

田佳歆, 刘盛, 刘冠兵, 程福山, 王琬茹, 赵士博, 罗见. 带状皆伐对长白落叶松林草本多样性和土壤养分的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27 (4): 901-907

Tian JY, Liu S, Liu GB, Cheng FS, Wang WR, Zhao SB, Luo J. Influences of different strip clearcutting on the herbaceous diversity and soil nutrients of *Larix olgensis* plantation [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2021, 27 (4): 901-907

带状皆伐对长白落叶松林草本多样性和土壤养分的影响

田佳歆 刘盛[✉] 刘冠兵 程福山 王琬茹 赵士博 罗见

北华大学林学院 吉林 132013

摘要 以临江林业局的长白落叶松人工林带状皆伐迹地为研究对象, 分别在皆伐带宽度为20 m、30 m、40 m的带状皆伐迹地设置样地, 在附近未采伐林分设置对照样地, 对样地进行林下草本层多样性调查和土壤化学性质测定。结果表明:

(1) 样地调查中记录到草本植物71种, 隶属33科66属, 皆伐后草本植物数量明显增多, 其中20 m皆伐带最多达到38种。且对照样地与皆伐样地呈中等不相似, 说明其生境不同, 草本植物种类也不尽相同; (2) 对于物种多样性来说, 20 m皆伐带Pielou均匀度指数最高, Simpson多样性指数、Shannon-Wiener多样性指数和物种丰富度均是皆伐带样地高于对照样地, 其中20 m皆伐带最高, 并显著高于对照样地 ($P < 0.05$); (3) 在土壤化学性质的对比分析中, 土壤呈弱酸性, 土壤全磷、全钾、全氮和有机质在0-10 cm土层含量显著高于10-20 cm和20-40 cm土层 ($P < 0.05$)。同时, 20 m皆伐带土壤全磷、全钾、全氮和有机质含量最高并显著高于对照样地 ($P < 0.05$); (4) 土壤养分与草本植物物种多样性的相关分析显示物种丰富度与土壤全磷和土壤有机质呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与土壤pH值呈显著负相关 ($P < 0.05$), 而Pielou均匀度指数与全氮呈显著负相关 ($P < 0.05$)。综上所述, 长白落叶松人工林带状皆伐后草本层物种数量增加, 物种多样性提高, 土壤养分显著增加。3种皆伐带宽度以20 m物种多样性最丰富, 并且最有利于土壤养分的提高。(表6 参39)

关键词 带状皆伐; 草本物种组成; 草本多样性指数; 土壤化学特征

Influences of different strip clearcutting on the herbaceous diversity and soil nutrients of *Larix olgensis* plantation

TIAN Jiaxin, LIU Sheng[✉], LIU Guanbing, CHENG Fushan, WANG Wanru, ZHAO Shibo & LUO Jian
Forestry College, Beihua University, Jilin 132013, China

Abstract To investigate the effects of strip clearcutting on herbaceous diversity and soil nutrients, we established survey plots in *Larix olgensis* plantations regenerated after strip clearcutting at 20 m, 30 m, and 40 m strip widths, named J20, J30, and J40, respectively. Plots were established in undisturbed forests nearby as contrast plots (CK). All plots were located at the Linjiang Forestry Company. The species diversity of herbaceous plants and soil chemical properties, such as pH and contents of total phosphorus (TP), total potassium (TK), total nitrogen (TN), and organic matter (OM), were measured and analyzed. (1) A total of 71 species of herbaceous plants from 33 families and 66 genera were identified in the sample plots. The number of herbaceous plants increased after strip clearcutting, especially in J20, with as many as 38 species. The low community similarity indices between clearcutting plots and CK showed that different environments could result in different herbaceous species. (2) For species diversity, the Pielou index was not significantly different between strip clearcutting plots and CK ($P > 0.05$). However, the Simpson index, Shannon Wiener index, and species richness of the strip clearcutting plots, of which J20 exhibited the highest values, were all higher than those of CK. (3) In the comparative analysis of soil chemical properties, the levels of TP, TK, TN, and OM in the 0-10 cm soil layer were significantly higher than those in the 10-20 cm and 20-40 cm soil layers ($P < 0.05$). Moreover, the levels of TP, TK, TN, and OM in J20 were the highest and significantly higher than those in CK ($P < 0.05$). (4) The correlation analysis of soil nutrients and herbaceous species diversity revealed that species richness was positively correlated with TP and OM levels ($P < 0.05$) but negatively correlated with pH ($P < 0.05$). The Pielou index was negatively correlated with TN content ($P < 0.05$). The species diversity of the herbaceous layer and soil nutrients of *L. olgensis* plantation in the study area increased significantly after stripping clearcutting, and

收稿日期 Received: 2020-03-26 接受日期 Accepted: 2020-05-22

吉林省重点研发项目(20200402091NC)和国家“十三五”重点研发计划项目(2017YFD0600402)资助 Supported by the Key R&D Project of Jilin Province (20200402091NC) and the National Key R&D Program of China during the 13th Five-year Plan Period (2017YFD0600402)

[✉]通讯作者 Corresponding author (E-mail: shliu64@sina.com)

J20 demonstrated the richest species diversity and the most efficient utilization of soil nutrients.

Keywords strip clear-cutting; herbaceous species composition; herbaceous layer diversity; soil chemical property

草本层是森林生态系统的重要组成部分,在整个生态系统中具有最高的物种多样性^[1-3]。研究表明草本植物能够维持森林生态系统的稳定性^[4]、提升土壤肥力、保持水土、涵养水源^[5]、促进幼苗生长发育^[6],它既可以影响森林经营管理活动,也受到森林经营活动的影响^[7]。在所有的森林经营活动中,森林采伐对林下植被的影响最大^[8],它会显著降低林分内的生物量,减少动植物种类^[9],对森林环境造成一定程度的破坏^[10]。但是,因为林下植物对其生境变化极为敏感,采伐后林地光照强度的增加使林下植物快速生长,喜光植物种类显著增加,不仅有效降低了采伐后降雨导致的养分淋失,同时,因其养分循环周期短、速度快,对林地生产力的维持和提高也具有重要意义^[11-13]。在多种采伐方式中,皆伐是最常用的方式之一,也是在短期内对林分物种多样性影响最大的一种采伐方式^[14]。因此,如何科学合理地进行森林采伐,并通过采伐来调节林分的生物多样性和提高土壤养分含量成为目前研究的热点问题之一^[15-16]。

落叶松是我国人工林的主要造林树种之一,其中长白落叶松(*Larix olgensis*)以适应性强、生长快、耐寒冷等特性,被大量应用于我国东北地区人工林的营造^[17]。但是,目前多数长白落叶松人工林分群落结构单一、密度较大,枯枝落叶难以腐化,致使林下植被多样性下降、养分循环缓慢、地力衰退、土壤日趋酸化,从而导致人工林生态系统的生产能力、可持续性和稳定性降低^[18]。研究表明,具有高物种多样性的森林群落才具有高稳定性^[19];为了保持人工林的可持续性经营,提高落叶松人工林木材生产的经济效益和森林的生态、社会、文化功能,在人工林的经营过程中,高度关注林下植被群落的动态变化显得尤为重要。而现在关于落叶松人工林的研究主要集中在进一步提高木材质量^[20-21],改善林分的空间结构,提高林分的生产力等方面^[22],对长白落叶松这一类针叶林带状皆伐后林分的植被变化及其相应的土壤养分变化研究较少。

因此,本研究在吉林省临江市桦树林场,选取了海拔、坡度、坡位等立地条件基本一致的长白落叶松人工林带状皆伐迹地。通过调查不同宽度带状皆伐迹地内草本植物的种类、数量和土壤养分含量,分析了皆伐后不同宽度皆伐带内林下草本植物的物种组成和多样性指数变化规律,来解释林下草本植物多样性变化的原因,并分析了林下草本植物变化对土壤养分变化的影响。研究结果有助于了解草本植物和土壤养分对不同宽度带状皆伐的响应,从而确定最佳皆伐带宽度,为科学制定长白落叶松人工林的经营措施,恢复土壤肥力,实现林分的可持续经营提供理论依据和数据支撑。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于吉林省临江林业局桦树林场(126°16'47"-127°16'51"E, 41°57'48"-42°57'49"N, 海拔930-1 054 m),属长白山系龙岗山脉。该地区属温带大陆性季风气候,夏季多雨、冬季寒冷,1月份最低平均气温-32℃,7月份最高平均气温32℃,全年平均气温4℃,年平均降水量750-1 000 mm,多集中在7、8月份。土壤主要为暗棕壤,土层厚度40 cm以上。该地区植物以北温带植物成分为主。研究区主要乔木树种包括红松(*Pinus koraiensis*)、

云杉(*Picea asperata*)、长白落叶松、水曲柳(*Fraxinus mandschurica*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、枫桦(*Betula costata*)、山杨(*Populus davidiana*)等,主要草本植物有和尚菜(*Adenocaulon himalaicum*)、香根芹(*Osmorhiza aristata*)、大叶子(*Astilboides tabularis*)、鸭儿芹(*Cryptotaenia japonica*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、水金凤(*Impatiens noli-tangere*)、蕁麻叶龙头草(*Meehanian urticifolia*)、珠芽艾麻(*Laportea bulbifera*)、尾叶香茶菜(*Rabdosia excisa*)。

1.2 试验设计

试验地设置在桦树林场48林班,2016年对长白落叶松人工林进行带状皆伐,皆伐带宽度分别为20 m、30 m、40 m,均为南北走向,长度200余米。2018年在20 m(J20)、30 m(J30)、40 m(J40)宽度皆伐带内设立20 m×30 m标准地各3块,并在附近保留的未皆伐林分设置了3块对照样地(CK),标准地情况如表1。

1.3 土壤样品的采集与测定

于2019年8月,采用对角线五点混合取样法(样地四角和中心共5个点)在各标准地内进行取样,将土层分为0-10 cm、10-20 cm、20-40 cm 3个土层,取样后将同一样地同一土层的5个样品混合成1个土样,用于实验室测定土壤化学性质,测定指标主要包括:pH(采用电位法LY-T 1239-1999)、有机质(重铬酸钾氧化—外加热法LY-T 1237-1999)、全氮(凯氏定氮法LY-T 1228-1999)、全磷(碱熔—钼锑抗比色法LY-T 1232-1999)、全钾(碱熔—火焰光度计法LY-T 1234-1999)。

1.4 草本植物的调查及计算

于2019年8月对每个样地内的林下草本植物全部进行了调查。调查内容包括物种名、株数、平均高度、盖度。

计算各物种的重要值(important value, IV),以Pielou均匀度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数、物种丰富度为指标分析不同皆伐带宽度草本植物多样性。

$IV = (\text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对多度}) / 3$

物种丰富度指数: $D = S$

Shannon-Wiener多样性指数: $H' = -\sum p_i \ln p_i$

Pielou均匀度指数: $I_{sw} = (\sum p_i \ln p_i) / \ln S$

Simpson多样性指数: $H' = 1 - \sum p_i^2$

群落相似性系数: $CC = 2a / (b + c)$

式中: S —物种数; p_i —一种的个体数占群落中总个体数的比例; a —2个群落间物种共有数量; b 、 c —两个群落间分别拥有的物种数量;定义:相似性指数0.00-0.25为极不相似,0.251-0.50为中等不相似,0.501-0.75为中等相似,0.751-1.00为极相似。

1.5 统计分析

采用Microsoft Excel 2007对数据进行整理,应用SPSS19.0软件对数据进行单因素方差分析、LSD多重比较及相关分析,显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同宽度皆伐带内草本植物物种组成及重要值

在调查的样地中,共记录到草本植物71种,隶属33科66属,以菊科(*Compositae*)、伞形科(*Umbelliferae*)、

唇形科 (*Labiatae*)、毛茛科 (*Ranunculaceae*)、蔷薇科 (*Rosaceae*)、荨麻科 (*Urticaceae*) 植物为主。表2列出了各样地草本植物重要值 $\geq 1\%$ 的草本植物物种组成,在20 m、30 m、40 m皆伐带样地和对照样地中重要值 $\geq 1\%$ 的草本植物种分别为38种、34种、32种和18种,皆伐带迹地上草本物种丰富度明显高于对照样地。另外,从表3可以看出对照样地与带状皆伐样地内草本群落相似性较低,均呈中等不相似,群落物种差异较大。20 m、30 m、40 m皆伐带间两两呈中等相似,群落物种差异较小。

2.2 不同宽度皆伐带内草本植物物种多样性

20 m皆伐带草本植物的Pielou均匀度指数最大(表4); Shannon-Wiener多样性指数和物种丰富度均表现为20 m皆伐带显著高于30 m皆伐带($P < 0.05$)、30 m皆伐带显著高于40 m皆伐带和CK样地($P < 0.05$); 20 m皆伐带样地Simpson多样性指数显著高于其他样地,一定程度上表明20 m皆伐带内草本植物的物种多样性远高于其他样地。

表1 实验地基本概况

Table 1 Basic situations of the strip clear-cutting and contrast plots

样地号 Number	郁闭度 Canopy density	坡度 Slop ($\alpha/^\circ$)	坡向 Aspect	坡位 Slope position	海拔 Elevation/m	平均胸径 Mean (DBH/cm)	平均树高 Mean (H/m)
J20-1	0	10	N	下 Below	933	0	0
J20-2	0	11	N	中下 Below the average	932	0	0
J20-3	0	10	N	下 Below	938	0	0
J30-1	0	10	N	下 Below	935	0	0
J30-2	0	11	N	中下 Below the average	942	0	0
J30-3	0	13	N	中 Middle	951	0	0
J40-1	0	10	N	下 Below	939	0	0
J40-2	0	11	N	中下 Below the average	943	0	0
J40-3	0	13	N	下 Below	930	0	0
CK-1	0.98	15	N	下 Below	1003	18.1	18.5
CK-2	0.9	15	N	中 Middle	1022	17.1	17.6
CK-3	0.92	16	N	上 Up	1054	16.8	17.5

表2 不同宽度皆伐带草本植物重要值 $\geq 1\%$ 的物种组成

Table 2 Species compositions of herbaceous plants with important values $\geq 1\%$ in strip clear-cutting with different widths

J20		J30		J40		CK	
物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV
狭叶荨麻 <i>Urtica angustifolia</i>	5.59	翼柄翅果菊 <i>Pterocypsela triangulata</i>	25.27	珠芽艾麻 <i>Laportea bulbifera</i>	9.89	水金凤 <i>Impatiens noli-tangere</i>	16.76
尾叶香茶菜 <i>Rabdosia excisa</i>	5.02	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	9.17	鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	8.5	荷青花 <i>Hylomecon Japonicum</i>	11.38
大叶子 <i>Astilboides tabularis</i>	4.43	蛇床 <i>Cnidium monnieri</i>	6.26	香根芹 <i>Osmorhiza aristata</i>	6.47	宽叶荨麻 <i>Urtica laetevirens</i>	9.59
和尚菜 <i>Adenocaulon himalaicum</i>	4.23	荨麻叶龙头草 <i>Meehanian urticifolia</i>	5.79	宽叶藎草 <i>Carex siderosticta</i>	5.69	珠芽艾麻 <i>Laportea bulbifera</i>	7.80
水金凤 <i>Impatiens noli-tangere</i>	3.49	鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	4.80	宽叶荨麻 <i>Urtica laetevirens</i>	5.07	山茄子 <i>Brachybotrys paridiformis</i>	7.02
鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	3.37	香根芹 <i>Osmorhiza aristata</i>	2.69	荨麻叶龙头草 <i>Meehanian urticifolia</i>	4.21	野芝麻 <i>Lamium barbatum</i>	6.13
香根芹 <i>Osmorhiza aristata</i>	3.22	缬草 <i>Valeriana officinalis</i>	2.53	山楂叶悬钩子 <i>Rubus crataegifolius</i>	3.98	大齿山芹 <i>Ostericum grosseserratum</i>	6.07
蒿 <i>Ctenopteris curtisii</i>	3.06	大叶子 <i>Astilboides tabularis</i>	2.42	尾叶香茶菜 <i>Rabdosia excisa</i>	3.64	白花碎米荠 <i>Cardamine leucantha</i>	5.69
车前 <i>Plantago asiatica</i>	2.87	珠芽艾麻 <i>Laportea bulbifera</i>	2.38	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	3.32	荨麻叶龙头草 <i>Meehanian urticifolia</i>	5.06
乌头 <i>Aconitum carmichaelii</i>	2.87	凤丫蕨 <i>Coniogramme japonica</i>	2.21	东北蹄盖蕨 <i>Athyrium brevifrons</i>	3.29	五福花 <i>Adoxa moschatellina</i>	4.54
山茄子 <i>Brachybotrys paridiformis</i>	2.83	宽叶藎草 <i>Carex siderosticta</i>	2.13	棱子芹 <i>Pleurospermum camtschaticum</i>	3.14	短果茴芹 <i>Pimpinella brachycarpa</i>	4.00
烟管蓟 <i>Cirsium pendulum</i>	2.76	蒿 <i>Ctenopteris curtisii</i>	1.99	蒿 <i>Ctenopteris curtisii</i>	3.03	大叶子 <i>Astilboides tabularis</i>	3.58
大齿山芹 <i>Ostericum grosseserratum</i>	2.74	齿苞风毛菊 <i>Saussurea odontolepis</i>	1.98	水金凤 <i>Impatiens noli-tangere</i>	2.93	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	2.79

续表2 Table 2 (continued)

J20		J30		J40		CK	
物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV	物种名 Species	重要值 IV
翼柄翅果菊 <i>Pterocypsela triangulata</i>	2.57	山尖子 <i>Parasenecio hastatus</i>	1.86	凤丫蕨 <i>Coniogramme japonica</i>	2.66	窃衣 <i>Torilis scabra</i>	2.77
东北百合 <i>Lilium distichum</i>	2.50	京黄芩 <i>Scutellaria pekinensis</i>	1.73	翼柄翅果菊 <i>Pterocypsela triangulata</i>	2.60	透骨草 <i>Phryma leptostachya</i>	2.39
普通凤丫蕨 <i>Coniogramme intermedia</i>	2.45	烟管蓟 <i>Cirsium pendulum</i>	1.68	独活 <i>Heracleum hemsleyanum</i>	2.45	林金腰 <i>Chrysosplenium lectus-cochleae</i>	1.93
珠芽艾麻 <i>Laportea bulbifera</i>	2.43	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	1.67	类叶升麻 <i>Actaea asiatica</i>	2.33	繁缕 <i>Stellaria media</i>	1.45
宽叶薹草 <i>Carex siderosticta</i>	2.32	尾叶香茶菜 <i>Rabdosia excisa</i>	1.64	茜草 <i>Rubia cordifolia</i>	2.10	福王草 <i>Prenanthes tatarinowii</i>	1.07
丛枝蓼 <i>Polygonum posumbu</i>	2.24	宽叶荨麻 <i>Urtica laetevirens</i>	1.61	酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	1.97		
落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	1.93	东北百合 <i>Lilium distichum</i>	1.54	大叶子 <i>Astilboides tabularis</i>	1.90		
异果菊 <i>Dimorphotheca sinuata</i>	1.90	粗茎鳞毛蕨 <i>Dryopteris crassirhizoma</i>	1.31	烟管蓟 <i>Cirsium pendulum</i>	1.82		
荷青花 <i>Hylomecon Japonicum</i>	1.87	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	1.30	山尖子 <i>Parasenecio hastatus</i>	1.81		
透骨草 <i>Phryma leptostachya</i>	1.85	车前 <i>Plantago asiatica</i>	1.23	窃衣 <i>Torilis scabra</i>	1.72		
宽叶荨麻 <i>Urtica laetevirens</i>	1.73	小蓬草 <i>Conyza canadensis</i>	1.20	草芍药 <i>Paeonia obovata</i>	1.62		
蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	1.68	水金凤 <i>Impatiens noli-tangere</i>	1.16	异果菊 <i>Dimorphotheca sinuata</i>	1.59		
屋根草 <i>Crepis tectorum</i>	1.67	和尚菜 <i>Adenocaulon himalaicum</i>	1.15	路边青 <i>Geum aleppicum</i>	1.56		
荨麻叶龙头草 <i>Meehanian urticifolia</i>	1.67	路边青 <i>Geum aleppicum</i>	1.08	刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i>	1.55		
东北天南星 <i>Arisaema amurense</i>	1.65	独活 <i>Heracleum hemsleyanum</i>	1.07	野蓟 <i>Cirsium maackii</i>	1.44		
路边青 <i>Geum aleppicum</i>	1.58	野蓟 <i>Cirsium maackii</i>	1.03	野芝麻 <i>Lamium barbatum</i>	1.30		
白花碎米荠 <i>Cardamine leucantha</i>	1.55	落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	1.03	山芝麻 <i>Helicteres angustifolia</i>	1.20		
水升麻 <i>Perilla frutescens</i>	1.51	玉竹 <i>Polygonatum odoratum</i>	1.02	东北百合 <i>Lilium distichum</i>	1.05		
繁缕 <i>Stellaria media</i>	1.46	早熟禾 <i>Poa annua</i>	1.01	乌头 <i>Aconitum carmichaelii</i>	1.05		
山楂叶悬钩子 <i>Rubus crataegifolius</i>	1.40	屋根草 <i>Crepis tectorum</i>	1.01				
蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	1.37	繁缕 <i>Stellaria media</i>	1.00				
窃衣 <i>Torilis scabra</i>	1.36						
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	1.27						
牧根草 <i>Asyneuma japonicum</i>	1.15						
三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	1.15						

表3 不同宽度皆伐带草本层群落相似性系数

Table 3 Community similarity coefficients of herbaceous plants in strip clear-cutting with different widths

样地 Plot	CK	J20	J30	J40
CK	1.00			
J20	0.42	1.00		
J30	0.29	0.67	1.00	
J40	0.29	0.6	0.59	1.00

2.4 群落物种多样性与土壤养分的相关分析

对土壤主要养分指标与物种多样性指数相关性分析(表6)表明,二者存在不同程度的相关性。物种丰富度与土壤全

表4 不同宽度皆伐带草本植物物种多样性指数

Table 4 Species diversity indexes of herbaceous plants in strip clear-cutting with different widths

样地 Plot	J_{SW}	H	H'	D
J20	0.96 ± 0.02A	2.75 ± 0.03A	0.93 ± 0.01A	17.50 ± 1.29A
J30	0.91 ± 0.03B	2.51 ± 0.15B	0.90 ± 0.02AC	16.11 ± 3.22A
J40	0.91 ± 0.02B	2.26 ± 0.22C	0.87 ± 0.03BC	12.00 ± 2.53B
CK	0.91 ± 0.05AB	2.10 ± 0.31BC	0.85 ± 0.06B	10.00 ± 2.00B

表中数据为平均数±标准差,不同大写字母表示不同样地类型同一土层间差异显著($P < 0.05$)。

The data in the table are mean ± standard deviation. Different capital letters indicate different plot types of same soil layers with significant differences ($P < 0.05$).

表5 不同宽度皆伐带内土壤化学性质
Table 5 Soil chemical properties in strip clear-cutting with different widths

样地 Plot	土层厚度 Soil depth (δ/cm)	pH	TP/g kg ⁻¹	TK/g kg ⁻¹	TN/g kg ⁻¹	OM/g kg ⁻¹
J20	0-10	4.72 ± 0.20Aa	1.08 ± 0.18Aa	32.39 ± 1.75Aa	6.19 ± 2.11Aa	104.88 ± 10.37Aa
	10-20	4.95 ± 0.16Ab	0.92 ± 0.07Ab	28.93 ± 1.16Ab	4.26 ± 1.09Ab	68.16 ± 2.98Ab
	20-40	4.94 ± 0.50Aa	0.74 ± 0.07Ac	24.47 ± 0.83Ac	3.40 ± 0.41Ab	49.30 ± 7.70Ab
J30	0-10	4.96 ± 0.31Ba	0.81 ± 0.17Ba	30.35 ± 3.04Aa	5.43 ± 1.57Aa	59.46 ± 4.09Ba
	10-20	5.25 ± 0.08Ba	0.58 ± 0.01Bb	26.79 ± 1.84Ab	3.39 ± 1.31Ab	38.68 ± 11.30Bb
	20-40	5.09 ± 0.15Ba	0.50 ± 0.05Bc	23.56 ± 2.22Ac	3.11 ± 1.04Ab	32.27 ± 3.79Bb
J40	0-10	5.06 ± 0.08Ba	0.95 ± 0.11Ca	32.18 ± 3.41Aa	3.54 ± 0.01Aa	89.23 ± 7.74BCa
	10-20	5.20 ± 0.26Ba	0.72 ± 0.27Cb	25.44 ± 0.65Ab	3.53 ± 0.01Ab	59.77 ± 13.74BCb
	20-40	5.19 ± 0.04Ba	0.59 ± 0.31Cc	23.46 ± 2.29Ac	3.53 ± 0.02Ab	35.59 ± 19.59BCb
CK	0-10	5.70 ± 0.21Ca	0.80 ± 0.13Ca	25.71 ± 1.27Aa	4.40 ± 1.63Ba	52.81 ± 0.06ACa
	10-20	5.91 ± 0.16Ca	0.49 ± 0.04Cb	25.05 ± 0.34Ab	4.28 ± 1.29Bb	38.62 ± 3.26ACb
	20-40	5.73 ± 0.17Ca	0.43 ± 0.03Cc	18.99 ± 0.51Ac	3.02 ± 0.55Bb	33.01 ± 5.41ACb

TP: 全磷; TK: 全钾; TN: 全氮; OM: 有机质. 表中数据为平均数±标准差, 不同大写字母表示不同样地类型同一土层间差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同样地类型不同土层间差异显著 ($P < 0.05$).
TP: Total phosphorus; TK: Total potassium; TN: Total nitrogen; OM: Organic matter. The data in the table are mean ± standard deviation. Different capital letters indicate different plot types of same soil layers with significant differences ($P < 0.05$), and different small letters indicate different soil layers of same plots with significant differences ($P < 0.05$).

表6 群落物种多样性与土壤养分之间的相关性
Table 6 Correlation coefficient between community species diversity and soil nutrients

指标 Index	TP	TK	TN	OM	pH
<i>H</i>	0.575	0.044	-0.381	0.578	-0.493
<i>H'</i>	0.037	-0.212	-0.191	0.006	-0.004
<i>D</i>	0.740*	0.169	0.654	0.779*	-0.683*
<i>J_{sw}</i>	-0.574	-0.191	-0.682*	-0.637	0.63

* 在0.05水平(双侧)上显著相关. TP: 全磷; TK: 全钾; TN: 全氮; OM: 有机质.
* Significant correlation at the 0.05 level (bilateral). TP: Total phosphorus; TK: Total potassium; TN: Total nitrogen; OM: Organic matter.

磷和土壤有机质呈显著正相关 ($P < 0.05$), 与土壤pH值呈显著负相关 ($P < 0.05$). Pielou均匀度指数与全氮呈显著负相关 ($P < 0.05$), 其他指标之间无显著相关关系.

3 讨论

3.1 草本植物物种组成与物种多样性

光照是影响林下植被生长的重要因素^[23], 而皆伐能最直接的改变林分的光照条件^[24]. 研究发现带状皆伐样地与对照样地的群落相似程度较低, 说明群落间物种差异明显, 这与孙启越等对皆伐前后油松人工林草本植物的物种变化研究结果^[25]相似, 可能是由于皆伐后为草本植物释放了生长空间并提供充足的光照, 也使得一些喜阳植物得到更适宜的生长环境. 另外, 20 m皆伐带样地重要值≥ 1%的草本植物有38种, 高于其他皆伐带样地, 远远高于对照样地. 这一结论的原因可解释为20 m皆伐带获得的光照少于30 m皆伐带和40 m皆伐带, 使单一优势种无法过度生长而占据更多的林地空间, 为其他物种的生长提供了可能^[26]. 20 m皆伐带Pielou均匀度最高, 这与庞圣江等对不同造林模式下林下植被物种多样性的研究结果^[27]不同, 这表明了20 m皆伐带各物种分布较为均匀. 20 m皆伐带的多样性指数和物种丰富度指数最高, 说明20 m皆伐带草本物种多样性优于其他样带. 在查阅到的过往研究中, 关于最佳皆伐带宽度的研究较少, 现有结论一般认为以林分平均树高为最佳皆伐带宽度^[16], 本研究区皆伐带两侧保留木形成的林墙的平均高度为18 m左右, 因此单纯从物种多样性角度考虑, 该区皆伐宽度为20 m时最好. 若皆伐带过宽, 光照会使单一草本植物过度生长, 挤压了其他草本植物的生存空间, 导

致物种过于单一^[28], 从而影响林分的稳定性, 这与别鹏飞等对不同带宽柏木人工林林下植物多样性的研究^[29]基本一致.

3.2 土壤化学性质

研究发现对照样地土样pH显著高于皆伐带样地, 皆伐带土壤的酸化程度强于对照样地. 这是因为凋落物分解的有机酸进入土壤, 造成土壤酸性增加^[30], 这一研究结论说明采伐会加快样地落叶松针叶的分解速率^[31]. 本研究中各样地的土壤全磷、全钾、全氮、有机碳养分质量分数均随着土层的加深显著减少, 刘振华等在2018年同样发现上层土壤的养分最高^[32]. 这是因为表层土壤更接近凋落物和腐殖质层, 养分富集在土壤表层, 部分养分会随着雨水向下渗透, 且草本植物根系较浅且都覆盖在土壤表层, 故表层养分最高^[33]. 另外, 20 m皆伐带土壤养分含量最高, 且随着皆伐带的加宽土壤养分减少, 这与宋启亮等对大兴安岭低质林带状改造后土壤养分研究结果^[34]相似, 适宜的带宽改善了林内的局部环境, 使土壤中的微生物活动频繁, 加速凋落物分解, 土壤中积累的营养物质和矿质元素增多, 使土壤化学性质得到改善^[35]; 若皆伐带过宽, 林地裸露, 失去林冠对降雨的截留和迟滞, 使地表径流大幅增加造成水土流失, 破坏土壤结构导致土壤质量下降; 另一方面, 林地裸露, 强烈的光照会使林地土壤干燥, 从而影响土壤微生物的活动, 从而降低了土壤养分循环的速度^[36].

3.3 物种多样性和土壤养分相关分析

草本植物多样性与土壤养分含量的积累关系密切, 相互影响^[37]. 本研究中, 土壤养分含量与林下植被物种组成表现出一定程度的相关性. 其中, 草本层物种丰富度与土壤全磷和土壤有机质呈显著正相关, 表明土壤全磷和有机质的增加会随着物种丰富度增加而增加. 然而, 张荣的研究结论^[38]与本研究相反, 张荣认为物种丰富度与土壤全磷、土壤有机质呈极显著负相关, 原因是优势种的他感作用导致物种丰富度降低. 这一差异可能是由于研究的地域水气条件及林型不同, 导致林下草本层物种和养分循环的主导因素差异过大所致. 另外, 物种丰富度与土壤pH值呈显著负相关, 采伐会增加土壤酸性, 原因是短期内落叶松针叶分解加速, 同时也加速了营养物质的释放, 从而使物种丰富度提高^[39]. 其他一些土壤化学指标与草本群落无明显相关关系, 也可能由于采伐时间较短, 草本植被及土壤养分变化还未稳定, 建议为准确把握皆伐后土壤及植被变化状况, 应进行持续长久监测.

4 结论

本研究通过实地采样调查,分析了吉林省临江地区3种不同宽度皆伐带草本植物的物种多样性、土壤养分特征及二者之间的关系。结果表明:带状皆伐后的长白落叶松人工林迹地草本层物种数量增加,草本植物的物种多样性和土壤的养分

含量得到了明显的提高,林地的立地质量得到明显改善。其中20 m皆伐带物种多样性和土壤养分含量最高。故建议在东北地区可采用带状皆伐的方式进行主伐,且带宽20 m左右为宜。本研究的结论仅是皆伐后3年的数据得出的,应对林分进行持续的长期观测,从而反映出皆伐后草本植物多样性和土壤养分的动态变化,对抚育效果进行综合的评价。

参考文献 [References]

- Gilliam FS. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems [J]. *Bioscience*, 2007, **57** (10): 845-858
- 范玉龙, 刘慧敏, 胡楠, 丁圣彦. 伏牛山自然保护区森林生态系统植物功能群光合特性[J]. 生态学报, 2016, **36** (15): 4609-4616 [Fan YL, Liu HM, Hu N, Ding SY. Photosynthetic characteristics of plant functional groups in forest ecosystem at the national natural reserve of FuNiu Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, **36** (15): 4609-4616]
- 王文杰, 杜红居, 肖路, 张建宇, 仲召亮, 周伟, 张波, 王洪元. 凉水自然保护区3种森林类型的植物组成和林分结构特征[J]. 林业科学, 2019, **55** (9): 166-176 [Wang WJ, Du HJ, Xiao L, Zhang JY, Zhong ZL, Zhou W, Zhang B, Wang HY. Differences in plant composition and forest structure among of 3 forest types in Liangshui national nature reserve [J]. *Sci Silv Sin*, 2019, **55** (9): 166-176]
- Hmong H, Qi F, Su YH. Shrub communities and environmental variables responsible for species distribution patterns in an alpine zone of The Qilian Mountains, Northwest China [J]. *J Mt Sci*, 2015, **12**: 166-176
- 温晶, 张秋良, 李嘉悦, 魏玉龙. 间伐强度对兴安落叶松林下植被多样性及生物量的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, **39** (5): 95-100+118 [Wen J, Zhang QL, Li JY, Wei YL. Effects of thinning intensity on diversity of undergrowth vegetation and biomass in *Larix gmelini* forest [J]. *J Centr South Univ*, 2019, **39** (5): 95-100+118]
- 殷正, 范秀华. 长白山不同演替阶段温带森林林下草本植物对乔木幼苗的影响[J]. 生态学报, 2020, **40** (7): 2194-2204 [Yin Z, Fan XH. Effects of herbs on tree seedlings in different succession stages of temperate forests in Changbai Mountain, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, **40** (7): 2194-2204]
- Barbier S, Gosselin F, Balandier P. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved—a critical review for temperate and boreal forests [J]. *For Ecol Manag*, 2008, **254** (1): 1-15
- Abella SR, Springer JD. Effects of tree cutting and fire on understory vegetation in mixed conifer forests [J]. *For Ecol Manag*, 2015, **335**: 281-299
- Berry NJ, Phillips OL, Lewis SL, Hill JK, Edwards DP, Tawatao NB, Ahmad N, Magintan D, Khen CV, Maryati M, Ong RC, Hamer KC. The high value of logged tropical forests: lessons from northern borneo [J]. *Biodivers Conserv*, 2010, **19**: 985-997
- 孙启越, 谭红岩, 迟明峰, 吴丹妮, 张晓文, 贾茜, 张龙玉, 贾忠奎. 皆伐油松人工林天然更新对土壤肥力和酶活性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2019, **41** (6): 24-34 [Sun QY, Tan HY, Chi MF, Wu DN, Zhang XW, Jia Q, Zhang LY, Jia ZK. Effects of natural regeneration on soil fertility and soil enzyme activities in *Pinus tabulaeformis* plantations after clearcutting [J]. *J Beijing For Univ*, 2019, **41** (6): 24-34]
- Palviainen M, Finér L, Mannerkoski H, Piirainen S, Starr M. Responses of ground vegetation species to clear-cutting in a boreal forest: aboveground biomass and nutrient contents during the first 7 years [J]. *Ecol Res*, 2005, **20** (6): 652-660
- Fahey TJ, Hill MO, Stevens PA, Hornung M, Rowland P. Nutrient accumulation in vegetation following conventional and whole-tree harvest of sitka spruce plantations in north wales [J]. *For Int J For Res*, 1991, **64** (3): 271-288
- Kimmins JP, Martin WL, Bradley RL. Post-clearcutting chronosequence in the bc coastal western hemlock zone: iii. Sinks for mineralised or dissolved organic N [J]. *J Sustain For*, 2001, **14** (1): 45-68
- Pykälä J. Immediate increase in plant species richness after clear cutting of boreal herb rich forests [J]. *Appl Veg Sci*, 2004, **7** (1): 29-34
- Martin PA, Newton AC, Pfeifer M, Khoo MS, Bullock JM. Impacts of tropical selective logging on carbon storage and tree species richness: a meta-analysis [J]. *For Ecol Manag*, 2015, **356**: 224-233
- Ding Y, Zang R, Lu X, Huang J. The impacts of selective logging and clear-cutting on woody plant diversity after 40 years of natural recovery in a tropical montane rain forest, South China [J]. *Sci Total Environ*, 2017, **579**: 1683-1691
- 周焘, 王传宽, 周正虎, 孙志虎. 抚育间伐对长白落叶松人工林土壤碳、氮及其组分的影响[J]. 应用生态学报, 2019, **30** (5): 1651-1658 [Zhou X, Wang CK, Zhou ZH, Sun ZH. Effects of thinning on soil carbon and nitrogen fractions in a *Larix olgensis* plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2019, **30** (5): 1651-1658]
- 殷鸣放, 周立君, 毕刚蕊, 薛娟, 殷炜达, 宁良智, 梁泽. 带状间伐对长白落叶松人工纯林诱导复层林效果评价[J]. 东北林业大学学报, 2013, **41** (5): 20-24 [Yin MF, Zhou LJ, Bi GR, Xue J, Yin WD, Ning LZ, Liang Z. Effect of different ribbon thinning on inducing artificial multi-storied forest process of *Larix olgensis* pure plantations [J]. *J Ne For Univ*, 2013, **41** (5): 20-24]
- 李春义, 马履一, 王希群, 徐昕. 抚育间伐对北京山区侧柏人工林下植物多样性的短期影响[J]. 北京林业大学学报, 2007, **29** (3): 60-66 [Li CY, Ma LY, Wang XJ, Xu X. Short-term effects of tending on the undergrowth diversity of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous areas [J]. *J Beijing For Univ*, 2007, **29** (3): 60-66]
- 彭雨欣, 李凤日, 刘福, 董利虎. 人工长白落叶松树干边材、心材和树皮密度预测模型[J]. 应用生态学报, 2020, **31** (4): 1113-1120 [Peng YX, Li FR, Liu F, Dong LH. Prediction model of sapwood density, heartwood density and bark density in the *Larix olgensis* plantation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2020, **31** (4): 1113-1120]
- 周泽宇, 杨绕华, 张玉珍, 黄选瑞, 张志东, 王冬至, 李大勇. 华北落叶

- 松人工林直径分布预测模型构建[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, **44** (2): 117-124 [Zhou ZY, Yang RH, Zhang YZ, Huang XR, Zhang ZD, Wang DZ, Li DY. Prediction model construction of diameter distribution of *Larix principis-rupprechtii* plantation [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci)*, 2020, **44** (2): 117-124]
- 22 商添雄, 韩海荣, 程小琴, 蔡锰柯, 李斌, 张雯雯. 华北落叶松人工林生长对抚育间伐的响应及其与土壤因子的关系[J]. 林业科学研究, 2019, **32** (6): 40-47 [Shang TX, Han HR, Cheng XQ, Cai MK, Li B, Zhang WW. Response of *Larix principis-rupprechtii* plantation growth to thinning and its relationship with soil factors [J]. *For Res*, 2019, **32** (6): 40-47]
- 23 赵耀, 王百田. 晋西黄土区不同林地植物多样性研究[J]. 北京林业大学学报, 2018, **40** (9): 45-54 [Zhao Y, Wang BT. Plant diversity of different forestland in the loess region of western Shanxi province, northern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2018, **40** (9): 45-54]
- 24 覃志杰, 董威, 刘泰瑞, 张芸香, 郭晋平, 武彦明. 油松天然次生林林下植物多样性对林分密度的响应研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, **39** (1): 61-67 [Tan ZJ, Dong W, Liu TR, Zhang YX, Guo JP, Wu YM. Responses of understory plant diversity to stand density in natural secondary forests of *Pinus tabulaeformis* [J]. *J Shanxi Agr Univ Natur Sci*, 2019, **39** (1): 61-67]
- 25 孙启越, 张卫强, 赵连清, 迟明峰, 罗桂生, 郑晓敏, 贾忠奎, 王青春. 皆伐前后油松人工林下植物多样性变化及与土壤水分的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, **40** (3): 119-129 [Sun QY, Zhang WQ, Zhao LQ, Chi MF, Luo GS, Zheng XM, Jia ZK, Wang QC. Variation of understory plant diversity and its relationship with soil moisture in *Pinus tabulaeformis* plantation before and after clearcutting [J]. *J Cent South Univ*, 2020, **40** (3): 119-129]
- 26 Marchi E, Picchio R, Mederski PS, Vusić D, Perugini M, Venanzi R. Impact of silvicultural treatment and forest operation on soil and regeneration in mediterranean turkey oak (*Quercus cerris* L.) coppice with standards [J]. *Ecol Eng*, 2016, **95**: 475-484
- 27 庞圣江, 张培, 贾宏炎, 杨保国, 陈健波, 郭东强. 不同造林模式对桉树人工林林下植物物种多样性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, **48** (9): 44-52 [Pang SJ, Zhang P, Jia HY, Yang BG, Chen JB, Guo DQ. Effects of different afforestation modes on diversity of undergrowth plants in *Eucalyptus* plantations [J]. *J NW A&F Univ*, 2020, **48** (9): 44-52]
- 28 金锁, 毕浩杰, 刘佳, 刘宇航, 王宇, 齐锦秋, 郝建锋. 林分密度对云顶山柏木人工林群落结构和物种多样性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2020, **42** (1): 10-17 [Jin S, Bi HJ, Liu J, Liu YH, Wang Y, Qi JQ, Hao JF. Effects of stand density on community structure and species diversity of *Cupressus funebris* plantation in Yunding Mountain, southwestern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2020, **42** (1): 10-17]
- 29 别鹏飞, 斯顺江, 周大松, 陈俊华, 赵润, 慕长龙. 带状改造对川中丘陵区柏木人工林林下植物多样性的影响[J]. 四川林业科技, 2018, **39** (6): 1-6 [Bie PF, Si SJ, Zhou DS, Chen JH, Zhao R, Mu CL. Effects of strip reform on understory plant diversity of *Cupressus funebris* plantation in hilly areas of central Sichuan [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2018, **39** (6): 1-6]
- 30 刘欣, 彭道黎, 邱新彩. 华北落叶松不同林型土壤理化性质差异[J]. 应用与环境生物学报, 2018, **24** (4): 735-743 [Liu X, Peng DL, Qiu XC. Differences in soil physicochemical properties between different forest types of *Larix principis-rupprechtii* [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2018, **24** (4): 735-743]
- 31 肖文姬, 关庆伟. 干扰对森林凋落物分解影响的研究现状及展望[J]. 生态环境学报, 2018, **27** (5): 983-990 [Xiao WY, Guan QW. Status and prospect of the studies of disturbance effects on litter decomposition in forest ecosystems [J]. *Ecol Environ Sci*, 2018, **27** (5): 983-990]
- 32 刘振华, 李贵, 陈瑞, 吴敏, 童琪, 童方平. 湖南不同混交模式林分土壤化学性质的差异[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, **25**: 14-19 [Liu ZH, Li G, Chen R, Wu M, Tong Q, Tong FP. Soil chemical properties of different mixed forests in Hunan province [J]. *J Cent South Univ*, 2018, **25**: 14-19]
- 33 张勇强, 李智超, 厚凌宇, 宋立国, 杨洪国, 孙启武. 林分密度对杉木人工林下物种多样性和土壤养分的影响[J]. 土壤学报, 2020, **57** (1): 239-250 [Zhang YQ, Li ZC, Hou LY, Song LG, Yang HG, Sun QW. Effects of stand density on understory species diversity and soil nutrients in Chinese fir plantation [J]. *Acta Pedol Sin*, 2020, **57** (1): 239-250]
- 34 宋启亮, 董希斌. 大兴安岭低质阔叶混交林不同改造模式综合评价[J]. 林业科学, 2014, **50** (9): 18-25 [Song QL, Dong XB. Comprehensive evaluation of different transformation models of low-quality broad leaved mixed forest in Daxing'an mountains [J]. *Sci Silv Sin*, 2014, **50** (9): 18-25]
- 35 管惠文, 董希斌, 张甜, 曲杭峰, 王智勇. 抚育间伐后落叶松天然次生林生境恢复效果的评价[J]. 东北林业大学学报, 2019, **24**: 6-13 [Guan HW, Dong XB, Zhang T, Qu HF, Wang ZY. Evaluation of ecological environment restoration of thinning intensity on larch natural secondary forest in Daxing'an mountains [J]. *J NE For Univ*, 2019, **24**: 6-13]
- 36 陈蕾, 董希斌. 应用森林土壤化学性质和枯落物持水性对不同改造模式效果的评价——以大兴安岭阔叶混交低质林为例[J]. 东北林业大学学报, 2019 (2): 8-11 [Chen L, Dong XB. Evaluation of forest soil chemical properties and water holding capacity of litter on different transformation modes—taking low-quality mixed broad-leaved forest in Daxing'an Mountain as an example [J]. *J NE For Univ*, 2019 (2): 8-11]
- 37 庞世龙, 黄小荣, 欧芷阳, 彭玉华, 侯远瑞. 桂南不同植被模式公益林植物多样性与土壤因子的关系[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, **35** (5): 109-113 [Pang SL, Huang XR, Ou ZY, Peng YH, Hou YR. Relationship between plant diversity and edaphic factors in non-commercial forests in southern Guangxi [J]. *J Centr South Univ*, 2015, **35** (5): 109-113]
- 38 张荣, 李婷婷, 金锁, 鱼舜尧, 王宇, 李禹江, 齐锦秋, 郝建锋. 不同海拔高度对周公山柳杉人工林植物多样性及土壤养分的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, **40** (5): 1-9 [Zhang R, Li TT, Jin S, Yu SY, Wang Y, Li YJ, Qi JQ, Hao JF. Effects of different altitude on plant diversity and soil nutrients of *Cryptomeria fortunei* plantation in Zhonggong mountain [J]. *J Centr South Univ*, 2020, **40** (5): 1-9]
- 39 谷会岩, 金靖博, 陈祥伟, 王恩姬, 周一杨, 柴亚凡. 采伐干扰对大兴安岭北坡兴安落叶松林土壤化学性质的影响[J]. 土壤通报, 2009, **40** (2): 272-275 [Gu HY, Jin JB, Chen XW, Wang EH, Zhou YY, Chai YF. Effects of logging disturbance on soil chemical properties of *Larix gmelini* forests in the northern slope on greater [J]. *Chin J Soil Sci*, 2009, **40** (2): 272-275]