

内蒙古罕山自然保护区山杨林更新苗特征研究

包青春¹,赵鹏武^{2,3*},包宝祥⁴,管立娟^{2,3},宝 虎⁵

(1. 呼和浩特民族学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010019;

3. 内蒙古赛罕乌拉森林生态系统国家定位观测研究站, 内蒙古 赤峰 025150;

4. 内蒙古赤峰市森林草原保护发展中心, 内蒙古 赤峰 024000; 5. 通辽市林业和草原科学研究所, 内蒙古 通辽 028000)

摘 要:以内蒙古罕山国家级自然保护区山杨次生林为研究区,研究区内近些年出现大面积非正常死亡的山杨林,在山杨林中分别设置倒木、枯立木与对照3类样地进行死亡后更新调查。研究发现,罕山自然保护区山杨林倒木样地、枯立木样地、对照样地更新树种主要以山杨为主,并且均为萌生更新,更新密度总体呈枯立木样地>对照样地>倒木样地,平均更新苗密度分别为3 158.33、2 466.66、2 308.33株/hm²,郁闭度、林分密度、年均温度和海拔与山杨更新密度呈负相关($P<0.05$),枯落物厚度与山杨更新密度呈正相关($P<0.05$),年累计降水量未达到显著水平。并且发现山杨林非正常大面积死亡后根系仍然具有萌蘖的活力,在死亡后萌蘖更新得到快速释放,且具有形成新一代森林的潜力。

关键词:罕山自然保护区;天然山杨林;森林死亡;森林更新

中图分类号:S728.9

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)02-0113-06

Characteristics of Regenerated Seedlings of Poplar Forest in Hanshan Nature Reserve, Inner Mongolia

BAO Qing-chun¹, ZHAO Peng-wu^{2,3*}, BAO Bao-xiang⁴, GUAN Li-juan^{2,3}, BAO Hu⁵

(1. Hohhot Institute for Nationalities, Hohhot 010051, Inner Mongolia, China; 2. Chifeng Forest and Grassland Protection and Development Center, Chifeng 024000, Inner Mongolia, China; 3. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China; 4. Inner Mongolia Saihanwula Forest Ecosystem National Positioning Observation and Research Station, Chifeng 025150, Inner Mongolia, China; 5. Tongliao Forestry Research Institute, Tongliao 028000, Inner Mongolia, China)

Abstract: In this paper, *Populus* secondary forests occurring in the Hanshan National Nature Reserve in Inner Mongolia was taken as the study area where massive tree mortality has been occurred abnormally in recent years. Three types of sample plots, namely, fallen wood (FW), dead standing wood (DSW) and control (Ctrl) plots, were set up in the poplar forest for post-death update investigation. The study found that the dominant regenerated tree species was *Populus* in three plots. The regeneration density was generally in the order of DSW>Ctrl>FW with an average of 3 158.33, 2 466.66, and 2 308.33 plants/hm², respectively. Canopy density, stand density, annual average temperature and altitude were negatively correlated with the regeneration density of *Populus* ($P<0.05$), and the thickness of litter was positively correlated with the regeneration density ($P<0.05$). It was also found that after the occurrence of the massive mortality, the root system of the poplar dead trees still had the vitality of tillering, and the regeneration of the tillering was quickly released after death, and it had the potential to form a new generation of forest.

收稿日期:2022-01-21 修回日期:2022-06-15

基金项目:内蒙古自然科学基金面上项目(2020MS04011);中央引导地方科技发展资金项目(2020ZY0024);国家自然科学基金项目(41861005)。

第一作者:包青春,硕士。研究方向:气候变化、森林生态学。E-mail: baoqingchun@126.com

* 通信作者:赵鹏武,高级实验师。研究方向:森林生态学长期定位。E-mail: zhaopengwu12@163.com

Key words: Hanshan Nature Reserve; natural aspen forest; forest death; forest regeneration

森林天然更新是指森林遭到火烧、采伐等人为干扰因素或自然灾害以后,森林以其自身的繁殖能力进行恢复的过程,在森林群落演替和植被恢复等方面具有重要意义^[1]。在不同的干扰水平下,更新能力相对较弱的物种将会被淘汰,而有的物种通过多样的更新方式将自己的种群维持下去,使得该种群在群落中具有稳定的地位^[2]。目前,森林更新的研究多集中在物种组成、物种多样性、空间分布格局、更新方式、更新密度与结构特征等方面。

萌生植株可以通过其母株的强大根系,更有效地利用土壤中水分和养分而迅速生长,具有更强的环境适应能力,能较快地再次占据森林死亡而形成的林窗,在种群竞争中处于有利地位。实生更新由原有母树或邻近林木天然下种实现更新,更新率和生存能力均较低,更新后实生苗各器官的生长量均没有萌生苗大^[3]。近年来,在气候变化及极端干旱背景下,罕山次生林区出现大面积非正常森林死亡(forest mortality)或生长衰退现象^[19],树木死亡后树木以木质残体(woody debris,以下简称WD,包括:枯立木、倒木、枯落大枝)的形式残存在林地内^[4-5],对更新苗密度、更新后的生长状况、平均高度、平均地径等更新指标产生影响^[6]。本文以内蒙古罕山国家级自然保护区山杨(*Populus davidiana*)次生林更新苗为研究对象,分别对未发生死亡现象的对照林分、已经发生死亡但还枯立阶段的枯立木林分、死亡后经过几年的腐烂已经发生倒木的倒木林分等3种不同死亡阶段的山杨林进行森林更新调查研究,拟揭示山杨林发生死亡后的更新苗特征,初步回答山杨更新苗是否具有快速拟补大量死亡形成新一代森林的潜力。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古通辽市扎鲁特旗境内内蒙古罕山国家级自然保护区,内蒙古罕山森林生态系统国家定位观测研究站试验区(以下简称“罕山保护区”),地理坐标为119°37′—120°06′E,45°00′—45°26′N。研究区域是典型的山地向平原、森林向草原的过渡地带,植被分异较大,平均海拔939 m;年平均气温2.5℃,年极端最高温36.5℃,年极端最低温-34.5℃,年平均降水量421.5 mm,年平均日照时数2 941.2 h,无霜期约114 d;罕山保护区的森林土壤以灰色森林土、砂壤土为主。研究区植被类型复杂,乔木主要以山杨(*Populus davidiana*)为主、伴

生的树种有白桦(*Betula platyphylla*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)和黑桦(*Betula dahurica*)等。林下植被以土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、照白杜鹃(*Rhododendron micranthum*)等为主。

1.2 试验设计与数据调查

对研究区进行全面踏查的基础上,分别选择坡度、海拔相似,植物群落基本特征具有代表性的地段,在林内使用森林罗盘仪分别设置规格为20 m×20 m大小的调查样地,分别设置对照样地(轻度死亡阶段样地,大部分树木未发生死亡且正常生长林分,倒木约占13%,枯立木约占12%,健康树木约占75%,以下统称“L”)、枯立木样地(中度死亡阶段样地,森林发生死亡还处于枯立木阶段的林分,倒木约占15%,枯立木约占19%,健康树木约占66%以下统称“K”)、倒木样地(重度死亡阶段样地,森林死亡后经过几年的分解枯立木形成倒木的林分,倒木约占24%,枯立木约占8%,健康树木约占68%,以下统称“D”)等3类不同死亡阶段的样地,不同样地各设置3个重复,共9个样地进行每木检尺调查(胸径1 cm以下的都鉴定为幼苗,1 cm<胸径<5 cm以下鉴定为幼树)。调查指标包括胸径≥1 cm的所有树木胸径、树高、冠幅、郁闭度等。在每个20 m×20 m的样地的4个角及中间位置“米”字形设置5 m×5 m的更新样方5个,共计45(5×9)个样方,调查更新苗的盖度、高度、基径、株数等,在每个20 m×20 m的样地的4个角及中间位置“米”字形设置1 m×1 m的更新样方5个,共计45(5×9)个样方,调查样地内草本的盖度及多度等。

森林更新密度与更新方式调查采用全样地调查。采用“剖土法”来判断和统计更新苗的更新方式,剖开表层土直接观察母株根系与幼株根系是否存在连接点,与母株根系连接成“—”形的幼株即为萌蘖更新,与母株根系无连接点并且主根垂直扎入土壤里生长的则为实生更新。样地信息见表1。

1.3 数据处理与计算

1. 幼苗幼树枯梢率计算

$$a = b/c \times 100\% \quad (1)$$

2. 幼苗幼树死亡率计算

$$d = e/c \times 100\% \quad (2)$$

式中: a 为枯梢率, b 为枯梢个体数, c 为地内该物种总个体数, d 为死亡率, e 为死亡个体数。

试验数据采用Excel 2010进行整理,方差分析在IBM SPSS 23中进行,相关分析与多元线性回归

表 1 山杨样地基础信息
Table 1 Basic information of aspen plots

样地	经度	纬度	海拔/m	坡度/(°)	坡向	样地冠幅/m (东西×南北)	更新苗 均高/cm	更新苗 平均胸径/cm
L1	119°47′07.26″	45°09′58.18″	1010	7°	WN	4.8×3.8	178.4±18.52	4.12±0.36
L2	119°47′07.72″	45°09′58.45″	1017	9°	WN	4.8×4.4	185.4±20.73	3.07±0.81
L3	119°47′07.23″	45°09′59.19″	1028	11°	WN	4.6×4.3	193.7±18.63	2.78±1.63
K1	119°47′09.43″	45°09′51.49″	1017	13°	WN	4.1×3.8	211.2±23.77	2.35±0.68
K2	119°47′09.02″	45°09′50.43″	1025	12°	WN	4.2×4.3	223.7±33.23	2.11±0.22
K3	119°47′11.08″	45°09′50.05″	1038	12°	WN	4.2×4.1	199.9±53.33	1.95±0.79
D1	119°47′09.19″	45°09′49.39″	1051	13°	WN	4.2×4.3	335.5±42.16	2.89±0.78
D2	119°47′08.35″	45°09′48.98″	1062	15°	WN	3.9×4.1	314.7±61.38	3.12±0.71
D3	119°47′10.25″	45°09′50.03″	1043	18°	WN	4.1×3.8	327.6±48.36	3.23±0.23

注:WN为西北方向。

方程通过 R 语言程序进行处理,绘图在 Sigmaplot 12.5 中进行。

2 结果与分析

2.1 不同死亡阶段山杨林更新苗特征

罕山保护区不同死亡阶段山杨林进行每木检尺和更新调查发现,样地内所有山杨和白桦更新苗的更新方式均为萌生更新,没有调查到实生更新样本,伴生的蒙古栎、元宝槭(*Acer truncatum* Bunge)为实生更新。如图 1 所示,山杨林总更新密度枯立木样地最大,为 4 000 株/hm²,更新树种主要以山杨为主,伴有少数白桦、蒙古栎、元宝槭、山荆子(*Malus baccata*)、蒙椴(*Tilia mongolica*)等;总更新密度最小为对照样地,仅 275 株/hm²。山杨林总更新密度整体变化趋势为枯立木样地>倒木样地>对照样地。枯立木样地内的树木大量死亡,减少与更新苗资源的竞争,并且从表 1 得知,更新苗胸径倒木样地>枯立木样地,样地内苗木的死亡率表明倒木样地>枯立木样地,说明倒木样地的更新苗生长早于枯立木样地且已经发生过死亡,致使出现山杨林总更新密度整体变化趋势为枯立木样地>倒木样地>对照样地。研究区内山杨更新苗密度枯立木样地最大,为 2 933 株/hm²,其次为倒木样地 1 068 株/hm²,对照样地山杨更新密度最小,为 984 株/hm²。

对山杨林不同死亡阶段更新苗、幼树枯梢率和死亡率进行对比分析,如表 2 所示,幼苗和幼树的枯梢率均表现为对照样地>倒木样地>枯立木样地,对照样地幼苗和幼树的枯梢率分别为 24.19%和 28.19%,枯立木样地和倒木样地中相对少于对照样地的更新苗枯梢率,多数因为对照样地的资源竞争较强,且郁闭度较大,不利于更新苗木生长;从更新苗的死亡情况可以看出,枯立木样地(48.77%)>倒木样地(38.62%)>对照样地(26.45%),而更新幼树的死亡率表现为枯立木样地>对照样地>倒木样

地,死亡率分别为 19.37%、16.12%和 13.72%。从图 1 可知,枯立木样地的更新苗数量最多,在更新苗生长过程中会出现更多光、温度、水分和养分等环境因子共同竞争,从而出现死亡率较高现象。

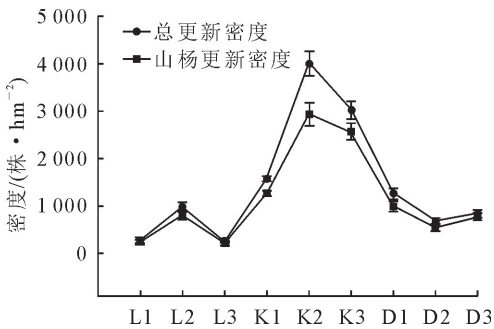


图 1 山杨林更新苗密度

Fig. 1 Poplar forest regeneration seedling density

表 2 不同死亡阶段下更新苗枯死率特征

Table 2 Characteristics of the death rate of newer seedlings under different death gradients %

样地名称	L	K	D
更新幼苗枯梢率	24.19	7.02	10.34
更新幼苗死亡率	26.45	48.77	38.62
更新幼树枯梢率	28.19	12.02	18.34
更新幼树死亡率	16.12	19.37	13.72

对罕山保护区山杨幼苗枯梢和死亡统称为受限幼苗,对山杨幼树枯梢和死亡统称为受限幼树。对二者与林分因子和环境因子进行相关分析表明(表 3),幼苗受限程度与郁闭度、林分密度呈极显著正相关($P<0.01$),与草本盖度和海拔高度呈极显著负相关($P<0.01$);幼树受限程度与灌木盖度呈极显著正相关($P<0.01$),与海拔高度呈显著负相关($P<0.05$)。罕山保护区幼苗幼树枯梢率及幼树死亡率较高,也是对该地区土壤水分及灌木限制的进一步论证。

2.2 林分因子和环境因子特征对山杨更新密度的影响

由表 4 可知,罕山保护区对照样地郁闭度最大,

为 74%，其次为倒木样地 64%，枯立木样地 55%。不同死亡阶段样地林分郁闭度进行方差分析表明，对照样地与倒木样地差异极显著($P<0.01$)，枯立木样地与倒木样地差异显著($P<0.05$)。倒木样地枯落物厚度最大，为 3.48 cm，其次为枯立木样地 3.25 cm，对照样地 3.21 cm，对不同死亡阶段样地枯落物厚度进行方差分析得知，枯立木样地和对照样地与倒木样地差异极显著($P<0.01$)。对照样地林分密度为 2 025 株/hm²，其次为倒木样地 1 292

株/hm²，枯立木样地 733 株/hm²。不同死亡阶段样地林分密度的方差分析显示，枯立木样地与对照样地和倒木样地差异极显著($P<0.01$)，对照样地与枯立木样地、倒木样地差异显著($P<0.05$)。倒木样地倒木密度为 950 株，其次为枯立木样地 785 株，对照样地仅为 425 株，不同死亡阶段样地倒木密度的方差分析表明，对照样地与枯立木样地和倒木样地差异显著($P<0.05$)，枯立木密度的方差分析表明对照样地与倒木样地差异显著($P<0.05$)。

表 3 山杨更新死亡率和枯梢率与环境因子相关性

Table 3 Correlation between the regeneration mortality and dieback rate of aspen and environmental factors

指标	CD	HC	SC	LT	AT	WD	RF	TP	AL
MK	0.80**	-0.64**	0.11	-0.09	0.58**	-0.23	0.31	0.19	-0.58**
SK	0.21	—	0.60**	-0.31	-0.01	0.31	-0.25	0.32	-0.39*

注：MK 为受限幼苗(株/hm²)，SK 为受限幼树(株/hm²)，CD 为样地郁闭度(%)，HC 为草本盖度(%)，SC 灌木盖度(%)，LT 为枯落物厚度(cm)，AT 为林分密度(株/hm²)，WD 为木质残体密度(株/hm²)，RF 为年降雨量(mm)，TP 为年平均气温(℃)，AL 为海拔(m) (* $P<0.05$ ，** $P<0.01$ ， $n=27$)。

表 4 不同死亡阶段样地林分因子、环境因子特征

Table 4 The characteristics of stand factors and environmental factors in the sample plots at different death stages

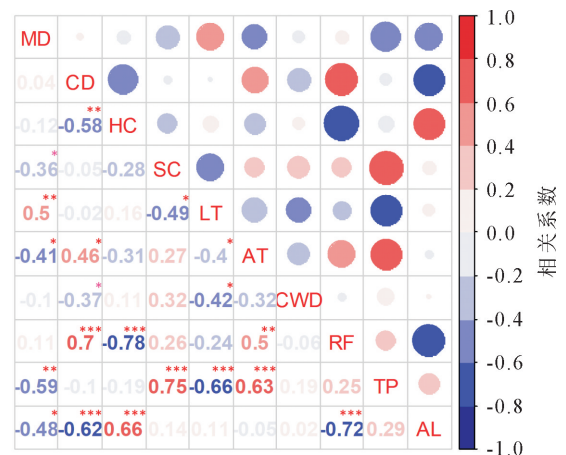
样地因子	郁闭度 (%)	枯落物厚度/cm	样地林分密度/(株·hm ⁻²)	平均树高/m	年平均降水量/mm	年均温度/℃
L	0.74±0.074aA	3.21±0.41aB	2025±25.00aB	8.4±2.41aB	609.5A	7.817B
K	0.55±0.12bB	3.25±0.35aB	733±543.33bA	8.7±1.83abB		
D	0.64±0.07abB	3.48±0.78aA	1292±331.97cB	9.2±1.25bA		

注：表中数值为“平均值±标准差”，同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，同列大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

对山杨更新密度与林分因子和环境因子进行相关分析，如图 2 所示，山杨更新密度与年均温度呈极显著负相关($P<0.01$)，与灌木盖度、林分密度和海拔呈显著负相关($P<0.05$)，与枯落物厚度呈显著正相关($P<0.05$)。还可发现，个别林分因子及与环境因子之间相关性显著，如，郁闭度与草本盖度呈显著负相关($P=0.05$ ， $r=-0.58$)，与林分密度呈显著正相关($P=0.05$ ， $r=0.46$)。枯落物厚度与灌木盖度和林分密度呈显著负相关($P<0.05$)，与年平均气温呈极显著负相关($P<0.001$)。林分密度与年平均降水量和年均温度呈极显著正相关($P<0.01$)。

表 5 表明，不同死亡阶段样地之间土壤持水量、吸湿水百分率、碱解氮含量、毛管孔隙度、速效磷含量、全磷含量存在差异，导致这些因子不同的原因可能是在调查中发现，不同死亡阶段样地内土壤的石头和土比例相差较大，从而导致树木在生长时所吸收的水分和养分不同；因为样地之间的地理位置距离<500 m，所以可能会导致有一部分土壤因子之间：土壤的速效钾含量、TK 含量、持水率、pH 和土壤容重不存在差异性($F<1$)。不同死亡阶段样地间土壤的碱解氮含量与更新苗密度存在显著性差异($P<0.05$)，土壤的碱解氮含量能反映近期土

壤的氮素供应能力，更新苗数量与大部分土壤因子之间并没有显著相关关系($P>0.05$)。



注：MD 为山杨更新苗密度(株/hm²)，CD 为样地郁闭度(%)，HC 为草本盖度(%)，SC 灌木盖度(%)，LT 为枯落物厚度(cm)，AT 为林分密度(株/hm²)，WD 为木质残体密度(株/hm²)，RF 为年平均降水量(mm)，TP 为年平均温度(℃)，AL 为海拔(m) (* $P<0.05$ ，** $P<0.01$ ，*** $P<0.001$ ， $n=27$)。

图 2 山杨更新密度与林分因子和环境因子的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of poplar regeneration density and forest factors and environmental factors

2.3 山杨更新苗密度和木质残体密度的特征分析

由表 6 可知，罕山保护区总更新苗密度表现为枯立木样地(2 860.66 株/hm²)>倒木样地(921.23

株/hm²)>对照样地(505.56 株/hm²),对罕山自然保护区不同样地山杨总更新密度进行方差分析表明,枯立木样地与倒木样地 and 对照样地呈极显著差异($P<0.01$);对样地内山杨更新苗密度调查发现,枯立木样地(2 252.33 株/hm²)>倒木样地(789.33 株/hm²)>对照样地(416.21 株/hm²),而对罕山保护区木质残体的密度调查发现,倒木样地密度最大,为 1 883.33 株/hm²,其次为枯立木样地 1 183.32 株/hm²,对照样地最小,为 798 株/hm²。研究发现,更新苗的密度和木质残体密度之间没有明显的关系。

3 讨论

3.1 山杨具有较强的萌蘖更新能力,且在死亡后更新得到释放

森林大面积死亡会极大地改变环境资源的分布格局和配置模式^[7],并导致林地内部与周边环境的空间异质性,从而引起林分群落结构的改变,间接地通过光、温度、水分和养分等环境因子共同影响幼苗更新状态^[8-9]。在本次调查研究中罕山保护区山杨更新苗的更新方式均为萌蘖更新,这可能是因为地上部分枯死后没有有效种子结实,还有可能是因为山杨种子

受到枯落物、灌木和草本的阻隔影响,无法与土壤表面接触得到发芽所需的水土环境,极大地降低了种子的萌发率,使种子丧失更多成功定居的机会,从而影响天然更新的质量,这与前期研究中幼苗更新能力与林分郁闭度、凋落物厚度、林分密度和草本盖度等环境因子呈负相关的研究结论一致^[10-11]。

表 5 不同死亡阶段更新苗密度与土壤性质相关系数
Table 5 Correlation coefficients between seedling density and soil properties under different death gradients

土壤性质	典型相关分析	
	F	P
持水量	9.9 *	0.971
吸湿水	4.1 *	0.106
持水率	0.3	0.678
碱解氮	3.1 *	0.049 *
毛管孔隙度	1.1 *	0.341
pH 值	<0.1	0.894
土壤容重	0.1	0.708
速效钾	0.7	0.168
速效磷	6.5 *	0.174
TP	6.4 *	0.696
TK	<0.1	0.836

注: $F>1$ 表示各分组均值间存在差异, $P<0.05$ 表示组间存在显著相关, $P<0.01$ 为极显著相关。

表 6 不同死亡阶段山杨更新密度与木质残体密度分布

Table 6 Distribution of regeneration density and woody residue density of aspen with different death gradients 株·hm⁻²

样地	总更新苗密度	山杨更新苗总密度	倒木密度	枯立木密度	木质残体密度
L	505.56±34.98aA	416.21±56.34aA	425±129Ab	375±94Ab	798±76.38aA
K	2 860.66±687.67B	2 252.33±487.76B	785±137Aa	425±209Ab	1 183±137.70bA
D	921.23±87.67bA	789.33±87.76bA	950±290Aa	693±107Aa	1 883±62.93cA

本研究还发现,罕山保护区中度死亡阶段枯立木样地更新密度最大,且高于轻度和重度死亡阶段的对照样地和倒木样地,然而对照样地更新苗密度高于倒木样地,导致这一结果的原因一可能是因为森林发生大面积死亡后的枯立阶段,虽然地上部分已经死亡或枯萎,但是其根系还具有生命力,在环境条件适宜时进行萌蘖更新,并且在森林死亡后得到最大释放,这一结论与赵鹏武等^[8]、Zhao 等^[13]、Xu 等^[12]在内蒙古大兴安岭南段的研究结果相同,符合重度采伐或死亡有利于森林根孽更新的研究结论^[14-16]。二可能是因为该地区年平均降水量较气候相对于干旱地区较湿润,但是该地区土壤为沙质壤土,保水能力相对较差,由于受土壤水分的限制,乔木并不是该地区首先生长的植物种,相比之下,该地区有较大的灌木盖度,从灌木物种重要值来看,罕山保护区虎榛子和土庄绣线菊为该地区与之竞争的主要物种。另外,从多元统计分析也可以发现,样地枯落物厚度和郁闭度也是影响山杨更新的主要因子,这也证实了前面的研究结果,即枯落物可通过改善林内微环境,减少土壤水分散失,提

供稳定的养分供给,从而有利于幼苗的生长^[17-18]。

3.2 幼苗更新后具有形成新一代森林潜力

研究发现,森林更新后幼苗幼树具有较高的枯梢和死亡现象,尤其森林死亡后枯立木过渡为倒木时,更新幼苗和幼树开始有较高的死亡率,从而更新苗密度降低。幼苗和幼树能够健康生长是长成大树的一个关键指标,但是,研究区内对照样地和枯立木样地幼树的死亡率较低,而从枯立木样地(中度死亡样地)到倒木样地(重度死亡样地)的过渡阶段内,幼树死亡率有上升的趋势,这可能是随树木的不断生长,光、热等环境资源需求量不断增大,当达到一定限度时,便开始出现种内自疏现象^[6],或者由于幼苗与幼树之间又存在密度制约效应,导致生长速度开始下降^[19],因此,可以推断随着幼树的不断生长,幼树的死亡率逐渐升高,当达到合理的环境空间后,死亡率便逐渐降低,直到停止,这时的林分密度为该种群生态位稳定的林分密度阈值。此研究结论与内蒙古大兴安岭南段其他研究区域的结论一致^[8],这是森林死亡后更新密度和林分密度的自我调整,也是更新密度随更新苗

的高度、林分郁闭度的变化趋于合理的综合表现。本文相关分析也证明,平均树高、平均胸径与郁闭度、林分密度呈显著负相关($P < 0.05$),山杨更新胸径(或基径)变化呈现出倒木样地>枯立木样地>对照死亡样地的趋势,这也充分说明环境释放可促进幼苗生长释放,促进更新密度逐步趋于合理、生长速度加快,创造更新幼苗幼树可能形成新一代森林的潜力。

4 结论

罕山自然保护区山杨林大面积森林死亡后更新树种主要以山杨为主,并且均为萌生更新。更新苗密度总体呈枯立木样地>对照样地>倒木样地,与年均温度呈极显著负相关($P < 0.01$),与灌木盖度、林分密度和海拔呈显著负相关($P < 0.05$),与枯落物厚度呈显著正相关($P < 0.05$);不同死亡阶段样地之间土壤的持水量、碱解氮含量和毛管孔隙度等存在差异,导致这些因子不同的原因可能是因为不同死亡阶段样地内土壤的石头和土比例相差较大,导致树木生长所需的养分和水分存在差异;不同死亡阶段样地之间土壤的速效钾含量、持水率、pH值和土壤容重不存在差异性($F < 1$);不同死亡阶段样地间的碱解氮含量与更新苗密度存在显著性差异($P < 0.05$),更新苗密度与大部分土壤因子之间并没有显著相关关系($P > 0.05$)。研究发现,山杨林在面积死亡后根系具有快速萌蘖更新的活力,在死亡后得到更新释放补充森林死亡的损失,且具有形成新一代森林的潜力。

参考文献:

- [1] 井赛,张静,侯晓巍,等.三江源东部祁连圆柏天然更新特征研究[J].西北林学院学报,2021,36(3):52-58.
JING S, ZHANG J, HOU X W, *et al.* Natural regeneration characteristics of *Juniperus przewalskii* the forest in the east of Three-River Resource Region[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(3): 52-58. (in Chinese)
- [2] 赵丽娟.中亚热带石栎—青冈群落结构特征及影响因子研究[D].长沙:中南林业科技大学,2014.
- [3] 闫宝龙.大兴安岭南段天然次生林蒙古栎群落分析与种群更新特征研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [4] 赵鹏武,管立娟,刘兵兵,等.我国半干旱区东段森林动态研究现状及展望[J].世界林业研究,2021,34(2):74-79.
ZHAO P W, GUAN L J, LIU B B, *et al.* Status and prospect of forest dynamics research in the eastern half of my country's semi-arid region[J]. World Forestry Research, 2021, 34(2): 74-79. (in Chinese)
- [5] 赵鹏武,管立娟,周梅,等.内蒙古罕山次生林区木质残体基础特征[J].干旱区资源与环境,2021,35(3):155-161.
- [6] 朱凯月,王庆成,吴文娟.林隙大小对蒙古栎和水曲柳人工更新幼树生长和形态的影响[J].林业科学,2017,53(4):150-157.
ZHU K Y, WANG Q C, WU W J. Effects of gap size on growth and morphology of artificially regenerated saplings of *Quercus mongolica* and *Fraxinus mandshurica* [J]. Forestry Science, 2017, 53(4): 150-157. (in Chinese)
- [7] ALLEN C D, MACALADY A K, CHENCHOUNI H, *et al.* A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests[J]. Forest Ecology and Management, 2010, 259(4): 660-684.
- [8] 赵鹏武,刘兵兵,管立娟,等.大兴安岭南段山杨死亡对其更新的影响[J].东北林业大学学报,2021,49(7):33-36,55.
- [9] 任学敏,朱雅,陈兆进,等.太白山锐齿槲栎林乔木更新特征及其影响因子[J].林业科学,2019,55(1):11-21.
REN X M, ZHU Y, CHEN Z J, *et al.* Regeneration of arbor trees its contributing factors in an oak forest in Taibai Mountain, China [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2019, 55(1): 11-21. (in Chinese)
- [10] 刘帅,廖嘉星,肖翠,等.长白山次生针阔混交林乔木幼苗存活的影响因素分析[J].植物生态学报,2016,40(7):711-722.
- [11] 魏玉龙,李嘉悦,温晶,等.基于林缘效应对兴安落叶松天然更新及分布格局的研究[J].西北林学院学报,2019,34(3):15-20.
WEI Y L, LI J Y, WEN J, *et al.* Research on natural regeneration and distribution pattern of larch from Xing'an based on forest margin effect [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(3): 15-20. (in Chinese)
- [12] XU C Y, LIU H Y, ZHOU M, *et al.* Enhanced sprout-regeneration offsets warming-induced forest mortality through shortening the generation time in semiarid birch forest [J]. Forest Ecology and Management, 2018, 409: 298-306.
- [13] ZHAO P W, XU C Y, ZHOU M, *et al.* Rapid regeneration offsets losses from warming-induced tree mortality in an aspen-dominated broad-leaved forest in northern China[J]. PLoS One, 2018, 13(4): 1-12.
- [14] MARIO B, JAMES P, DOERNER S B F. Radial growth response and vegetative sprouting of aspen following release from competition due to insect-induced conifer mortality [J]. Forest Ecology and Management, 2015, 347: 96-106.
- [15] 张敏.青石冈林场木荷混交林更新演替研究[D].长沙:中南林业科技大学,2013.
- [16] 李娜,康永祥,曾商春,等.太白红杉林窗更新与环境因子的关系研究[J].西北林学院学报,2019,34(6):30-36.
LI N, KANG Y X, ZENG S C, *et al.* Relationship between the regeneration of *Larix chinensis* and environmental factors in forest gaps [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(6): 30-36. (in Chinese)
- [17] 唐翠平,袁思安,李骄,等.枯落物的种类及覆盖厚度对云南松种子萌发与幼苗生长的影响[J].贵州农业科学,2014,42(8):191-194.
- [18] 宝虎,赵鹏武,周梅,等.大兴安岭南段典型天然林枯枝落叶层及土壤层持水特性研究[J].干旱区资源与环境,2020,34(2):175-181.
- [19] 马惠英,文英,韩云花,等.水曲柳阔叶混交林冠层光分布与天然更新相关性研究[J].西北林学院学报,2021,36(2):97-101.
MA H Y, WEN Y, HAN Y H, *et al.* Correlations between light distribution of the crown layer and natural regeneration of *Fraxinus mandshurica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2021, 36(2): 97-101. (in Chinese)