松针阔混交林的次生演替初期一杂类草群落, 地表接受的光照强, 地温高 (7.4℃), 大气降水转化为土壤水的比率小, 以蒸发和地表径流方式输出的多, 土壤含水量低 (A 层为 18.87%), 生境以干热的特征为主。凋落物多为草本植物, 根系分布浅, 营养元素自凋落物迁移至土壤层的速率快, 但保存少。由于土壤含水量低, 抑制元素的下移。凋落物与土壤 A、B 层有机质含量的比率为 57.4:3.21:1; 全 N 含量的比率为 11.8:12.8:1; 全 P 含量的比率为 2.63:1.25:1; 土壤 A、B 层粘粒含量的比率为 1.06:1, 这些统计数据表明元素向下淋溶弱, 表聚性强。

杂类草转化为榛子灌丛群落, 地上植被的垂直结构变为双层, 水平结构的斑块化明显。虽然大气候没有变化, 但光能被灌木层截留一部分后, 地表接受的光能减少, 植被对大气降水的截留增多, 土壤层的水分含量增高, 生境由干热转为温润 (土壤 A 层含水量为 21.51%, 0m 地温为 6.9℃), 营养元素自凋落物转化为土壤层的速率减慢, 但下移速率加快, 土壤层增厚。榛子灌丛群落土层 (A+B) 较杂类草群落厚 10cm; 凋落物、A、B 层有机质含量的比率为 63.55:4.65:1; 全 N 含量的比率为 1.35:1.01:1; 全 P 含量的比率为 4.21:2.35:1; A、B 层粘粒含量的比率为 0.93:1。层间的比率关系说明有机质、N、P 和粘粒出现下移过程。

榛子灌丛转化为蒙古栎林群落时, 地上植被的垂直结构变为三层。乔木层、灌木层和草本层对地表的遮荫作用较灌丛群落强, 生境比榛子灌丛更趋暖润 (土壤 A 层含水量为 20.87%, 0m 地温为 6.8℃), 营养元素下移较上一阶段活跃。如蒙古栎林群落土层厚为 30cm, 凋落物和土壤 A、B 层有机质含量比为 40.34:4.78:1; 全 N 含量的比率为 1.31:1.29:1; 全 P 含量的比率为 4.53:2.14:1; A、B 层粘粒的含量比率为 0.89:1, pH 值自上而下变小。

蒙古栎—黑桦林群落地上植被的垂直结构虽仍为三层, 但物种多样性与郁闭度高于蒙古栎林群落, 对地表的遮荫作用更强, 生境更趋湿 (土壤 A 层含水量为 21.87%, 0m 地温

为 6.3°C)。从统计数据看,蒙古栎—黑桦林群落凋落物、土壤 A、B 层有机质含量的比率为: $28.02:5.49:1$, 全 N 含量的比率为 $1.24:1.96:1$, 全 P 含量的比率为 $2.63:1.75:1$, A、B 层粘粒含量的比率为 $0.75:1$, 粘粒与营养元素下移明显, 土壤 B 层的酸性增强。

杂木林群落, 地上植被的垂直结构进化为四层, 水平结构为镶嵌式, 凋落物的种类增多, 地上植被对地表的遮荫作用更强, 地表接受的光能减少, 大气降水转化为壤中水的比例提高。由于地下植物根系分布的深度增加, 提供氮素的源物质增多。生境由暖润转为温湿(土壤 A 层含水量为 21.78% , 0m 地温为 6.2°C), 这样的小气候更适于凋落物中氮素的释放与淋溶, 有利于营养元素的积累, 土壤发生层变厚。从统计数据看, 杂木林群落土壤 A+B 层厚达 35cm , 凋落物、土壤 A、B 层有机质含量的比率为: $29.70:5.53:1$, 全 N 含量的比率为 $1.18:1.85:1$, 全 P 含量的比率为 $1.71:3.41:1$, A、B 层粘粒含量的比率为 $0.77:1$, 营养元素的表聚性减小, 向下迁移和在 B 层淀积的特征明显。

在群落的次生演替过程中, 凋落物—土壤之间营养养分的运移表明: 有机质和氮与凋落物的组成、厚度与转化速率正相关, 而磷的运移较复杂, 不仅与凋落物有关, 还与母质等因素相关。

4 结论

(1) 针阔混交林群落被破坏后, 发生的次生演替过程为: 裸地→草本→灌丛→蒙古栎林→蒙古栎—黑桦林→杂木林→红松针阔混交林。演替的初期阶段, 生境偏干热, pH 偏中性。群落为草本植物, 物种多样性低, 凋落物数量少, 群落、凋落物和土壤间元素迁移以有机质的表聚为主; 榛子灌丛群落阶段生境偏暖润, 凋落物的种类和数量增加, 元素的迁移出现弱的淋溶和粘化过程; 杂木林群落, 生境趋温湿, 物种多样性高, 凋落物分解与回归速率减缓, 土壤的淋溶过程和粘化过程加强, N、P 的迁移活跃, pH 值变小, 环境趋酸性。

(2) 在群落的次生演替过程中, 植被、凋落物与土壤之间的元素迁移是互为反馈的。土壤层中有机质、氮、磷含量的垂直变化既与群落组成、凋落物的厚度有关, 也与生境的干湿变化相关。反之, 土壤理化性质的变化又为红松针阔混交林的有序恢复提供了适宜的生境。

(3) 要恢复植被, 必须先改善生境, 为物种定植提供适宜的生存条件。红松针阔混交林的生态恢复必须按演替序列顺次研究其生境间的传承关系, 以实现生物与生境的共生。

参考文献:

- [1] 周莉, 等. 长白山阔叶红松林采伐迹地土壤养分含量动态研究. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1771~1775.
- [2] 李新, 王襄平, 等. 干扰对长白山北坡次生林群落结构和树种多样性的影响. 林业科学, 2006, 42(2): 105~110.
- [3] 陈高, 代力民, 周莉. 受干扰长白山阔叶红松林林分组成及冠层结构特征. 生态学杂志, 2004, 23(5): 116~120.
- [4] 杨弘, 李忠, 裴铁, 等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水分物理性质. 应用生态学报, 2007, 18(2): 272~276.
- [5] 袁凤辉, 关德新, 李雪峰, 韩士杰, 等. 长白山红松针阔叶混交林林下光合有效辐射的基本特征, 应用生态学报, 2008, 19(2): 231~237.
- [6] 许清海, 李月丛, 等. 长白山针阔混交林带花粉通量及垂直散布特征初步研究. 科学通报, 2007, 52(5): 568~571.
- [7] 李雪峰, 韩士杰, 等. 长白山次生针阔混交林叶凋落物中有机物分解与碳、氮和磷释放的关系. 应用生态学报, 2008, 19(2): 245~251.
- [8] 杨丽韞, 罗天祥, 吴松涛. 长白山原始阔叶红松林下不同演替阶段地下生物量与碳、氮贮量的比较. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1195~1199.

- [9] 蒋延玲,周广胜,等. 长白山阔叶红松林生态系统土壤呼吸作用研究. 植物生态学报,2005,29(3):411~414.
- [10] 张德强,叶万辉,余清发,等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. 生态学报,2000,20(6):938~944.
- [11] 李俊清,李景文,等. 中国东北小兴安岭阔叶红松林更新及其恢复研究. 生态学报,2003,23(7):1268~1277.
- [12] 张庆费,等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及分解动态. 植物生态学报,1999,23(3):250~255.
- [13] 余广彬,杨效东. 不同演替阶段热带森林地表凋落物和土壤节肢动物群落特征. 生物多样性,2007,15(2):84~94.
- [14] 董林水,张旭东,周金星,宋爱云. 晋西土石山区森林次生演替过程中群落结构及复杂性. 应用生态学报,2007,18(3):471~475.
- [15] 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. 应用生态学报,2005,16(11):2041~2046.
- [16] 王震洪,段昌群,杨建松. 半湿润常绿阔叶林次生演替阶段植物多样性和群落结构特征. 应用生态学报,2006,17(9):1583~1587.
- [17] Guy R. Larocque, Louis Archambault, Claude Delisle. Modelling forest succession in two southeastern Canadian mixedwood ecosystem types using the ZELIG model. Ecological Modelling,2006,199(3):350~362.
- [18] S Ellen Macdonald, Treena E Fenniak. Understory plant communities of boreal mixedwood forests in western Canada: Natural patterns and response to variable-retention harvesting. Forest Ecology and Management,2007,242(1):34~48.
- [19] 阎建忠,张镜铨,摆万奇,等. 基于植被演替的土地覆被变化研究—大渡河上游的森林采伐、更新和退化. 中国科学 D 辑,2005,35(11):1060~1070.
- [20] 朱源,康慕谨. 贺兰山针叶林结构特征与种类组成比较. 地理研究,2007,26(2):305~313.

Characteristics of elemental migration and community composition in the process of secondary succession in conifer and broad-leaved mixed forest

LIU Hui-qing, XU Jia-wei, LIU Jia-xue

(Institute of Urban and Environment Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: It is of great ecological significance to the characteristics of elemental migration and community composition in the process of secondary succession of the conifer and broad-leaved mixed forest. Taking the sample of Korean pine-deciduous mixed forest communities at various succession stages in Zuoji Nature Reserve, Jilin Province, this paper studied the characteristics of nutrient elemental migration through the litter and soil layer A and B and community composition of herbs, scrub of *Corylus* spp, *Quercus mongolica* forest, *Quercus mongolica-Betula davurica* forest and mixed forest communities, by means of field investigation and comparative analysis. The results showed that the habitat was altered from dry-hot to warm-humid, along with the succession from herb community to mixed forest community. Element migration also transited from organic matter aggregation in surface to a distinct down-movement of clays and nutrient elements. Environment changed from neutral to sub-acid.

Key words: Korean pine-deciduous mixed forest; succession process; elemental migration