

河北农业大学

---

硕士学位论文

---

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

---

姓名：徐国巧

---

申请学位级别：硕士

---

专业：森林经理学

---

指导教师：李永宁;谷建才

---

20080601

## 摘要

华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr.) 是冀北山地分布最广、蓄积量最大的主要森林生态树种。华北落叶松人工林对冀北山地涵养水源、防风固沙以及林区生态系统的形成与维护发挥着不可替代的作用。华北落叶松人工林不仅缓解了来自内蒙古高原浑善达克沙地沙尘暴对京、津地区的侵袭,同时净化了滦河上游的水质,成为京、津生态安全的绿色屏障。华北落叶松作为木兰林管局经营的主要树种,其总体质量直接关系到京、津地区的生态环境建设。本文对抚育间伐后不同保留密度下华北落叶松人工林林木的生长、林下植物多样性的变化进行了系统的研究,综合分析了抚育的效果,为确定华北落叶松人工林合理的经营密度和具体的抚育措施提供理论依据。主要结论如下:

1 抚育间伐后,华北落叶松林分质量提高。半阴坡、阴坡、高山曼甸 3 种立地类型(其它立地基本一致)的华北落叶松林分的平均胸径、冠幅、树高和单株材积随抚育间伐后保留密度的减小而增大。半阴坡、阴坡、高山曼甸不同保留密度林分抚育后平均胸径比对照林分平均胸径分别增加 15.2%~50.0%、8.2%~44.8%、7.3%~72.2%;林分抚育后平均冠幅比对照林分平均冠幅分别增加 14.6%~46.4%、8.7%~40.4%、21.2%~50.9%;林分抚育后平均树高比对照林分平均树高分别增加 9.7%~26.2%、4.1%~21.2%、2.5%~52.5%;林分抚育后单株材积比对照林分单株材积分别增加 17.7%~37.4%、11.7%~25.4%、7.3%~47.7%。

2 华北落叶松人工林在间伐后林分蓄积量暂时小于未间伐林分,但间伐后林分的生长速度大于未间伐林分,蓄积平均生长率随保留密度的减小而增大;半阴坡、阴坡保留密度分别为 500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup> 的华北落叶松人工林和对照林分蓄积的平均生长量分别为 6.3, 6.4, 8.0, 8.6, 9.2m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 5.9, 5.3, 7.4, 8.1, 8.6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 平均蓄积生长率分别为 8.6%、7.9%、7.8%、7.0%、6.1%, 8.3%、7.3%、7.2%、6.5%、6.1%;高山曼甸不同保留密度 400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup> 和对照林分蓄积的平均生长量为 6.0, 6.8, 7.1, 8.0, 8.5 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 平均蓄积生长率分别为 13.1%、13.2%、10.6%、9.6%、8.9%。

3 在抚育后不同保留密度林分的林下草本植物种类的变化规律大致呈现为随着保留密度的减少而增加。半阴坡、阴坡不同保留密度林分林下草本植物种类与对照林分林下草本植物种类相比,保留密度分别为 500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup> 的林分,林下草本植物分别增加了 13, 10, 7, 6 种; 11, 10, 6, 4 种;高山曼甸不同保留密度林分的林下草本植物种类在 500 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物达到最优,与对照相比,保留密度 400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup> 的林分,林下草本植物分别增加了 9, 11, 5, 3 种。通过对抚育间伐后不同保留密度华北落叶松人工林林下草本植物重要值的变化情况进行研究,得出:半阴坡各样地林下草本植物的正反应种和负反应种的物种数目随着保留密度的减小,呈现大致增大的趋势,在 600 株/hm<sup>2</sup> 林分内正、负反应种物种数目达到最大 20 种、12 种;阴坡各样地林下草本植物的正反应种的物种数目随保留密度的减小而增大,在 500 株/hm<sup>2</sup> 林分内正反应种物种数目达到最大 15 种;高山曼

甸各林分林下草本植物的正反应种的物种数目随保留密度的减小也呈现了大致增大的趋势。

4 抚育间伐后不同保留密度华北落叶松人工林林下草本植物物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数都呈现出随着保留密度的减小而增加的变化趋势。半阴坡、阴坡林分植物多样性指数均表现为  $500 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 600 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 700 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 800 \text{ 株}/\text{hm}^2 > \text{对照}$  ( $1100 \text{ 株}/\text{hm}^2$ )；相同保留密度下半阴坡林分植物多样性优于阴坡林分植物多样性。高山曼甸不同保留密度林分植物多样性则表现为  $500 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 400 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 600 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 700 \text{ 株}/\text{hm}^2 > \text{对照}$  ( $900 \text{ 株}/\text{hm}^2$ )。

5 通过分析研究得出，保留密度为  $500 \text{ 株}/\text{hm}^2$  林分内抚育效果表现最好。不同坡向的林分抚育间伐后抚育效果表现为高山曼甸〉半阴坡〉阴坡。

综上所述，抚育间伐对于落叶松人工林林内环境改变，林分质量以及林下植物多样性的提高是显著的，有利于林内生态系统的稳定。因此，实施合理的抚育措施，可以有效的控制林分密度，并促使华北落叶松人工林向健康、可持续发展的方向发展。

**关键词：**华北落叶松；人工林；抚育间伐；林分密度；植物多样性

# Study on Effects of Tending Thinning of *Larix principis-rupprechtii* Mayr. Plantation

Author: Xu Guoqiao

Specialty: forest management

Tutor: Professor Li Yongning

Professor Gu Jiancai

## Abstract

*Larix principis-rupprechtii* Mayr. is the main forest ecological tree species, which distributes widely and accumulates superlatively in North Hebei Mountain area. It plays an irreplaceable role in aspects of water conservation and windbreak and sand fixatio, forming and maintaining ecosystem of forests areas; it relieves sandstorm invasion from Inner Mongolia Plateau Hunshadake Sandy Land to Beijing-Tianjin area; Meanwhile, it purifies the water quality of Luanhe river upstream, so it is green Barrier of ecological security of Beijing-Tianjin area. As a main management objective tree species in Mulan Forest Bureau, its quality is directly related to ecological construction in Beijing-Tianjin area. This thesis studied on growth of trees and change of floristic diversity under different retention density after tending of *Larix principis-rupprechtii* Mayr. systematically and analyzed tending effect synthetically, which will provide theoretical basis to determine reasonable management density and specific tending measure, main results are as follows:

1 After tending of the *Larix principis-rupprechtii* Mayr. on semi-shady slope, shade slope and high mountain flatland, the DBH, height, crown of the tending group were higher than that of the control group. Compared with the control, the reserve density of semi-shady slope increased by 15.2%~50.0%, shade slope increased by 8.2%~44.8% in Ba Yingzhuang forest farm; High mountain flatland increased by 7.3%~72.2%. Compared with the control, crown of the tending group increased by 14.6%~46.4%、8.7%~40.4%、21.2%~50.9%; average stands height of the tending group increased by 9.7%~26.2%、4.1%~21.2%、2.5%~52.5%; individual volume of the tending group increased by 17.7%~37.4%、11.7%~25.4%、7.3%~47.7%.

2 *Larix principis-rupprechtii* Mayr. stand volume was lower temporarily by intermediate cutting. But the growth rate of the cutting stand was higher than before. When the reserve density decreased, the accumulation average growth rate would increase. After a period, the volume of the tending stand would be close to the stand with the reserve density increasing. The volume growth of stands semi-shady slope were 6.3, 6.4, 8.0, 8.6, 9.2 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the volume growth rate of stands semi-shady slope were 8.6%、7.9%、7.8%、7.0%、6.1%. Shade slope were 5.9, 5.3, 7.4, 8.1, 8.6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the volume growth rate was

8.3%、7.3%、7.2%、6.5%、6.1%。High mountain flatland was 6.0, 6.8, 7.1, 8.0, 8.5 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, the volume growth rate was 13.1%、13.2%、10.6%、9.6%、8.9%。

3 When the stand experienced the cutting, the higher light level made the most of mutual species's importance value reduced and showed the negative reaction. Species number of the negative reaction species increased with the reserve density's decreasing. Compared with the control, species number of stands semi-shady slope and shade slope increased by 13,10,7,6 and 11,10,6,4 the control stands . Species number of high mountain flatland increased by 9,11,5,3. By bringing up the site after the thinning under different conditions to retain density in *Larix principis-rupprechtii* Mayr. plantation forest herbs important changes in the value of the study, obtained: on semi-shady slope understory herbs, positive species and negative species with the number of species to retain the density decreases, the show generally increasing trend in 600 / hm<sup>2</sup> stand in the positive and negative reaction to the largest number of species 20, 12; shade slope various herbal and understory . The positive response of plant species with the number of reservations about the density decreases with the increase in 500 / hm<sup>2</sup> stand in the response is to maximize the number of species 15; high mountain flatland forest understory herbs are the kinds of responses with the number of species density of reservations has also reduced the general trend of increasing.

4 Tending to retain density thinning different understory herbs plantation in *Larix principis-rupprechtii* Mayr. plantation species richness index, diversity and species evenness show with reservations reduce the density of the increasing trend. Diversity index of half negative slope and shady slope were as follows: 500 strains/hm<sup>2</sup>>600 strains/hm<sup>2</sup>>700 strains/hm<sup>2</sup>>800 strains/hm<sup>2</sup>>the control of 1100 strains/hm<sup>2</sup>; Compared with all indexes of the same reserve density, shady slope was better than half negative slope. Herb diversity showed that 500 strains/hm<sup>2</sup>>400 strains/hm<sup>2</sup>>600 strains/hm<sup>2</sup>>700 strains/hm<sup>2</sup>> the control of 900 strains/hm<sup>2</sup> of high mountain flatland.

5 For increasing the growth and diversity of undergrowth, the heavy tending has the best effect; the appropriate stand density for the *Larix principis-rupprechtii* Mayr. is 500 trunks/hm<sup>2</sup>. on 37~39 semi-shady slope, shade slope and an original density of 1100 trunks/hm<sup>2</sup> , and effects of tending thinning were as follows high mountain flatland > semi-shady slope> shade slope .

In conclusion, tending has significant effects on the forest environment, stand growth and undergrowth diversity of the *Larix principis-rupprechtii* Mayr. plantation in North Hebei Mountain area. Reasonable tending methods should be applied to control the stand density, so as to make the plantation growing in a healthy and sustainable way.

**Keywords:** *Larix principis-rupprechtii* Mayr.; plantation; tending thinning; forest density; plant biodiversity

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得河北农业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：徐国永 签字日期：2008年6月6日

## 学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解河北农业大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权河北农业大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：徐国永

导师签名：李永

签字日期：2008年6月6日

签字日期：2008年6月6日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：

电话：

通讯地址：

邮编：

# 1 引言

抚育间伐作为森林经营的主要措施,是影响森林生态系统内部生物多样性的主要因素,抚育间伐不仅为林木创造良好的生长环境,提高了林木质量,同时也使森林的生物多样性发生变化,影响森林的生态功能。森林生物多样性在一定程度上是衡量森林质量变化的重要指标,丰富的生物多样性不仅是生态系统稳定的基础,而且会促进生态系统功能的优化<sup>[1,2]</sup>。对于抚育间伐在森林培育中的作用,奥地利著名森林培育学家汉斯·迈耶尔讲到:一个符合自然规律的健康而又富有生命力的森林,不仅可以生产优质木材,而且还可以发挥人们所盼望的为社会公益服务的效能,森林培育从广义上讲,栽培和抚育是它的任务,以森林抚育为内容的森林培育始终是森林培育学研究的基本指导思想<sup>[3]</sup>。因此,研究森林抚育间伐对林分生长和生物多样性的影响是科学确定森林抚育具体措施的重要依据,对整个森林生态系统的经营也具有重要意义。目前我国营林工作已从大规模植树造林转变为大规模的抚育管理,使得以抚育为内容的人工林培育经营从理论体系、研究方法、培育技术等方面都需要进行更深入的研究。

华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr.) 是冀北山地分布最广、蓄积量最大的主要森林生态树种。华北落叶松也是木兰林管局经营的主要目的树种,其总体质量直接关系到京、津地区的生态环境建设。木兰林管局建立四十多年来,经过有效管护、造、育,营造了大面积的华北落叶松人工林,这些华北落叶松人工林已郁闭成林。但林分结构不合理,单纯林多,中幼林多,近、成、过熟林少;林分密度普遍偏大,林木竞争激烈,等级分化明显,大多个体发育不好;林内卫生状况差,有枯立木、枯倒木、病虫木及成堆枯枝的存在;有些林分自然整枝十分严重;森林生态效能低,林分树种单一,结构简单,生物多样性低,导致林分不稳定。因此,加强木兰林管局的华北落叶松中幼龄林抚育工作已迫在眉睫,刻不容缓。华北落叶松人工林的抚育间伐意义非常重大,发展前景非常广阔,尤其是对于木兰围场这样的特殊地理位置;纵观国内外专家学者相关的研究,针对华北落叶松人工林的抚育效果研究还较欠缺。因此结合木兰林管局地理位置的重要性与林分的特殊性,在河北省林业局重点科研项目“冀北山区人工针叶商品林高效可持续经营技术研究”资助下,本文对抚育间伐后木兰林管局八英庄林场和山湾子林场不同保留密度下华北落叶松人工林林木的生长、林下植物多样性的变化进行系统的研究,综合分析了抚育的效果,为确定华北落叶松人工林合理的经营密度和具体的抚育措施提供理论依据。

## 2 研究综述

森林抚育间伐是从幼林郁闭起,至主伐前一个龄级止,这一段时间内,在森林中重复且定期地伐除部分林木,为留存的经济价值较高的、生长占优势的、符合经营目的要求的林木创造良好的生长环境;促使保留木更快、更好地生长,以达到森林培育的最终目的,实现最大经济效益。抚育间伐作为森林经营的主要措施,不仅为林木创造良好的生长环境,同时也使森林生态系统内部生物多样性发生变化,影响森林的生态功能,实现最大生态效益。

### 2.1 抚育间伐的形成与发展

森林抚育间伐的形成和发展,可概括为3个阶段。

第一阶段,大约起于11世纪至19世纪末期。本阶段的主要特点是,针对个别树种提出某一种具体的抚育采伐方法,但是缺乏理论性与系统性。11世纪后期,《东坡杂记》里载有,松从“七年之后,乃可去其细密者使大”,就已经有了实施松树抚育的初始期和方法(下层抚育法)的文字记载。到了公元1621年,《群芳谱》(明·王象晋撰)里所载,白杨“及长至四、五寸,便可取做屋材用。留端正者长为大用”。该书更加全面地阐述了关于杨树抚育的目的、初始期、采伐对象和方法(上层抚育法)。《农政全书》、《三农纪》、《齐民要术》、《致富全书》、《笋谱》等古农书中也均有对竹林抚育的记载<sup>[4]</sup>。在欧洲,法国被认为是关于抚育文字记载最早的国家。1560年,在林务官特利斯坦·罗师汀(Tristan de Rostaing)的指令中,首次出现关于上层抚育的文字记载。之后不久,雷敖缪尔主张对橡树林施行抚育。1755年知名学者久格迈尔·蒙索全面地叙述了橡树的抚育方法,即产生了所谓法国古典的上层抚育法。1791年,德国学者加尔捷格(Gartig G. L),在他所著《林业指南》一书中,主张松树的抚育,宜伐采小径木,而保留大径木,对于阔叶林也只采伐被压木和枯立木,即产生了所谓德国古典的下层抚育法。1884年,克拉夫特(Kraft G.)制定了适合于松林抚育的林木分级法。俄国林学家拉尔托夫(Haptob A A)院士,1765年在其著作《论森林的播种》中,谈到“为培育高质量的松树船用材,初期合理密植,以后应伐除细小低劣者”。丹麦林学家拉芬特洛甫(Reventlow, 1748-1827)为山毛榉林(*Fagus sylvatica*)的抚育提出了综合抚育法的主张。他认为应使林分中的优良木,在尽可能短的生产周期内成材,应该伐除影响优良木生长的其他立木。为此,他将树木分为:优良木、辅助木和有害木。伐除有害木,对辅助木的处理则视情况而定。他的这些观点奠定了综合抚育的基础。

第二阶段,19世纪末期至20世纪50年代,本阶段是定性阶段。定性阶段主要标志是形成系统的抚育采伐理论,提出抚育采伐方法,各种林木分级法作为采伐时选木的依据应运而生。在施行抚育采伐时,着眼点主要放在采伐木的选择上。根据树种特性、龄级和利用目的,选定某种抚育采伐的种类和方法,再按林木分级确定何种等

级林木应该伐除,由选择林木的结果计算采伐量。20世纪30年代初期,杰出的林学家陈嵘教授在其专著《造林学概要》中,记述了抚育的种类(除伐与疏伐)、方法、初始期、采伐强度、采伐木选择以及采伐季节等。20世纪30年代末期,日本林学家坂口胜美将抚育分为定性与定量,这在世界抚育采伐技术史上,具有重要的意义。稍后,在40年代初,郝景盛教授在营林经验的基础上,编著了《实用造林学》。40年代中后期,黄绍绪先生编译了美国林学家霍莱(Hawley R C)的《造林实施法》。现代抚育采伐理论和应用技术已经形成,但在当时,林业实践中的这一措施还运用较少。

第三阶段,自20世纪50年代末、60年代初开始,进入定量阶段。随着电子计算机和数理统计方法在林业上的应用,在施行抚育采伐时,把注意力放在林分的生长效应上。60年代,日本林学家们用生物生态学观点研究人工针叶林产量与林分密度之间的数量关系,编制出日本落叶松(*Larix kaempferi*)、赤松(*Pinus sylvestris*)、扁柏(*Chamaecyparis obtusa*)和柳杉(*Cryptomeria fortunei*)等人工林林分密度控制图,并已应用到生产上<sup>[5-8]</sup>。70年代后期,美国林学家们在日本密度效应理论的基础上,重新论证密度效应倒数法则和3/2次方法则,并将它们应用到辐射松和北美人工林上,如T Jhon Drew和James W Flewelling(1977)等<sup>[9-15]</sup>。70年代后期和80年代初期,我国林业工作者在学习日本理论的基础上,先后由尹泰龙等人<sup>[16-27]</sup>首次编制出人工落叶松(*Larix gmelinc*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、天然兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、大青杨(*Populus Cathayana* Rehd.)、柞树(*Quercus mongolica* Fisch.)、水曲柳(*Fraxinus spp.*)、马尾松林(*Pine massoniana* Larch)等林分密度控制图,标志着我国森林抚育采伐技术已进入数量化阶段。近几年来,由于电子计算机在林业生产上的广泛应用,使定量间伐的研究实验有了很大发展。根据各种林分密度对林木生长影响的变化规律,应用数学分析和数理统计的方法,研究林分单位面积株数、断面积、林分平均高、平均胸径、立木生长期、自然枯损率、树冠直径、冠径比、冠高比、林龄、径高比、立地条件等各变量之间的变化规律,拟定林分密度管理和综合培育的数学模型及图像,同时在定量间伐、生长预测、确定造林密度等方面的研究也日益增多<sup>[28-32]</sup>。根据林分的生长与密度之间的数量关系,在林分不同的生长阶段,按经营目的研制出合理密度,以确定砍伐木或保留木的数量。

值得注意的是,在我国的森林抚育研究和生产中,有的已经开始注意以生态林业的观点抚育森林,预示着我国森林抚育新阶段的开始。随着人们对生态环境的重视,用材林的抚育故为重要,而生态林的保护和建设也显得越来越重要,加强对生态林的抚育管理也势在必行,抚育管理更有利于生态林发挥其生态效应,阎海平(1999)提出了两个原则,一是保护森林生态系统稳定性和多样性的经营原则,另一是注重提高风景林的游憩功能和景观美学价值<sup>[33]</sup>。

## 2.2 抚育间伐的种类和方法

不同树种不同发育阶段的林分,其抚育间伐的目的要求也各不相同。根据不同的目的要求,一般把抚育间伐分为透光伐和疏伐,以及为改善林分卫生状况的卫生伐、

修枝、下木保留和砍伐的特种抚育类型<sup>[34]</sup>。

透光伐是在在幼龄林时期,主要解决林木之间、林木与其它森林植物之间的矛盾,保证目的树种或主要树种的林木不受次要树种、非目的树种和其它乔灌或草本植物的抑制,以调整林分组成为主要目标,所采取的一项抚育间伐措施。透光抚育根据森林所处的地带分为全面抚育、团状抚育和带状抚育。

幼林经过透光抚育进入壮龄林阶段,林分组成外貌已基本定型。疏伐为了解决目的树种个体之间的矛盾;调整单位面积内立木的密度,伐除生长过密和生长不良的林木,提高保留木的质量。疏伐是人工林中最主要的一种抚育间伐。按树种特性,林分结构,经营目的和生产材料等要求,疏伐一般多分为下层抚育法、上层抚育法、综合抚育法和机械抚育法<sup>[35,36]</sup>。

## 2.3 抚育间伐对林分生长的影响

从理论上讲,林分内的单株木在其生长发育过程中往往受制于一个有限的空间,而自身的发育又要求生长和营养空间的扩大,抚育间伐则有利于调节和分配林木本身的生长空间。因此,抚育间伐对林木各因子以及林木生长发育起着很重要的作用。从林分的生长过程来说,抚育间伐产生两种效应,一种是抚育间伐后因保留林木生长空间的扩大而出现的林分增长效应,另一种是抚育间伐去掉了一些林木而对林分生长的失去效应。因此,间伐对林分生产力和林分各因子的影响就取决于上述两种效应的相对大小,而这种相对又与很多因素有关。

抚育间伐对林分生长动态发育影响的研究主要集中在:

不同间伐强度对树高、胸径、断面积和蓄积等林分因子的影响<sup>[37-43]</sup>,间伐对林木径阶<sup>[44]</sup>和对林分生态系统养分动态的影响<sup>[45]</sup>,间伐对幼林生长的影响<sup>[46-48]</sup>等。由于研究者在树种、立地、林分条件、间伐体制、轮伐期、调查计算方法以及经营目的等方面存在的差异,所得结论也各不相同,特别是对林分总收获量的影响方面目前还没有一个统一的定论<sup>[49]</sup>。一是大多数研究人员认为抚育间伐能够提高林分断面积生长量和蓄积量;吴际友(1995)、方妙辉(2004)等认为抚育间伐会增加林分的收获量<sup>[51,52]</sup>。二是部分学者认为抚育间伐对林分断面积生长量和蓄积量影响不太或无影响,他们认为间伐对林分材积生长量或增或减的影响,但它们之间的差异却很小;如,Clutter(1980)等认为间伐对收获量基本无影响<sup>[53]</sup>;赞成此观点的学者也很多,他们认为不同的间伐体制对林分单位面积收获量的影响基本不大。三是少数人认为间伐后,林分蓄积量会有所减少;如Knoebol(1986)等对美国鹅掌楸(*Liriodendron Tulipifera*)的间伐强度分析时,认为间伐会减少收获,支持此观点的研究较少<sup>[50]</sup>;这方面的研究目前有三种观点。这些人认为间伐会增加单株材积生长量,但由于株数的减少,单位面积内总的林木材积生长量却减少了。河北省赛罕坝机械林场和河北省农林科学院林业研究所(1986年)对白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、山杨(*Populus davidiana*)中龄林<sup>[54]</sup>,陈冬基(1980)对杉木林<sup>[55]</sup>,贺眉寿(1987)对马尾松飞播林研究了不同抚育强度对林分树高、胸径和蓄积方面的影响<sup>[56]</sup>。Zachara

(2003)在研究择伐对欧洲赤松林分结构影响时认为小强度间伐对林分结构没有大的影响, 20%~30%的强度对改善林分的结构和树木生长效果较好<sup>[57]</sup>。但总体上, 从以往很多研究中可以得出以下几点结论:

1 无论是人工林或天然林, 抚育间伐对直径生长的影响比较显著。单株林分直径的生长随间伐强度的加大而增加, 间伐的林分比未间伐的林分相比, 经过一定时间后林分平均直径要大得多。林分直径生长的快慢还与立地条件、树种、林龄等因素有关。在一定间伐强度内, 间伐强度越大, 直径增长量越多; 蓄积生长是随间伐强度增加而明显提高; 而间伐强度大小对树高影响不大。

2 间伐后对林分养分含量变化的研究主要是从对针叶养分含量的变化、枝条养分含量的变化、根养分含量的变化和干、皮和果养分含量的变化来考虑的。间伐后, 林分的生态环境和营养空间都发生了很大的变化, 最终导致林木各器官的养分含量发生变化。

3 随着间伐强度的增大, 较大径阶立木株数比例随之增加, 但期末总收获量减少。间伐能够提高木材材性的均质性, 伐后年轮段基本密度的变异系数比伐前明显减小。

## 2.4 抚育间伐对林内植物多样性的影响

不同的抚育间伐方式对植被的影响主要体现在林下植被的物种多样性和生物量两个方面。这两个方面的变化, 将会影响到土壤营养元素和微生物组成, 进而会影响林分的生长和发育动态。因此研究抚育间伐对林下植被的影响十分必要。盛炜彤等认为应通过促进“森林自肥能力”以及采取生物学方法来维护地力, 而抚育间伐作为森林持续经营有效的途径, 在人工林养分循环和维护林地地力中起着不可忽视的作用<sup>[58,59]</sup>。杨承栋(1995)等对林龄为20a的杉木林进行不同强度抚育间伐, 4年后调查表明抚育间伐能促进杉木人工林林下植被发育, 对改善土壤物理化学和生物学特性效果显著, 由此得出抚育间伐是恢复杉木人工林地的重要途径<sup>[60]</sup>。

目前抚育间伐对林下灌木和植被的影响主要从下面不同的角度来考虑: ①抚育间伐对林下植被的密度、盖度的影响。研究表明, 抚育方式和强度对植物的种类的丰富度、密度和盖度影响很大<sup>[61]</sup>, 在一般情况下间伐强度越大, 植物的种类越丰富、密度和盖度也越大, 不同的间伐强度除了对植物种类有较明显的影响外, 对于植被结构也有较大的影响, 低强度间伐造成的植被结构无明显垂直分化, 基本是单层的; 而中强度间伐的植被结构是复层的, 有明显的垂直分化。因此提高间伐强度, 不仅可以增加林下草本和灌木的种类, 而且也可相应地提高每个物种的高度和盖度, 增加其出现的株数<sup>[62,63]</sup>。②对林下灌木和植被种类组成和结构变化的影响<sup>[64]</sup>; ③对灌木和植被生物多样性的影响<sup>[65]</sup>。在研究抚育间伐对林下植物多样性影响方面, 不同的学者得出的结论也不尽相同。大多数研究认为, 间伐后林下植物物种多样性比伐前高。毛志宏(2006)等对辽宁清源间伐后的落叶松林林内光照和草本多样性的关系进行研究, 也认为抚育间伐改善了林内光照条件, 改变了林下草本的组成, 提高了林下草本多样性<sup>[64]</sup>。Smith(1987)等的研究认为, 集约间伐的林分比未间伐林分有更高的物种丰富度, 随着间

伐强度的增加, 地被的盖度也随着增加<sup>[65]</sup>。Niese (1992) 等研究了美国威斯康星州北部阔叶林 8 种不同采伐方式的经济效益与采伐区的树木多样性, 并进行比较, 得出抚育间伐是维持树种多样性最好的方式<sup>[67]</sup>。Kammesheidt (1996) 研究委内瑞拉热带雨林择伐 5 年、8 年、19 年后的树种多样性, 得出植物种类明显增加, 随着演替发展, 同原始林的近似系数不断增长<sup>[68]</sup>。Bailey (1998) 研究美国俄勒冈州西部疏伐后 28 个立地类型的异叶铁杉 (*Tsuga heterophylla*) 幼林林下植被, 得出不同立地类型下植物种类都有变化, 但植物的丰富度和总盖度均高于未疏伐的林分<sup>[69]</sup>。熊有强 (1995) 对江西分宜 21 年生的杉木林进行抚育间伐后 10 年的调查研究, 结果表明中度和强度间伐都可促进林下植被的良好发育<sup>[61]</sup>。方海波 (1998) 等调查研究湖南省会同县抚育 5a 和 26a 生的杉木林, 得出杉木人工林间伐后, 林下空间环境因子的变化, 植被生物量大量增加为对照区的 3.25 倍<sup>[68]</sup>。任立忠 (2000) 等通过对冀北山地次生山杨中龄林不同强度抚育后, 1a、2a 和 5a 的山杨林群落物种多样性变化为弱度、中度抚育提高了群落物种多样性, 强度抚育降低了群落物种多样性<sup>[70]</sup>。另外一些研究则认为间伐对物种多样性无显著影响或可导致草本植物丰度或多样性的长期下降。雷向东 (2005) 等通过研究吉林金沟岭林场的人工落叶松纯林演化后形成的落叶松云冷杉 (*Picea asperata*) 混交林, 间伐 12 年后观测得出 20% 和 30% 左右的间伐强度没有显著地改变林分下层的物种多样性<sup>[71]</sup>。Reader (1992) 等和 Gilliam (1995) 等在研究间伐强度对物种多样性影响时, 认为间伐后的成熟林和皆伐后的幼林草本层的物种多样性无显著变化<sup>[72]</sup>。李春义 (2007) 等通过对北京山区侧柏 (*Platyclculus orientalis*) 人工林在抚育间伐之后林下植物多样性的研究认为从短期影响效果看, 中、强度抚育有利于植物多样性的提高<sup>[76,77]</sup>。还有的学者认为, 任何包含采伐的森林经营都会对生物多样性产生负面的影响<sup>[74]</sup>。

不同立地条件下的林分采取的抚育间伐措施对林下植物多样性影响是不同的, 在林业生产中需要科学地确定抚育措施。研究落叶松林分抚育间伐的作业方式以及间伐后落叶松林分生长规律, 已成为林业上急需解决的问题。本文对冀北山地华北落叶松人工林抚育间伐后各保留密度林分生长影响机理进行初步研究。

### 3 研究地区概况

#### 3.1 自然概况

##### 3.1.1 地理位置

木兰林管局位于滦河上游地区，地处河北省围场满族蒙古族自治县境内，属于内蒙古高原和冀北山地的过渡带，地理坐标为  $116^{\circ}32' \sim 118^{\circ}14'E$ ， $41^{\circ}35' \sim 42^{\circ}40'N$ ，海拔在 820~1 850m 之间，东西长 128km，南北宽 96km，总经营面积 102 666.7hm<sup>2</sup>。是阴山山脉、大兴安岭余脉向西南延伸和燕山余脉的结合部；阴坡长且缓，阳坡短而陡；地势西北高，东南低；北接塞罕国家森林公园和御道口牧场，南与隆化县毗邻。

##### 3.1.2 气候

木兰林管局气候类型属半干旱向半湿润过渡，寒温带向中温带过渡，大陆性季风型山地气候。气候特点为四季分明，春季干旱多风，夏季炎热少雨，秋季晴朗少风，冬季干燥寒冷、多西北风。木兰林管局林区无霜期 67~125 d，年平均气温  $-1.4 \sim 4.7^{\circ}C$ ，极端最低气温  $-42.9^{\circ}C$ ，极端最高气温  $38.9^{\circ}C$ 。大于  $0^{\circ}C$  年积温  $2 182 \sim 3 007^{\circ}C$ ，大于  $10^{\circ}C$  年积温  $1 608 \sim 2513^{\circ}C$ ；年降水量 380~560 mm，主要集中在 7、8、9 三个月；年蒸发量 1 350~1 500 mm。

##### 3.1.3 水文

林管局所辖林区位于滦河上游地区，是滦河的主要集水区。滦河的主要支流小滦河、蚂蚁吐河、伊逊河都源于或流经林管局所辖林区。小滦河境内长度 97 km，流域面积 1 823.3 km<sup>2</sup>，天然落差 730 m；伊玛图河境内长度 622 km，又分为三条支流，分别是燕格柏川、城子川和孟奎川，流域面积 1 498 km<sup>2</sup>，天然落差 467 m；伊逊河境内长度 85.5 km，流域面积 2 485 km<sup>2</sup>，天然落差 730 m。

由于各支流均属滦河水系源头，因而无入境客水。地表水资源主要来自大气降水，均系自产水。滦河水系多年平均自产径流量  $3.935 \times 10^8 m^3$ ，折合地表径流深为 63.58 mm。三条支流中伊逊河、伊玛图河出境汇入隆化县城下游附近，小滦河出区境汇合于隆化县郭家屯下游附近。两河流又共同汇入滦河入潘家口水库，由此可以看出，一是滦河水系流域面积 6 451.07 km<sup>2</sup>，占围场县总面积的 69.6%；流域面积比例大；二是各支流落差大，流速快。在涵养的基础上源源不断流入潘家口水库，进而进入天津。同时，由于滦河上游森林覆盖率较高，涵养水源的能力较强，因而，该区是天津人民生活、生活用水的重要水源涵养区和补水区。

##### 3.1.4 土壤

林管局林区内土壤(见表1)包括棕壤、褐土、风砂土、草甸土、沼泽土、灰色森林土、黑土等7个土类,共15个亚类,66个土属,143个土种。母质为残坡积母质、坡积母质、黄土母质、冲洪积母质、洪积母质、冲击母质和风积母质。木兰林管局是浑善达克沙地的近邻,辖区内有三条明显的沙带(小滦河流域、蚂蚁吐河流域、伊逊河流域),沙化面积13 333 hm<sup>2</sup>,潜在沙化面积2.0×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>。

表1 土壤状况

Tab.1 Soil Status

土壤名称	海拔高度 (m)	枯落物厚度 (cm)	腐殖质层 (cm)	土厚 (cm)	PH 值	占总面积 (%)
棕壤	900	0~5	0~10	10~35	6.0~6.5	59.89
褐土	800~900	3~10	5~15	19~58	7.2~7.5	11.70
风砂土	900~1900	10~50	15~50	48~150	7.3~7.4	3.80
草甸土	1900	3~10	10~25	20~40	6.4~6.9	0.99
沼泽土	1000	3~10	5~25	53~80	7.2~7.4	0.41
灰色森林土	2000	3~15	10~15	27~50	6.5~6.7	3.20
黑土	1700	3~10	5~20	39~115	6.4~6.7	0.40

注 a: 资料来源: 木兰林管局森林资源调查规划院

### 3.2 土地资源概况

据河北省森林资源监测结果显示,全局总经营面积102 666.7 hm<sup>2</sup>,林业用地93 224.9 hm<sup>2</sup>,占总经营面积的90.0%。其中:有林地面积73 394.4 hm<sup>2</sup>,疏林地面积2 315.5 hm<sup>2</sup>、灌木林面积3 116.1 hm<sup>2</sup>、未成林造林地面积2 434.9 hm<sup>2</sup>,苗圃地面积63.9 hm<sup>2</sup>、宜林地面积11 900.1 hm<sup>2</sup>,森林覆盖率75%。

### 3.3 植物资源概况

全局林分面积73 394.4 hm<sup>2</sup>,其中:人工林36 634.0 hm<sup>2</sup>,天然林30 788.7 hm<sup>2</sup>,混交林面积5 971.7 hm<sup>2</sup>,分别占林分面积的49.9%、41.9%和8.2%,中幼林占有较大比例,面积为50 863.8 hm<sup>2</sup>,占69.3%,森林覆盖率为75.6%。

森林蓄积构成:全局森林活立木总蓄积402.1 万 m<sup>3</sup>,其中林分蓄积397.8 万 m<sup>3</sup>,疏林地蓄积为3.3 万 m<sup>3</sup>。在森林蓄积中,天然林蓄积179.4 万 m<sup>3</sup>,人工林蓄积为193.6 万 m<sup>3</sup>,混交林蓄积为247 116 万 m<sup>3</sup>,分别占林分蓄积的45.1%、48.7%和6.2%。

研究区内的树种相对比较丰富,通过归类分析树种的分布情况(见表2、表3),可以看出研究区内落叶松的分布面积和蓄积量较大,均超过60%。

研究区内华北落叶松人工林各龄组林分中,幼龄林、中龄林无论在面积还是蓄积上,都占有较大的比例(见表4),而近、成、过熟林三个龄组比例偏小。其中八

英庄林场内华北落叶松人工林各龄组林分面积中,幼龄林占 25.1%;中龄林占 57.9%;近熟林占 15.9%;成熟林占 1.1%。山湾子林场各龄组林分面积中,幼龄林占 40.3%;中龄林占 55.6%;近熟林占 4.1%。木兰林管局山湾子林场内华北落叶松人工林各龄组林分蓄积中,幼龄林蓄积占 11.0%;中龄林蓄积占 64.9%;近熟林蓄积占 22.5%;成熟林蓄积占 1.6%。山湾子林场各龄组林分蓄积中,幼龄林蓄积占 26.2%;中龄林蓄积占 69.1%;近熟林蓄积占 4.7%。

因此,加强木兰管局的华北落叶松人工林的抚育工作已迫在眉睫,刻不容缓。

表 2 八英庄林场森林优势树种面积和蓄积统计表

Tab.2 Statistics of forest dominant tree species area and volume in Ba Yingzhuang Forest Farm

树种 Tree species	面积 Area		蓄积 Volume	
	(hm <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)
落叶松	3604.52	61.55	223812.00	69.71
桦落	415.37	7.09	10745.00	3.35
桦树	398.55	6.81	16789.00	5.23
阔叶杂	22.40	0.38	801.00	0.25
落桦	247.78	4.23	1731.00	0.54
山杨	184.50	3.15	11104.00	3.46
油松	847.91	14.48	53057.00	16.52
樟子松	10.60	0.18	0.00	0.00
柞树	124.61	2.13	3033.00	0.94
小计	5856.24	100.00	321072.00	100.00

表 3 山湾子林场森林优势树种面积和蓄积统计表

Tab.3 Statistics of forest dominant tree species area and volume in Shan Wanzi Forest Farm

树种 tree species	面积 Area		蓄积 Volume	
	(hm <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)
落叶松	2180.80	58.09	139587.00	63.85
桦树	844.36	22.49	48593.00	22.23
阔叶杂	306.90	8.17	11133.00	5.09
落桦	11.30	0.30	338.00	0.15
山杨	242.11	6.45	10820.00	4.95
油松	56.34	1.50	3465.00	1.58
樟子松	73.40	1.95	2176.00	1.00
柞树	39.30	1.05	2515.00	1.15
小计	3754.50	100.00	218627.00	100.00

表 4 各龄组林分面积、蓄积比例

Tab.4 Proportion of area and volume for every ages phase of stands

龄组 Ages phase of stands	八英庄林场 Ba Yingzhuang Forest Farm				山湾子林场 Shan Wanzi Forest Farm			
	面积		蓄积		面积		蓄积	
	Area		Volume		Area		Volume	
	(hm <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)	(hm <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>3</sup> )	(%)
幼龄林	904.78	25.10	24689.00	11.03	879.90	40.34	36528.00	26.17
中龄林	2085.82	57.87	145187.00	64.87	1211.73	55.57	96512.00	69.14
近熟林	572.92	15.89	50408.00	22.52	89.17	4.09	6547.00	4.69
成熟林	41.00	1.14	3528.00	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00
过熟林	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

### 3.4 经济概况

木兰林管局下辖 10 个林场和 1 个良种苗木繁育场，有苗圃 6 处，总经营面积 28 hm<sup>2</sup>，苗木基地 166 hm<sup>2</sup>，年产各类苗木 2000 余万株；全局有职工 1 300 余人。林管局 2002 年森林产品销售收入 1 997 万元，净利润 30 万元，上缴各种税费 314 万元。

## 4 研究内容与方法

### 4.1 研究内容

在查阅和搜集大量相关资料的基础上,结合生产实际情况确定了本论文的研究内容,主要有以下两个方面:

1 运用 DPS 统计软件对调查的原始数据进行数据处理,分析抚育间伐对不同保留密度林木各生长指标的差异,其中林木生长包括冠幅、胸径、树高、单株材积和林分蓄积量五个指标。

2 通过对数据的统计分析,对抚育间伐后不同保留密度林分林下植物物种数目的变化和植物多样性的影响进行研究,其中多样性指标有重要值、物种丰富度(物种数目、Monk 指数)、物种多样性(Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、种间相遇几率)和物种均匀度(Pielou 均匀度指数)。

### 4.2 研究方法

#### 4.2.1 样地设置

通过实地踏查,2006 年在八英庄林场选取其它立地基本一致,坡向不同(阴坡和半阴坡),初始密度为 1 100 株/hm<sup>2</sup> 的 37~39 年生华北落叶松人工林林分,按不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)进行抚育间伐,并修枝、割灌。其中阴坡、半阴坡每个密度级分别设置三个重复和一个对照,共设置 32 块样地,样地大小为 20m×20m(见表 5)。

2006 年在山湾子林场高山曼甸初始密度为 900 株/hm<sup>2</sup> 的 28~30 年生华北落叶松人工林林内,按不同保留密度(400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup>)进行抚育间伐,并修枝、割灌。其中设置每个密度级及对照设置两个重复,共设置 10 块样地,样地大小为 20m×20m(见表 5)。

表 5 样地基本概况表  
Tab.5 General situation of stands

样地号	抚育后密度 (株/hm <sup>2</sup> )	抚育强度 (%)	郁闭度	坡向	坡度	海拔(m)	林龄	
八英庄 林场 半阴坡	1、2、3	490~500	54.5	0.3	半阴	20	1320~1350	38
	ck-1	1100	0.0	0.85	半阴	20	1320~1350	39
	4、5、6	590~600	45.5	0.4	半阴	21	1340~1370	39
	ck-2	1100	0.0	0.3	半阴	21	1340~1370	37
	7、8、9	685~700	36.4	0.5	半阴	18	1325~1360	39
	ck-3	1100	0.0	0.85	半阴	18	1325~1360	38
	10、11、12	795~805	27.3	0.65	半阴	22	1315~1345	38
	ck-4	1100	0.0	0.85	半阴	22	1315~1345	39
	13、14、15	500~515	54.5	0.3	阴	20	1320~1350	38
	ck-5	1100	0.0	0.85	阴	20	1320~1350	37
八英庄 林场 阴坡	16、17、18	595~605	45.5	0.4	阴	21	1340~1370	39
	ck-6	1100	0.0	0.3	阴	21	1340~1370	38
	19、20、21	700~708	36.4	0.5	阴	18	1325~1360	37
	ck-7	1100	0.0	0.85	阴	18	1325~1360	37
	22、23、24	800~815	27.3	0.65	阴	22	1315~1345	39
	ck-8	1100	0.0	0.85	阴	22	1315~1345	39
	41、42	405	55.6	0.3	无	4	1680	28
	ck-11、ck-12	900	0.0	0.85	无	5	1682	28~29
山湾子 林场 高山 曼甸	43、44	498	44.4	0.4	无	7	1675	28
	45、46	602	33.3	0.5	无	6	1672	29
	47、48	715	22.2	0.65	无	7	1681	30
	ck-11、ck-12	900	0.0	0.85	无	5	1682	28~29

注 b: 样地代号—样地 spots, ck: 对照, 林龄—Stand age, 海拔—Altitude, 坡向—Exposure, 坡度—Slope, 密度(株/hm<sup>2</sup>)—Density, 郁闭度—Canopy density.

## 4.2.2 测定内容及方法

### 4.2.2.1 林木生长测定及计算

本研究选取了林木胸径、树高、冠幅、单株材积和林分蓄积作为抚育间伐对华北落叶松人工林林木生长的影响评价指标。通过对样地内的华北落叶松人工林进行每木检尺, 记录胸径 1.0 cm 以上所有林木的种名、胸径、株高、枝下高、冠幅等, 统计出各样地抚育间伐前后林分的胸径、树高、冠幅、单株材积和林分蓄积量。采用 DPS 统计软件进行方差分析和数据统计, 并使用 LSD 多重比较法确定抚育前后各保留密度下林分样地与其对对照样地的各指标的差异<sup>[76,77]</sup>。

为了说明抚育间伐对林分蓄积生长的影响, 利用普雷斯勒蓄积生长率公式计算各保留密度林分蓄积平均生长率, 基本式为:

$$P_V = \frac{V_a - V_{a-n}}{V_a + V_{a-n}} \cdot \frac{200}{n} \quad (1)$$

式中,  $P_V$  为林分在抚育间伐第  $n$  年间的平均生长率,  $V_a$  为伐后当年林分平均单位面积蓄积量,  $V_{a-n}$  为第  $n$  年林分平均单位面积蓄积量。

#### 4.2.2.2 林下植物多样性测定及计算

在每个乔木样方的四角分别选取 1 个  $1\text{m} \times 1\text{m}$  小样方用于草本层调查, 分别记录种名、株数、平均高度和平均盖度<sup>[78]</sup>。

本研究选取以下几个多样性指标<sup>[79-87]</sup>对木兰林管局八英庄林场和山湾子林场华北落叶松人工林林下植物物种多样性进行分析研究。

##### 1 草本植物重要值

计算林下草本植物各个物种的密度、频度、盖度等数量指标, 采用传统的森林生态学统计方法进行重要值的计算, 主要有以下公式:

$$\text{密度} = \text{每个物种个体数} / \text{面积} \quad (2)$$

$$\text{相对密度} = \text{一个种的个体数} / \text{所有种的个体数} \quad (3)$$

$$\text{频度} = \text{某种植物出现的样方数} / \text{全部样方数} \quad (4)$$

$$\text{相对频度} = \text{某种的频度} / \text{所有种的频度} \quad (5)$$

$$\text{盖度} = \text{各个种垂直投影面积} / \text{样地总面积} \quad (6)$$

$$\text{相对盖度} = \text{某种的盖度} / \text{所有种的盖度} \quad (7)$$

$$\text{草本植物重要值 (RI)} = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频率}) / 3 \quad (8)$$

##### 2 物种丰富度指数

物种丰富度即群落的物种数目, 是最简单、最古老的多样性测度方法。目前, 这种方法仍被多数生态学家使用。另外, 该丰富度还可以用物种数目与样方大小或个体总数之间的关系来测度。根据需要, 选用物种数目和 Monk 指数来测度物种丰富度。

Monk 指数:

$$d = S / N \quad (9)$$

上式中:  $S$  为物种数目,  $N$  为所有物种个体数之和,

##### 3 物种多样性指数

在多样性的测度中最为常用的是 Simpson 指数 ( $D$ ) 和 Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ ) 和种间相遇机率 ( $PIE$ )<sup>[88-90]</sup>。

(1) Simpson 指数:

$$D = \frac{N(N-1)}{\sum_{i=1}^S n_i(n_i-1)} \quad (10)$$

(2) Shannon-Wiener 指数: 
$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (11)$$

(3) 种间相遇机率 *PIE* 指数:

$$PIE = \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N}\right) \left(\frac{N-n_i}{N-1}\right) \quad (12)$$

在上式中,  $n_i$  为第  $i$  个种的个体数,  $P_i$  第  $i$  个物种的个体数占有所有物种个体数的比例, 即  $P_i = n_i/N$ , 其余同上。

#### 4 物种均匀度指数

在物种均匀度的测度中将采用以下 2 种物种均匀度指数<sup>[9]</sup>。

(1) 以 Simpson 多样性指数为基础的 Pielou 群落均匀度指数。

$$J_{Si} = (1 - \sum_{i=1}^S P_i^2) / (1 - 1/S) \quad (13)$$

(2) 以 Shannon-Wiener 指数为基础的 Pielou 群落均匀度指数。

$$J_{sw} = (-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i) / \ln S \quad (14)$$

式中,  $S$ —物种数目;

$n_i$ —第  $i$  个种的个体数;

$N$ —一个样方内所有物种个体总数之和;

$P_i$ —第  $i$  个物种的个体数占有所有物种个体数的比例, 即  $P_i = n_i/N$ 。

### 4.3 技术路线

本研究的技术路线如图 1 所示。

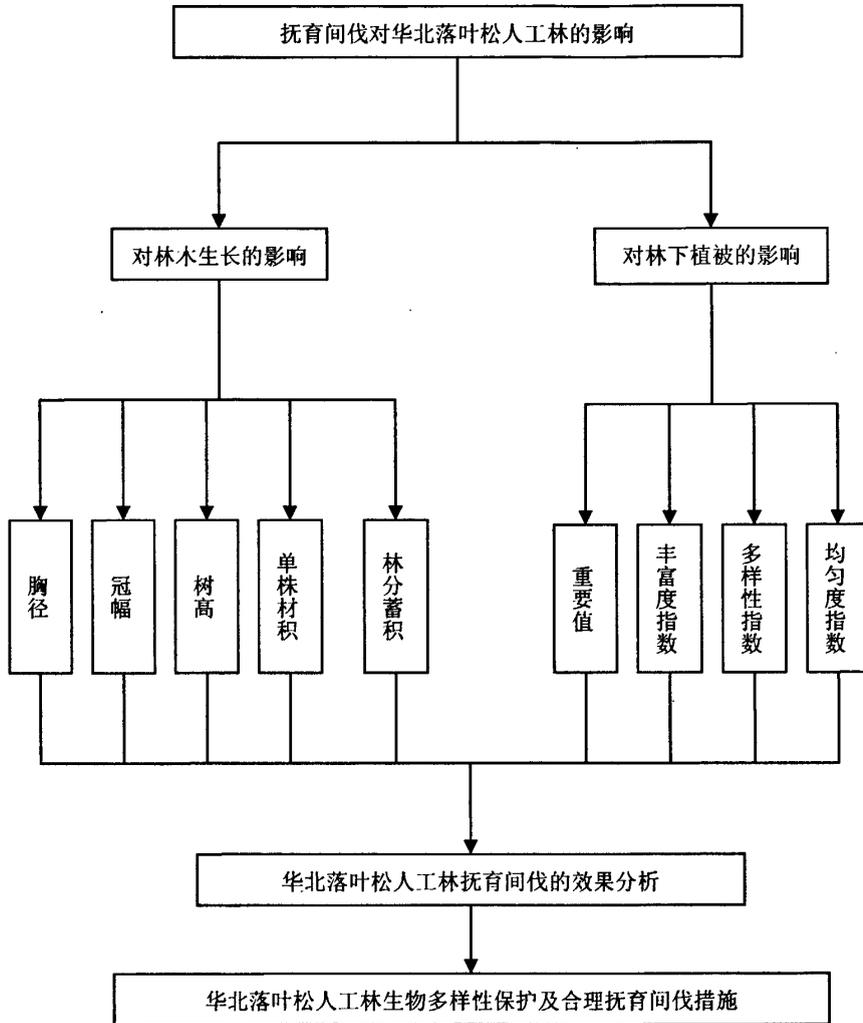


图1 研究技术路线图

Fig.1 Scheme on technological route

## 5 结果与分析

### 5.1 抚育间伐对华北落叶松人工林林木生长的影响

森林抚育间伐效果首先表现在林分密度上的变化，而密度的变化将直接影响林分胸径、单株材积，林分蓄积量等指标<sup>[92-94]</sup>。本研究选取了林木冠幅、胸径、树高、单株材积和林分蓄积作为抚育间伐对林木生长影响的评价指标。

#### 5.1.1 抚育间伐对胸径生长的影响

##### 5.1.1.1 八英庄林场抚育间伐后胸径的变化分析

抚育间伐对林分的影响，首先反应在林分密度上，而林分密度的效应直接作用于胸径。

通过对八英庄林场华北落叶松人工林抚育间伐前后不同保留密度胸径统计分析，结果表明（见表 6），抚育间伐后不同保留密度林分胸径生长对抚育间伐实施都有明显的反应，平均胸径的生长量随林分保留密度减小而增大。对八英庄林场抚育间伐后华北落叶松人工林不同保留密度林分胸径的生长量进行方差分析可以看出，与对照林分相比，八英庄林场抚育间伐后不同坡向不同保留密度的华北落叶松人工林的胸径生长量之间存在极显著差异  $P < 0.01$ （表 7、8）。其中半阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分的平均胸径生长量与对照林分相比分别增加了 50.0%，42.2%，28.4%，15.2%；阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后分别增加了 44.8%，30.2%，19.9%，8.2%。

可见，适当实施抚育间伐有利于促进胸径的生长，林分保留密度小的胸径增长率大于保留密度大的，并且半阴坡林分的增长率高于阴坡。胸径增长的原因：抚育间伐后，林分密度降低，林分郁闭度减小，为保留木创造了更好的营养空间、光辐射和空气温度等有利于林木生长的环境条件；在阴坡水分含量比较大，但是热量不够，温度限制了林木生长的发展，半阴坡水热条件搭配适度，林木生长发育的条件优越，所以相同保留密度的林分半阴坡生长量增长较大，尤其是东向的半阴坡，太阳辐射、气温、土温、土壤水分条件均处于适度的状态，综合环境条件最优越，林木生长也最高。试验结果与国内外各树种的抚育试验结果对胸径的影响一致<sup>[95]</sup>。

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 6 抚育对八英庄林场华北落叶松人工林平均胸径生长的影响  
 Tab.6 Effect on the tending to average diameter growth of the *larix principis-rupprechtii*  
 Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

样地号 Spots	伐前 (cm) Before cutting	伐后 (cm) After cutting	生长量 (cm) Growth	比对照的增长率
1	16.930	17.340	0.410	46.4
2	16.750	17.170	0.420	50.0
3	17.230	17.660	0.430	53.6
ck-1	17.410	17.690	0.280	0.0
4	16.040	16.400	0.360	31.9
5	16.660	17.060	0.400	46.5
6	16.880	17.290	0.410	48.4
ck-2	16.450	16.720	0.270	0.0
7	15.930	16.280	0.340	27.8
8	16.620	16.980	0.360	31.5
9	16.090	16.430	0.340	25.9
ck-3	16.840	17.110	0.270	0.0
10	17.280	17.610	0.320	16.1
11	17.380	17.700	0.320	15.4
12	16.360	16.680	0.320	14.3
ck-4	17.200	17.480	0.280	0.0
13	16.740	17.150	0.410	46.4
14	16.710	17.126	0.416	48.6
15	16.920	17.310	0.390	39.3
ck-5	16.410	16.690	0.280	0.0
16	15.640	15.995	0.355	31.5
17	16.630	16.970	0.340	25.9
18	16.150	16.510	0.360	33.3
ck-6	16.840	17.110	0.270	0.0
19	15.920	16.230	0.310	19.2
20	16.450	16.755	0.305	17.3
21	16.090	16.410	0.320	23.1
ck-4	16.640	16.900	0.260	0.0
22	16.250	16.535	0.285	9.6
23	16.380	16.660	0.280	7.7
24	16.360	16.639	0.279	7.3
ck-8	16.800	17.060	0.260	0.0

表 7 半阴坡落叶松人工林胸径生长量的方差分析

Tab.7 Variance analysis of diameter growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation on semi-shady slopes

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.01}(4,10)$
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0479	4	0.0120	382.7170**	5.99
处理内	0.0003	10	0.0000		
总变异	0.0482	14			

表 8 抚育后阴坡落叶松人工林胸径生长量的方差分析

Tab.8 Variance analysis of diameter growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation on shade slopes

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.01}(4,10)$
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0357	4	0.0089	189.3850**	5.99
处理内	0.0005	10	0.0000		
总变异	0.0361	14			

## 5.1.1.2 山湾子林场抚育间伐后胸径的变化分析

通过对山湾子林场华北落叶松人工林不同保留密度胸径生长量统计分析结果表明（见表 9），不同保留密度林分胸径生长对抚育间伐实施的反应也很明显，平均胸径随林分密度减小而增大。对抚育间伐后华北落叶松人工林的胸径生长量进行方差分析结果表明，与对照林分相比，山湾子林场抚育间伐后不同保留密度的华北落叶松人工林的胸径生长量存在极显著差异  $P < 0.01$ （表 10）。与对照林分相比，不同保留密度（400，500，600，700 株/hm<sup>2</sup>）林分分别增加了 72.2%，54.4%，25.6%，14.4%。

表 9 抚育对山湾子林场华北落叶松人工林平均胸径生长的影响

Tab.9 Effect on the tending to average diameter growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation in Shan Wanzi forest farm

样地号	伐前 (cm)	伐后 (cm)	生长量 (cm)	比对照增长率 (%)
Spots	Before cutting	After cutting	Growth	
41	16.020	16.800	0.780	73.3
42	16.500	17.270	0.770	71.1
43	15.390	16.090	0.700	55.6
44	16.660	17.350	0.690	53.3
45	15.950	16.510	0.560	24.4
46	16.020	16.590	0.570	26.7
47	16.250	16.770	0.520	15.6
48	17.000	17.510	0.510	13.3
ck-11	15.640	16.090	0.450	0.0
ck-12	16.210	16.660	0.450	0.0

表 10 落叶松人工林胸径生长量的方差分析

Tab.10 Variance analysis of diameter growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation

变异来源 Aberrance source	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,5)
处理间	0.1412	4	0.0353	882.5020**	11.4
处理内	0.0002	5	0.0000		
总变异	0.1414	9			

### 5.1.2 抚育间伐对冠幅的影响

#### 5.1.2.1 八英庄林场抚育间伐后冠幅的变化分析

通过对八英庄林场抚育间伐后不同保留密度华北落叶松林木冠幅的生长进行统计分析（见表 11）可以看出，与对照相比抚育间伐后冠幅增长率都有所增大。对八英庄林场抚育间伐后华北落叶松人工林的冠幅生长量进行方差分析结果表明，抚育间伐后不同坡向不同保留密度的林分间冠幅生长量存在极显著差异  $P < 0.01$ （表 12、表 13）。半阴坡不同保留密度（500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后冠幅比对照林分分别增加了 46.4%，33.3%，22.0%，14.6%，阴坡不同保留密度（500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后冠幅比对照林分分别增加了 40.4%，29.2%，17.3%，8.7%。

表 11 抚育对八英庄林场华北落叶松人工林平均冠幅影响

Tab.11 Effect on the tending to average stands crown diameter of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

样地号 Spots	伐前 (m) Before cutting	伐后 (m) After cutting	生长量 (m) Growth	比对照增长率 (%) Growth rate
1	3.250	3.660	0.410	146.4
2	3.050	3.450	0.400	142.9
3	2.950	3.370	0.420	150.0
ck-1	2.780	3.060	0.280	100.0
4	2.620	2.990	0.370	132.1
5	2.840	3.220	0.380	135.7
6	3.120	3.490	0.370	132.1
ck-2	2.790	3.070	0.280	100.0
7	2.900	3.245	0.345	123.2
8	2.550	2.890	0.340	121.4
9	2.450	2.790	0.340	121.4
ck-3	2.780	3.060	0.280	100.0
10	3.430	3.755	0.325	116.1
11	3.240	3.558	0.318	113.6
12	2.840	3.160	0.320	114.3
ck-4	3.180	3.460	0.280	100.0
13	2.750	3.130	0.380	140.7
14	2.860	3.235	0.375	138.9
15	2.640	3.022	0.382	141.5
ck-5	2.590	2.860	0.270	100.0
16	2.900	3.240	0.340	128.3
17	2.550	2.895	0.345	130.2
18	2.450	2.792	0.342	129.1
ck-6	2.790	3.055	0.265	100.0
19	2.605	2.910	0.305	117.3
20	2.830	3.140	0.310	119.2
21	3.120	3.420	0.300	115.4
ck-4	2.790	3.050	0.260	100.0
22	3.420	3.720	0.300	107.1
23	3.240	3.545	0.305	108.9
24	2.850	3.158	0.308	110.0
ck-8	3.180	3.460	0.280	100.0

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 12 半阴坡落叶松人工林冠幅生长量的方差分析

Tab.12 Variance analysis of stands crown diameter growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation on semi-shady slopes					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,10)
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0295	4	0.0074	238.5700**	5.99
处理内	0.0003	10	0.0000		
总变异	0.0298	14			

表 13 阴坡落叶松人工林冠幅生长量的方差分析

Tab.13 Variance analysis of stands crown diameter growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation on shade slopes					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,10)
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0209	4	0.0052	162.2180**	5.99
处理内	0.0003	10	0.0000		
总变异	0.0212	14			

5.1.2.2 山湾子林场抚育间伐后冠幅的变化分析

通过对抚育间伐后山湾子林场华北落叶松人工林林木冠幅生长进行统计分析(见表 14)可以看出,冠幅生长的增长率随保留密度的减小而增大。对山湾子林场抚育间伐后华北落叶松样地的冠幅生长量进行方差分析结果表明,抚育间伐后不同保留密度林木的冠幅生长量存在极显著差异  $P < 0.01$  (表 15)。与对照林分相比,不同保留密度(400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup>)林分抚育后平均冠幅分别增加了 50.9%, 41.9%, 35%, 21.2%。

表 14 抚育对山湾子林场华北落叶松人工林平均冠幅影响

Tab.14 Effect on the tending to average stands crown diameter of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation in Shan Wanzi forest farm				
样地号	伐前 (m)	伐后 (m)	生长量 (m)	比对照增长率 (%)
Spots	Before cutting	After cutting	Growth	Growth rate
41	3.250	3.854	0.604	151.0
42	3.450	4.053	0.603	150.8
43	4.120	4.690	0.570	142.5
44	3.610	4.175	0.565	141.3
45	3.810	4.340	0.530	132.5
46	3.210	3.760	0.550	137.5
47	4.100	4.590	0.490	122.5
48	3.620	4.100	0.480	120.0
ck-11	3.100	3.500	0.400	100.0
ck-12	3.680	4.080	0.400	100.0

表 15 落叶松人工林冠幅生长量的方差分析

Tab.15 Variance analysis of stands crown diameter growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01(4,5)</sub>
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0505	4	0.0126	240.0210**	11.4
处理内	0.0003	5	0.0001		
总变异	0.0508	9			

### 5.1.3 抚育间伐对树高生长的影响

#### 5.1.3.1 八英庄林场抚育间伐后树高的变化分析

通过对八英庄林场抚育间伐后不同保留密度华北落叶松林分树高的生长进行统计分析（见表 16）可以看出，抚育间伐后样地的平均树高生长量与对照林分相比，抚育后各样地的树高增长量有所增加。对八英庄林场抚育间伐后华北落叶松样地的树高生长量进行方差分析结果表明，与对照林分相比抚育间伐后不同坡向不同保留密度林分的树高生长量存在显著差异（表 17、表 18）， $P < 0.01$ 。其中半阴坡林分树高与对照林分相比增长幅度高出 9.7%~26.2%；阴坡林分的树高增长幅度为 4.1%~21.2%。

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 16 抚育对八英庄林场华北落叶松人工林平均树高影响  
Tab.16 Effect on the tending to average stands height of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation in Ba Yingzhuang forest farm				
样地号	伐前 (m)	伐后 (m)	生长量 (m)	比对照增长率 (%)
Spots	Before cutting	After cutting	Growth	Growth rate
1	12.870	13.350	0.480	120.0
2	12.570	13.060	0.490	122.5
3	13.170	13.650	0.480	120.0
ck-1	12.920	13.320	0.400	100.0
4	11.510	11.860	0.350	112.9
5	12.500	12.860	0.360	116.1
6	13.020	13.360	0.340	109.7
ck-2	11.890	12.200	0.310	100.0
7	11.060	11.590	0.530	126.2
8	12.840	13.330	0.490	116.7
9	11.560	12.040	0.480	114.3
ck-3	12.120	12.540	0.420	100.0
10	13.080	13.540	0.460	117.9
11	13.540	13.970	0.430	110.3
12	14.050	14.500	0.450	115.4
ck-4	14.120	14.510	0.390	100.0
13	12.520	12.950	0.430	113.2
14	12.570	13.020	0.450	118.4
15	12.950	13.400	0.450	118.4
ck-5	11.920	12.300	0.380	100.0
16	11.140	11.510	0.370	112.1
17	12.550	12.950	0.400	121.2
18	11.550	11.940	0.390	118.2
ck-6	12.620	12.950	0.330	100.0
19	11.020	11.405	0.385	108.5
20	12.820	13.230	0.410	115.5
21	11.540	11.940	0.400	112.7
ck-4	12.120	12.475	0.355	100.0
22	13.020	13.412	0.392	107.4
23	12.540	12.940	0.400	109.6
24	14.050	14.430	0.380	104.1
ck-8	13.890	14.255	0.365	100.0

表 17 半阴坡落叶松人工林树高生长量的方差分析

Tab.17 Variance analysis of stands height diameter growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation on semi-shady slopes					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.01}(4,10)$
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0553	4	0.0138	19.7480**	5.99
处理内	0.0070	10	0.0007		
总变异	0.0623	14			

表 18 阴坡落叶松人工林树高生长量的方差分析

Tab.18 Variance analysis of stands height diameter growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation on shade slopes					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.01}(4,10)$
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0134	4	0.0033	17.5540**	5.99
处理内	0.0019	10	0.0002		
总变异	0.0153	14			

### 5.1.3.2 山湾子林场抚育间伐后树高的变化分析

通过对山湾子林场华北落叶松人工林林分抚育间伐后树高生长进行统计分析（见表 19）可以看出，山湾子林场华北落叶松人工林抚育间伐后不同保留密度林分树高生长量与对照林分比较结果与八英庄林场结果相似，抚育后各林分的树高生长量增长量有所增加，增长幅度为 2.5%~52.5%。通过对抚育间伐后林分树高的生长量进行方差分析（表 20），可以看出，山湾子林场抚育间伐后保留密度（400，500，600，700 株/hm<sup>2</sup>）与对照的树高生长量存在显著差异；LSD 多重分析结果显示 700 株/hm<sup>2</sup> 与对照的树高生长量不存在显著差异（表 21）。

表 19 抚育对山湾子林场华北落叶松人工林平均树高影响

Tab.19 Effect on the tending to average stands height of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation in Shan Wanzi forest farm				
样地号	伐前 (m)	伐后 (m)	生长量 (m)	比对照增长率 (%)
Spots	Before cutting	After cutting	Growth	Growth rate
41	12.220	12.820	0.600	150.0
42	11.530	12.150	0.620	155.0
43	10.480	11.030	0.550	137.5
44	11.630	12.170	0.540	135.0
45	11.740	12.190	0.450	112.5
46	12.550	13.000	0.450	112.5
47	11.550	11.940	0.390	97.5
48	12.620	13.050	0.430	107.5
ck-11	11.020	11.420	0.400	100.0
ck-12	12.560	12.960	0.400	100.0

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 20 抚育后不同保留密度落叶松人工林树高生长量的方差分析

Tab.20 Variance analysis of stands height diameter growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation

变异来源 Aberrance source	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,5)
处理间	0.0666	4	0.0166	79.2380**	11.4
处理内	0.0011	5	0.0002		
总变异	0.0676	9			

表 21 落叶松人工林树高生长量的 LSD 多重比较

Tab.21 LSD multiple comparison for stands height diameter growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation

处 理 Treatment	均 值 Average	5%显著水平 Critical value(5%)	1%极显著水平 Critical value(1%)
400	0.6100	a	A
500	0.5450	b	B
600	0.4500	c	C
700	0.4100	d	C
900-ck	0.4000	d	C

注 c: 各处理之间显著水平字母相同表示差异水平不显著。

#### 5.1.4 抚育间伐对单株材积生长的影响

##### 5.1.4.1 八英庄林场抚育间伐后单株材积的变化分析

通过对八英庄林场华北落叶松林分抚育间伐后不同保留密度单株材积的统计分析(见表 22), 结果表明抚育间伐对单株材积生长的影响是显著的。与对照林分相比, 随着保留密度的减小, 不同保留密度林分的单株材积的生长率不断增大。对抚育间伐后华北落叶松林分单株材积的生长量进行方差分析, 结果表明, 抚育间伐后不同坡向不同保留密度林分间的单株材积生长量存在极显著差异  $P < 0.01$  (表 23、24)。抚育间伐后半阴坡不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)林分的单株材积平均生长率与对照林分相比分别增加了 37.4%、26.2%、24.7%、17.7%; 阴坡不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)林分的单株材积平均生长率与对照林分相比分别增加了 25.4%、24.7%、19.1%、11.7%。

表 22 抚育对八英庄林场华北落叶松人工林林分单株材积生长的影响

Tab.22 Effect on the tending to individual volume of the *larix principis-rupprechtii*  
Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

样地号	伐前 (m <sup>3</sup> )	伐后 (m <sup>3</sup> )	生长量 (m <sup>3</sup> )	增长率 (%)	比对照增长率 (%)
Spots	Before cutting	After cutting	Growth	rate	Growth rate
1	0.1404	0.1528	0.0124	8.44	35.34
2	0.1343	0.1466	0.0123	8.77	40.62
3	0.1489	0.1621	0.0132	8.50	36.34
ck-1	0.1491	0.1587	0.0096	6.24	0.00
4	0.1127	0.1221	0.0093	7.94	26.50
5	0.1321	0.1432	0.0111	8.05	28.26
6	0.1412	0.1527	0.0114	7.76	23.77
ck-2	0.1225	0.1304	0.0079	6.27	0.00
7	0.1069	0.1157	0.0088	7.91	26.27
8	0.1350	0.1454	0.0103	7.37	17.56
9	0.1139	0.1236	0.0097	8.16	30.27
ck-3	0.1309	0.1393	0.0085	6.27	0.00
10	0.1487	0.1598	0.0111	7.18	20.62
11	0.1557	0.1667	0.0110	6.81	14.35
12	0.1432	0.1536	0.0104	7.02	18.00
ck-4	0.1590	0.1688	0.0098	5.95	0.00
13	0.1336	0.1452	0.0116	8.34	25.47
14	0.1336	0.1456	0.0119	8.55	28.76
15	0.1412	0.1531	0.0119	8.09	21.82
ck-5	0.1222	0.1306	0.0084	6.64	0.00
16	0.1037	0.1119	0.0082	7.57	28.67
17	0.1321	0.1416	0.0095	6.92	17.59
18	0.1147	0.1236	0.0090	7.51	27.70
ck-6	0.1363	0.1445	0.0083	5.88	0.00
19	0.1063	0.1145	0.0082	7.41	21.31
20	0.1321	0.1416	0.0095	6.94	13.64
21	0.1137	0.1226	0.0088	7.47	22.21
ck-4	0.1278	0.1358	0.0081	6.11	0.00
22	0.1309	0.1398	0.0089	6.56	13.43
23	0.1281	0.1369	0.0088	6.65	14.92
24	0.1432	0.1523	0.0091	6.17	6.65
ck-8	0.1493	0.1582	0.0089	5.79	0.00

表 23 半阴坡落叶松人工林单株材积生长量的方差分析

Tab.23 Variance analysis of individual volume growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation on semi-shady slopes					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,10)
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0002	4	0.0000	285.5150**	5.99
处理内	0.0000	10	0.0000		
总变异	0.0002	14			

表 24 阴坡落叶松人工林单株材积生长量的方差分析

Tab.24 Variance analysis of individual volume growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation on shade slopes

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,10)
Aberrance source	SS	df	MS		
处理间	0.0001	4	0.0000	410.1690**	5.99
处理内	0.0000	10	0.0000		
总变异	0.0001	14			

5.1.4.2 山湾子林场抚育间伐后单株材积的变化分析

通过对山湾子林场抚育间伐后不同保留密度华北落叶松林分单株材积的计算统计分析可以看出（见表 25），随着保留密度的减小，不同保留密度样方的单株材积不断增大。对抚育间伐后林分单株材积的生长量进行方差分析，结果表明，与对照林分相比，抚育间伐后不同保留密度林分间单株材积生长量存在极显著差异 P<0.01（表 26）。抚育间伐后不同保留密度（400，500，600，700 株/hm<sup>2</sup>）林分的单株材积平均生长率与对照林分相比分别增加了 46.9%、47.7%、18.6%、7.3%；其中 500 株/hm<sup>2</sup>林分的平均单株材积的生长率达到最大值为 47.7%。

表 25 抚育对山湾子林场华北落叶松人工林林分单株材积生长的影响

Tab.25 Effect on the tending to individual volume of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

样地号	伐前 (m <sup>3</sup> )	伐后 (m <sup>3</sup> )	生长量 (m <sup>3</sup> )	生长率	比对照增长率 (%)
Spots	Before cutting	After cutting	Growth		Growth rate
41	0.1066	0.1215	0.0150	13.11	46.94
42	0.1067	0.1217	0.0150	13.10	46.86
43	0.0844	0.0968	0.0124	13.72	53.79
44	0.1097	0.1245	0.0148	12.64	41.70
45	0.1015	0.1129	0.0114	10.65	19.44
46	0.1095	0.1216	0.0121	10.51	17.79
47	0.1037	0.1142	0.0106	9.71	8.85
48	0.1240	0.1362	0.0123	9.43	5.69
ck-11	0.0916	0.1005	0.0089	9.23	0.00
ck-12	0.1122	0.1223	0.0101	8.61	0.00

表 26 抚落叶松人工林单株材积生长量的方差分析

Tab.26 Variance analysis of individual volume growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,5)
处理间	0.0001	4	0.0000	629.2500**	11.4
处理内	0.0000	5	0.0000		
总变异	0.0001	9			

### 5.1.5 抚育间伐对林分蓄积量的影响

#### 5.1.5.1 八英庄林场抚育间伐后林分蓄积量的变化分析

通过对八英庄林场抚育间伐后不同保留密度华北落叶松林分蓄积的计算统计结果表明（见表 27），在抚育间伐后，华北落叶松抚育间伐林分在间伐后蓄积量暂时会小于未间伐林分，但间伐林分的生长速度大于未间伐林分，随着保留密度的增长和竞争的加剧，间伐林分蓄积量会渐近于未间伐林分。对抚育间伐后华北落叶松林分蓄积的增长量进行方差分析表明，与对照林分相比，抚育间伐后不同保留密度的林分间蓄积增长量存在极显著差异  $P < 0.01$ （表 28、29）。抚育间伐后保留密度的大小直接影响伐后落叶松的生长速度，对蓄积平均生长率按相同保留密度样地进行平均，半阴坡不同保留密度（500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>）和对照林分蓄积的平均生长量分别为 6.3, 6.4, 8.0, 8.6, 9.2m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>，平均蓄积生长率分别为 8.6%、7.9%、7.8%、7.0%、6.1%；阴坡不同保留密度（500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>）和对照林分的平均生长量分别为 5.9, 5.3, 7.4, 8.1, 8.6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>，平均蓄积生长率分别为 8.3%、7.3%、7.2%、6.5%、6.1%。可以得出八英庄林场不同保留密度林分的蓄积平均生长率的大小表现的规律为 500 株/hm<sup>2</sup> > 600 株/hm<sup>2</sup> > 700 株/hm<sup>2</sup> > 800 株/hm<sup>2</sup> > 对照 1100 株/hm<sup>2</sup>，蓄积平均生长率随着保留密度的减小而增大，所有抚育间伐林分的生长率都大于未间伐林分的生长率；蓄积低于未间伐林分，由于生长空间的扩大以及竞争的相对减小，林分暂时处于等株数生长过程，但随着竞争的加剧，慢慢的会进入自然生长的过程，而未间伐林分的生长过程比较平稳。所有间伐林分逐渐地向对照林分渐近，由此可知间伐林分的蓄积生长速度要大于对照林分，未间伐林分的生长速度比间伐林分生长速度要慢。

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 27 抚育后八英庄林场华北落叶松人工林林分的蓄积量

Tab.27 Stands volume of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm after tending

样地号 Spots	2006 年抚育前	2006 年抚育后	2007 年蓄积 Stands volume of 2007 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	生长量 Growth (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	生长率 Growth Rate (%)
	蓄积 Stands volume of 2006 before cutting (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	蓄积 Stands volume of 2006 after cutting (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )			
	1	154.49			
2	147.70	67.13	73.29	6.16	8.77
3	163.74	74.43	81.04	6.61	8.50
ck-1	164.01	164.01	174.57	10.56	6.24
4	124.02	67.65	73.24	5.59	7.94
5	145.30	79.25	85.90	6.64	8.05
6	155.37	84.75	91.59	6.85	7.76
ck-2	134.75	134.75	143.47	8.73	6.27
7	117.54	74.80	80.96	6.16	7.91
8	148.54	94.52	101.75	7.23	7.37
9	125.34	125.34	136.00	10.67	8.16
ck-3	143.94	104.69	111.46	6.77	6.27
10	163.57	118.96	127.82	8.86	7.18
11	171.29	124.57	133.35	8.78	6.81
12	157.49	114.54	122.87	8.34	7.02
ck-4	174.94	174.94	185.68	10.73	5.95
13	146.93	66.79	72.60	5.81	8.34
14	146.99	66.81	72.78	5.97	8.55
15	155.27	70.58	76.53	5.95	8.09
ck-5	134.43	134.43	143.67	9.24	6.64
16	114.12	62.25	67.15	4.90	7.57
17	145.36	79.28	84.97	5.68	6.92
18	126.16	68.82	74.19	5.37	7.51
ck-6	149.88	149.88	158.97	9.09	5.88
19	116.97	74.43	80.16	5.73	7.41
20	145.29	92.45	99.10	6.65	6.94
21	125.12	125.12	134.82	9.70	7.47
ck-4	140.54	102.21	108.66	6.44	6.11
22	143.99	104.72	111.83	7.11	6.56
23	140.91	102.48	109.53	7.05	6.65
24	157.49	157.49	167.52	10.03	6.17
ck-8	164.18	164.18	173.97	9.79	5.79

表 28 半阴坡落叶松人工林蓄积增长量的方差分析

Tab.28 Variance analysis of stands volume growth of the *larix principis-rupprechtii*

Plantation on semi-shady slopes					
变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,10)
Aberance source	SS	df	MS		
处理间	61.8329	4	15.4582	203.1130**	5.99
处理内	0.7611	10	0.0761		
总变异	62.5940	14			

表 29 阴坡落叶松人工林蓄积增长量的方差分析

Tab.29 Variance analysis of stands volume growth of the *larix principis-rupprechtii* Plantation on shade slopes

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	F <sub>0.01</sub> (4,10)
Aberance source	SS	df	MS		
处理间	45.4718	4	11.3680	297.5910**	5.99
处理内	0.3820	10	0.0382		
总变异	45.8538	14			

### 5.1.5.2 山湾子林场抚育间伐后林分蓄积量的变化分析

对林分蓄积增长量进行方差分析表明,与对照相比,山湾子林场抚育间伐后不同保留密度林分间的蓄积增长量存在极显著差异  $P < 0.01$  (表 31)。通过对山湾子林场抚育间伐后不同保留密度林分蓄积量的统计分析结果表明(见表 30),不同保留密度(400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup>)和对照林分蓄积的平均生长量分别为 6.0, 6.8, 7.1, 8.0, 8.5 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 平均蓄积生长率分别为 13.1%、13.2%、10.6%、9.6%、8.9%;抚育间伐后蓄积量变化规律基本与八英庄林场相同,即抚育后与抚育前林分蓄积量相比都有所减少,但是抚育间伐后林分蓄积增长量和生长率均随保留密度的减少而增大。其中 500 株/hm<sup>2</sup> 林分的平均单株材积的生长率达到最大值为 13.2%。

表 30 抚育后山湾子林场华北落叶松人工林林分的蓄积量

Tab.30 Stands volume of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm after tending

样地号 Spots	2006 年抚育前 蓄积 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) Stands volume of 2006 before cutting	2006 年抚育后 蓄积 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) Stands volume of 2006 after cutting	2007 年抚育后 蓄积 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) Stands volume of 2007 after cutting	生长量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ) Growth	生长率 (%) Growth rate
41	95.94	42.64	48.62	5.98	13.11
42	96.03	42.68	48.66	5.98	13.10
43	75.93	42.19	48.40	6.21	13.72
44	98.75	54.86	62.26	7.40	12.64
45	91.37	60.91	67.77	6.85	10.65
46	98.53	65.69	72.97	7.28	10.51
47	93.30	72.57	79.97	7.40	9.71
48	111.57	86.78	95.36	8.58	9.43
ck-11	82.46	82.46	90.44	7.98	9.23
ck-12	100.96	100.96	110.04	9.08	8.61

## 华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 31 落叶松人工林蓄积增长量的方差分析

Tab.31 Variance analysis of stands volume growth of the <i>larix principis-rupprechtii</i> Plantation					
变异来源 Aberrance source	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值	F <sub>0.01(4,5)</sub>
处理间	50.7919	4	12.6980	341.527**	11.4
处理内	0.1859	5	0.0372		
总变异	50.9778	9			

## 5.2 抚育间伐对林下植被的影响

人为干扰对物种多样性影响的研究是生物多样性研究的重要内容之一。研究不同经营措施对森林群落多样性的动态影响过程是当前森林经营实践面临的急需解决的问题，也是建立多样性评价指标体系的基础与关键<sup>[98]</sup>。本文就抚育对森林群落中物种多样性影响进行了研究。在本文研究的华北落叶松人工林中，乔木层为华北落叶松单优种，而研究区内的灌木层种类较少，变化不大。因此，本文仅对华北落叶松人工林下草本层植物多样性进行系统研究。

### 5.2.1 抚育间伐对林下植物重要值的影响

重要值是用来表示某个物种在群落中的地位和作用的综合数量指标，因为它简单、明确，所以在近些年来得到普遍使用<sup>[64]</sup>。

环境改变最主要和最直接地体现在光照条件的改变上。抚育间伐后林分光照强度和光照时间都有所增加，同时相近的未抚育间伐行也会有一定程度的增加，这就为一些喜光物种创造了条件。本文借鉴了 Ruben 等的划分方法，即依据某物种抚育间伐前后出现与否和重要值的变化情况将其划分为：1)正反应种(positive species)，指抚育间伐后重要值明显增加的种和抚育间伐后新出现的种；2)中性反应种(neutral species)，指抚育间伐后重要值变化不明显或没有变化的种；3)负反应种(negative species)，指抚育间伐后重要值明显减小的种和抚育间伐后消失的种。本文在确定抚育间伐对林下草本植物多样性和组成的影响以及抚育间伐与未抚育间伐林分林下光照条件的差异，特别是抚育间伐林分中光照条件的异质性；通过调查的物种分为正反应种、中性反应种和负反应种，探讨其因抚育间伐引起的光照条件变化对林下草本植物多样性和组成的影响。

#### 5.2.1.1 八英庄林场抚育间伐后林下植物重要值的变化分析

通过对半阴坡林分林下草本植物的重要值与对照样地重要值的对比分析(表 32)可以看出，保留密度为 800 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物出现的正反应种有 15 种(其中共有种 3 种)、中性反应种 4 种、负反应种有 8 种(其中共有种 3 种)；保留密度为 700 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物出现的正反应种有 16 种(共有种 5 种)、中性反应种

2种、负反应种有10种(共有种5种);保留密度为600株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物出现的正反应种有20种(其中共有种4种)、中性反应种1种、负反应种有12种(共有种6种);保留密度为500株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物出现的正反应种有18种(其中共有种3种)、中性反应种3种、负反应种有11种(共有种9种)。从所有保留密度林分来看,与对照林分相比,抚育后瓣蕊唐松草、独行菜、断肠草、花苜蓿、华北蓝盆花、火绒草、绢毛匍匐委陵菜、苦苣、藜、蒲公英、唐松草、中华隐子草、猪毛蒿等出现并且除个别样地外重要值增大,属于正反应种;翠雀、老鹳草的重要值没有太大变化,属于中性反应种;地榆、车前、黄芩、耧斗菜、石竹、五叶地锦、小红菊、直立黄芪、猪殃殃等除个别样地重要值都有所减小外,抚育间伐后没出现,属于负反应种。

八英庄林场阴坡林分内(表33),林下草本植物的重要值与对照相比,保留密度为800株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物出现的正反应种有9种(其中共有种2种)、中性反应种1种、负反应种有9种(其中共有种6种);保留密度为700株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物出现的正反应种有11种(共有种3种)、中性反应种0种、负反应种有19种(共有种7种);保留密度为600株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物出现的正反应种有13种(其中共有种2种)、中性反应种2种、负反应种有8种(共有种7种);保留密度为500株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物出现的正反应种有15种(其中共有种3种)、中性反应种1种、负反应种有8种(共有种7种)。从所有保留密度林分来看,与对照林分相比,抚育后黄芩、铁杆蒿、委陵菜等出现并且除个别样地外重要值增大,属于正反应种;老鹳草的重要值没有太大变化,属于中性反应种;车前、地榆等处个别样地外抚育间伐后没有出现,属于负反应种。

华北落叶松人工林抚育间伐效果研究

表 32 八英庄林场半阴坡林下主要草本植物重要值

Tab. 32 Important values of understory herbs on semi-shady slopes in Ba Yingzhuang Forest Farm

植物种类 Species	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	1100	800	700	600	500
瓣蕊唐松草 ( <i>Thalictrum petaloideum</i> L.)	0.0145	0.0389	0.0452	—	0.0888
糙苏 ( <i>Phlomis umbrosa</i> Turcz.)	—	—	—	0.0966	0.0328
车前 ( <i>Plantago asiatica</i> L.)	0.0547	0.0287	0.1221	0.0371	0.0334
翠雀 ( <i>Delphinium grandiflorum</i> L.)	0.0145	0.0469	0.0118	0.0093	0.0133
地榆 ( <i>Sanguisorba officinalis</i> L.)	0.0313	—	0.0250	0.0149	0.0081
独行菜 ( <i>Lepidium apetalum</i> Wild.)	—	—	0.0118	0.0093	0.0081
断肠草 ( <i>Herba Gelsemii</i> Elegantis)	—	0.0081	—	0.0093	0.0081
风毛菊 ( <i>Saussurea japonica</i> (Thunb.)DC.)	—	—	—	0.0303	0.0275
狗尾草 ( <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.)	—	—	—	—	0.0081
花苜蓿 ( <i>Medicago ruthenica</i> (L.) Trautv.)	—	0.0081	0.0090	—	—
华北蓝盆花 ( <i>Scabiosa tschiliensis</i> Grunning.)	—	0.0091	0.0090	0.0093	0.0081
黄芩 ( <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi.)	0.0145	—	—	0.0206	0.0081
火绒草 ( <i>Leontopodium leontopodioides</i> )	—	0.0190	0.0090	0.0093	0.0186
匍匐委陵菜 ( <i>Potentilla reptans</i> L.)	—	0.0307	0.0321	0.0206	0.0081
苦苣 ( <i>Lactuca indica</i> L.)	—	0.0161	0.0090	0.0222	0.0186
老鹳草 ( <i>Geranium wilfordii</i> Maxim)	0.0145	0.0855	0.0306	—	0.1370
藜 ( <i>Chenopodium album</i> L.)	—	0.0304	0.0090	0.0414	0.0445
楼斗菜 ( <i>Aquilegia viridiflora</i> )	0.0389	—	—	0.0554	0.0201
木本香薷 ( <i>Elsholtzia stauntoni</i> )	—	—	—	0.0093	—
蒲公英 ( <i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.-Mazz.)	0.0167	0.0192	0.0202	0.0617	0.0381
山蚂蚱草 ( <i>Silene jensseensis</i> )	—	0.0290	—	0.0093	0.0508
石竹 ( <i>Dianthus chinensis</i> L.)	0.0145	0.0091	0.0090	—	0.0081
唐松草 ( <i>Thalictrum aquilegifolia</i> )	—	0.0090	0.0301	0.0459	0.0557
铁杆蒿 ( <i>Artemisia sacrorum</i> )	0.0123	0.0111	0.0090	0.0149	0.0081
歪头菜 ( <i>Vicia unijuga</i> A.Br.)	—	0.0090	0.0090	0.0093	0.0417
委陵菜 ( <i>Potentilla chinensis</i> Ser.)	0.0123	0.0190	0.0292	0.0563	0.0133
五叶地锦 ( <i>Parthenocissus quinquefolia</i> )	0.0223	—	—	—	—
细叶苔草 ( <i>Carex rigescens</i> )	0.3089	0.3078	0.3068	0.1480	0.0081
小红菊 ( <i>Dendranthema chanettii</i> (Levl.)	0.2450	—	0.2024	0.1274	0.0512
旋覆花 ( <i>Inula japonica</i> Thunb.)	—	—	—	0.0093	—
银背风毛菊 ( <i>Saussurea nivea</i> Turcz.)	0.1391	0.1379	0.0278	—	0.1184
中华隐子草 ( <i>Cleistogenes chinensis</i> )	—	0.0090	0.0090	0.0629	0.0081
直立黄芪 ( <i>Astragalus adsurgens</i> pall.)	0.0145	0.0098	—	0.0093	0.0585
猪毛蒿 ( <i>Artemisia scoparia</i> )	—	—	0.0090	0.0514	0.0482
猪殃殃 ( <i>Galium aparine</i> )	0.0313	0.1024	0.0146	—	—
种类小计	17	23	24	27	30

表 33 八英庄林场阴坡林下主要草本植物重要值

Tab. 33 Important values of understory herbs on emi-shady slopes in Ba Yingzhuang Forest Farm

植物种类 Species	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	1100	800	700	600	500
瓣蕊唐松草 ( <i>Thalictrum petaloideum</i> L.)	0.0590	0.0462	0.0384	0.0073	0.0073
车前 ( <i>Plantago asiatica</i> L.)	0.1392	0.0753	0.0161	0.0539	0.0619
翠雀 ( <i>Delphinium grandiflorum</i> L.)	0.0163	0.0154	0.0128	0.0095	0.0073
地榆 ( <i>Sanguisorba officinalis</i> L.)	0.0339	0.0128	0.0128	0.0148	0.0244
独行菜 ( <i>Lepidium apetalum</i> Wild.)	—	—	—	0.0086	0.0177
匍匐委陵菜 ( <i>Potentilla reptans</i> L.)	0.0369	—	—	—	—
风毛菊 ( <i>Saussurea japonica</i> (Thunb.)DC.)	—	—	—	0.0266	0.0469
花苜蓿 ( <i>Medicago ruthenica</i> (L.) Trautv.)	—	—	—	0.0061	0.0061
黄芩 ( <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi.)	—	0.0128	0.0128	0.0089	0.0073
苣荬菜 ( <i>Sonchus brachyotus</i> DC.)	—	0.0128	0.0128	—	—
狼毒 ( <i>Stellera chamaejasme</i> L.)	—	0.0161	0.0161	—	—
老鹳草 ( <i>Geranium wilfordii</i> Maxim)	0.0399	0.0128	0.0128	0.0365	0.0585
藜 ( <i>Chenopodium album</i> L.)	—	—	—	0.0090	0.0079
耧斗菜 ( <i>Aquilegia viridiflora</i> )	—	—	—	0.0331	0.0380
蒲公英 ( <i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.-Mazz.)	0.0250	—	—	0.0091	0.0086
山蚂蚱草 ( <i>Silene jensiseensis</i> )	—	0.0128	0.0128	—	—
石竹 ( <i>Dianthus chinensis</i> L.)	—	—	—	0.0073	0.0073
鼠掌老鹳草 ( <i>Geranium sibiricum</i> L.)	—	0.0128	0.0128	—	—
唐松草 ( <i>Thalictrum aquilegifolia</i> )	—	—	—	0.0074	0.0061
铁杆蒿 ( <i>Artemisia sacrorum</i> )	—	—	0.0458	0.0360	0.0140
委陵菜 ( <i>Potentilla chinensis</i> Ser.)	0.0384	0.0419	0.0513	0.0437	0.0330
五叶地锦 ( <i>Parthenocissus quinquefolia</i> )	—	—	—	—	0.0117
细叶婆婆纳 ( <i>Veronica linariifolia</i> Pallex Link.)	—	0.0128	0.0128	—	—
细叶苔草 ( <i>Carex rigescens</i> )	0.3318	0.4874	0.4874	0.3268	0.2857
小红菊 ( <i>Dendranthema chanettii</i> Levl.)	0.2235	0.1265	0.1185	0.2082	0.2382
银背风毛菊 ( <i>Saussurea nivea</i> Turcz.)	0.0369	—	0.0266	0.0769	0.0761
中华隐子草 ( <i>Cleistogenes chinensis</i> )	—	0.0834	0.0759	—	—
早熟禾 ( <i>Poa pratensis</i> )	—	—	—	0.0342	0.0142
直立黄芪 ( <i>Astragalus adsurgens</i> pall.)	—	—	—	0.0222	0.0073
猪殃殃 ( <i>Galium aparine</i> )	0.0192	0.0184	0.0214	0.0155	0.0146
种类小计	12	16	18	22	23

## 5.2.1.2 山湾子林场抚育间伐后林下植物重要值的变化分析

与对照林分相比(见表 34), 山湾子林场抚育间伐后保留密度为 700 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物出现的正反应种有 11 种、负反应种有 6 种(其中共有种 2 种, 占 33.3%)、中性反应种 2 种; 保留密度为 600 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物出现的正方

应种有 10 种、负反应种有 6 种（共有种 1 种）、中性反应种 1 种；保留密度为 500 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物出现的正反应种有 14 种、负反应种有 8 种（共有种 1 种）、中性反应种 1 种；保留密度为 400 株/hm<sup>2</sup> 的林分林下草本植物出现的正反应种有 14 种、负反应种有 7 种（共有种 2 种）、中性反应种 2 种。从所有的林分来看，细叶苔草、拳蓼、水蓼、地榆和小红菊等植物在不同保留密度林分的重要值相对较高。从对林分影响最大的细叶苔草来看，与对照林分相比，在抚育间伐后保留密度 500 株/hm<sup>2</sup> 的林分内达到最低为 0.148 6，这是由于抚育间伐使林分密度减少，500 株/hm<sup>2</sup> 的林下草本植物多样性增大，一些个体高、盖度大的多种喜阳草本植物在林中旺盛生长，使细叶苔草重要值相对降低。

通过对不同保留密度林分林下草本植物的重要值的变化进行统计分析研究，可以看出，半阴坡各林分林下草本植物的正反应种和负反应种的物种数目随着保留密度的减小，呈现大致增大的趋势，在 600 株/hm<sup>2</sup> 林分内正、负反应种物种数目达到最大 20 种、12 种。阴坡不同样地林下草本植物的正反应种的物种数目随保留密度的减小而增大，在 500 株/hm<sup>2</sup> 林分内正反应种物种数目达到最大 15 种。高山曼甸各林分林下草本植物的正反应种的物种数目随保留密度的减小也呈现了大致增大的趋势。由以上物种对抚育间伐在不同保留密度林分内的复杂反应可以看出，不同程度的抚育间伐引起的光照条件变化对物种在抚育间伐后的林分中出现与否、密度变化都有不同的影响。这种复杂的反应也是由于一些适于在光照水平较低的环境下生长的物种对其它一些微环境因子，特别是相对湿度的变化反应敏感造成的，而这些微环境因子的变化正是由于入射光的变化引起的。

表 34 山湾子林场主要林下草本植物重要值

Tab. 34 Important values of understory herbs in Shan Wangzi Forest Farm

植物种类 Species	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	900	700	600	500	400
萹苞凤毛菊( <i>Saussurea pectinata</i> Bge.)	—	—	—	0.0401	0.0211
并头黄芪( <i>Astragalus adsurgens</i> Pall.)	—	—	—	—	0.0444
草乌( <i>Aconitum kusnezoffii</i> Reichb.)	—	—	0.0204	—	—
柴胡( <i>Buplecurum chinensis</i> )	—	—	—	0.0101	—
翠雀( <i>Delphinium grandiflorum</i> L.)	—	0.0225	—	—	—
地榆( <i>Sanguisorba officinalis</i> L.)	0.1323	0.1739	0.0198	—	0.0867
东风菜( <i>Doellingeria scaber</i> )	—	—	—	—	0.0178
返顾马先蒿( <i>Pedicularis resupinata</i> L.)	—	—	—	0.0272	—
狗娃花( <i>Heteropappus altaicus</i> )	—	—	—	0.0259	—
河北大黄( <i>Rheum franzenbachii</i> Munt.)	—	—	—	0.0101	—
花苜蓿( <i>Medicago ruthenica</i> (L.) Trautv.)	—	0.1197	—	—	—
花忍( <i>Polemonium liniflorum</i> V.Vassil.)	—	0.0450	0.0527	—	0.0144
华北蓝盆花( <i>Scabiosa tschiliensis</i> Grunning.)	—	0.0209	—	—	—
景天三七( <i>Sedum aizoon</i> L.)	—	—	0.0337	—	—
风毛菊( <i>Saussurea japonica</i> (Thunb.)DC.)	0.1189	0.0241	0.1910	—	—
老鹳草( <i>Geranium wilfordii</i> Maxim)	0.0868	—	0.0204	0.0481	0.1178
梭子芹( <i>Pleurospermum lindleyanum</i> )	—	0.0164	—	0.0249	—
柳兰( <i>Epilobium angustifolium</i> L.)	—	—	—	—	0.0123
葎草( <i>Humulus scandens</i> )	—	—	0.0251	0.0749	0.0712
猫眼草( <i>Euphorbia lunulata</i> Bge.)	0.0324	—	0.0146	0.0288	—
拳蓼( <i>Polygonum bistorta</i> L.)	0.1019	0.1173	0.0146	0.0460	0.0210
沙参( <i>Adenophora polyantha</i> )	0.0365	0.0419	—	0.0495	0.0123
石竹( <i>Dianthus chinensis</i> L.)	—	0.0305	—	—	0.0439
水蓼( <i>Polygonum hydropiper</i> L.)	0.0489	0.0451	0.0725	0.0211	0.0500
唐松草( <i>Thalictrum aquilegifolia</i> )	0.0813	—	0.0334	0.0563	0.0216
铁丝草( <i>Adiantum lapillusveneris</i> )	—	—	—	—	0.0098
歪头菜( <i>Vicia unijuga</i> A.Br.)	—	0.0225	0.0552	0.0175	—
细叶苔草( <i>Carex rigescens</i> )	0.2000	0.1819	0.2147	0.1486	0.1975
细叶鸢尾( <i>Iris dichotoma</i> Pall.)	0.0448	—	0.0203	0.0503	0.0665
小红菊( <i>Dendranthema chanettii</i> (Levl.))	0.0937	0.1077	0.1181	0.0101	0.0337
小花糖芥( <i>Erysimum bungei</i> (Kitag.) Kitag.)	—	—	—	0.0101	—
展枝沙参( <i>Adenophora divaricata</i> Franch.et Savat.)	—	—	—	—	0.0178
中华隐子草( <i>Cleistogenes chinensis</i> (Maxim.) Keng.)	—	0.0305	0.0669	0.1507	0.0774
紫花地丁( <i>Viola yedoensis</i> Makino.)	—	—	—	0.0259	—
紫堇( <i>Corydalis edulis</i> Maxim)	0.0225	—	0.0267	0.0101	0.0340
种类小计	12	15	17	23	21

5.2.2 抚育间伐对丰富度指数的影响

物种丰富度即样方内所有的物种数目群落的物种数目，是最简单、最古老的多样性测度方法。目前，这种方法仍被多数的生态学家使用，特别是植物生态学家使用。

5.2.2.1 八英庄林场抚育间伐后林下植物丰富度指数的变化分析

根据计算得出抚育间伐对华北落叶松人工林林下植物丰富度指数影响情况(见表 35)。

表 35 抚育后不同密度华北落叶松人工林林下草本植物物种丰富度指数值

Tab.35 The species richness of understory herbs in different density in the *larix principis-rupprechtii*

丰富度指数 Species richness	Plantation after tending				
	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	1100	800	700	600	500
<i>S</i> <sub>半阴</sub>	17	23	24	28	30
Monk <sub>半阴</sub>	0.0021	0.0023	0.0024	0.0029	0.0028
<i>S</i> <sub>阴</sub>	12	16	18	22	23
Monk <sub>阴</sub>	0.0015	0.0017	0.0021	0.0023	0.0025

由图 2、图 3 可以看出，与对照林分相比，八英庄林场华北落叶松人工林在抚育间伐后不同保留密度林下草本物种数目和 Monk 指数值都有所增大。

通过对样地调查，数据统计分析，得出抚育间伐后不同保留密度下的华北落叶松人工林林下草本植物物种数目变化情况(见表 35)，可以看出，半阴坡不同林分密度(1100, 800, 700, 600, 500 株/hm<sup>2</sup>)林分林下出现草本植物物种数目分别为 17、23、24、27、30；阴坡不同林分密度(1100, 800, 700, 600, 500 株/hm<sup>2</sup>)林分林下出现草本植物物种数目分别为 12、16、18、22、23。半阴坡对照林分林下植物物种数目较小，共出现植物 17 种；抚育后保留密度为 800 株/hm<sup>2</sup>林分林下植物物种数目增大，共出现草本植物 23 种；抚育后保留密度为 600, 500 株/hm<sup>2</sup>林分的物种数目明显增大，林下草本植物共有 27, 30 种。阴坡对照林分林下植物物种数目较小，共出现植物 12 种；抚育后保留密度为 800 株/hm<sup>2</sup>林分林下植物物种数目少量增大，共出现草本植物 16 种；阴坡不同林分密度(1100, 800, 700, 600, 500 株/hm<sup>2</sup>)林分明显增加，林下草本植物共出现 22, 23 种。抚育后林下草本植物物种数目变化基本上都表现出了不同保留密度林分林下草本植物种类随保留密度的减小而增大的规律。其中与对照林分相比不同保留密度林分的物种数目有明显的增大，由于林分密度的减少，林分郁闭度减小，使得林下光照田间改善，林下草本植物生长旺盛，促进物种数目的增多。Monk 值随林分密度的变化不大，随林分保留密度的减少呈略微增加的趋势。说明林分密度的改变对华北落叶松人工林林下草本植物的物种个体数量和物种数

目影响趋势一致。通过分析林下相对光照强度与植物物种丰富度的变化，随林下相对光照强度的增加，林下植物物种丰富度增加，由此可以解释抚育间伐后的不同保留密度的林分林下草本植物的物种丰富度高，主要是由于林下相对光照强度较高的原因。

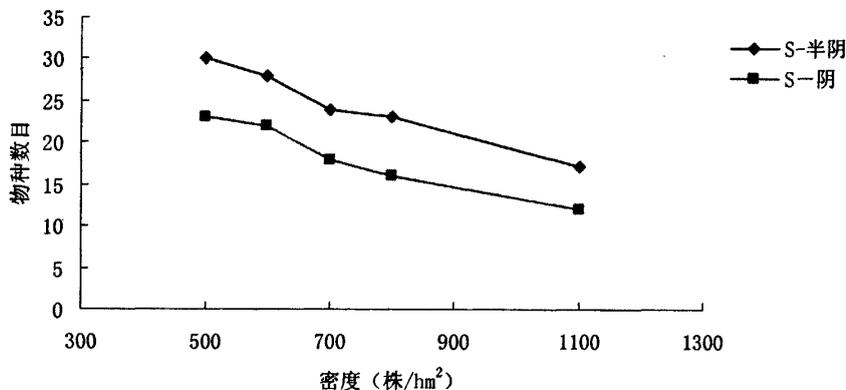


图2 八英庄林场不同密度人工落叶松林物种数目  
Fig2 The species number under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

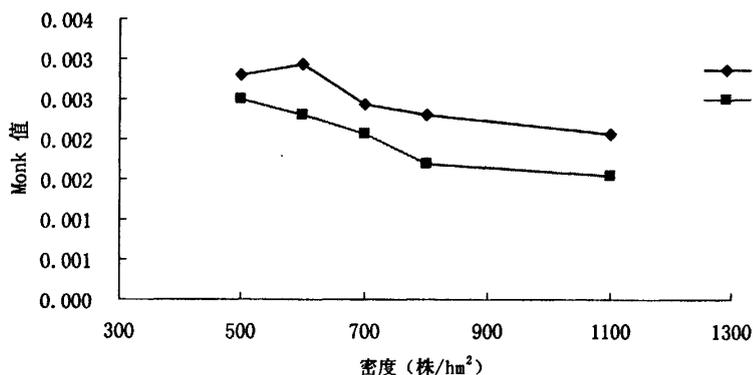


图3 八英庄林场不同密度人工落叶松林Monk指数值  
Fig3 The Monk index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

### 5.2.2.2 山湾子林场抚育间伐后林下植物丰富度指数的变化分析

根据计算得出抚育间伐对华北落叶松人工林林下植物丰富度指数影响情况(见表36)。

表 36 抚育后不同密度华北落叶松人工林林下草本植物物种丰富度指数值

Tab.36 The species richness of understory herbs in different density in the *larix principis-rupprechtii*

		Plantation after tending				
		密度 (株/hm <sup>2</sup> )				
丰富度指数	Species richness	Density				
		900	700	600	500	400
S		12	15	17	23	21
Monk		0.0022	0.0022	0.0025	0.0027	0.0040

山湾子林场不同密度 (900, 700, 600, 500, 400 株/hm<sup>2</sup>) 林分林下出现草本植物物种数目分别为 12、15、17、23、21 (见表 36)。

由图 4 可以看出, 与对照林分相比, 山湾子林场华北落叶松人工林在抚育间伐后不同保留密度林下草本物种数目都有所增大。林分保留密度为 500 株/hm<sup>2</sup> 时, 由于密度小, 林分郁闭度较小, 林下光照条件好, 林下草本植物生长旺盛, 物种数目较多。林分密度为 400 株/hm<sup>2</sup> 时, 由于林分密度保留过小, 林下一些耐阴植物对条件的改变不适应而消失, 所以较 500 株/hm<sup>2</sup> 的林分物种数目略有减少。当林分保留密度大于 500 株/hm<sup>2</sup>, 林分物种数目减少; 随着林分保留密度的增大, 林下光照条件减弱, 草本物种数目呈减小的趋势。

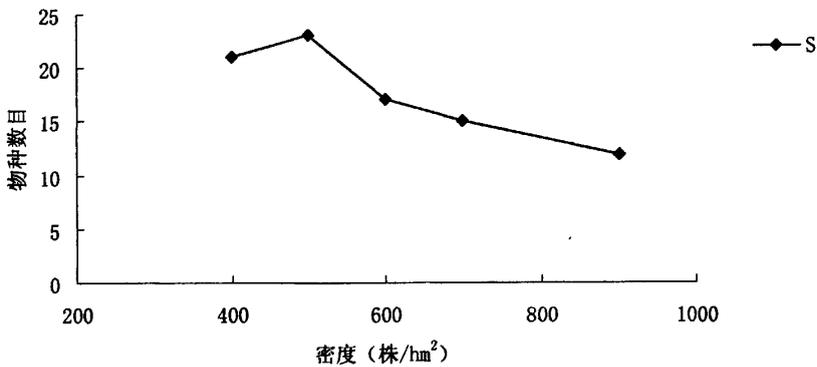


图 4 山湾子林场不同密度人工落叶松林物种数目

Fig.4 The species number under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

由图 5 可以看出, 林下草本植物的 Monk 值随林分保留密度的变化与物种数目随林分保留密度的变化不同, 草本植物的 Monk 值随着林分保留密度的增大呈略微减小的趋势。

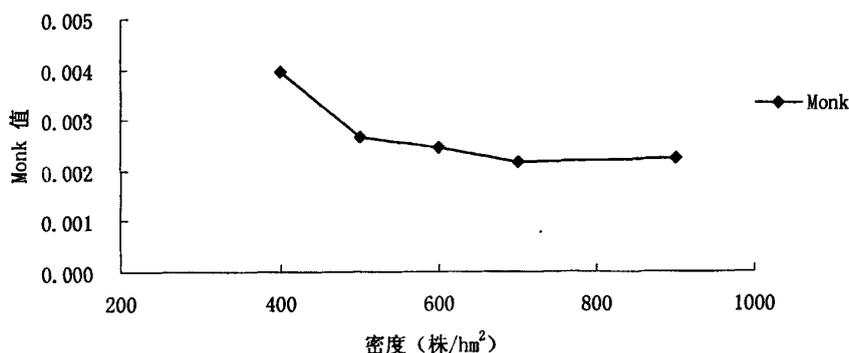


图 5 山湾子林场不同密度人工落叶松林 Monk 指数值  
Fig.5 The Monk index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

### 5.2.3 抚育间伐对多样性指数的影响

物种多样性指数是把丰富度和均匀度结合起来的一个统计量。物种丰富度和物种均匀度不同的结合方式或同一结合方式给予的权重不同都可以形成大量的多样性指数。在多样性的测度中最为常用的是 Simpson 指数 ( $D$ ) 和 Shannon-Wiener 指数 ( $H'$ ) 和种间相遇机率 ( $PIE$ )。

#### 5.2.3.1 八英庄林场抚育间伐后林下植物多样性指数的变化分析

根据计算得出抚育间伐对华北落叶松人工林林下植物多样性指数影响情况(见表 37)。

表 37 抚育后不同密度华北落叶松人工林林下草本植物物种多样性指数值

Tab.37 The species diversity of understory herbs in different density in the *larix principis-rupprechtii* Plantation after tending

多样性指数 Species diversity	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	1100	800	700	600	500
Simpson 指数( $D$ ) <sub>*m</sub>	2.2968	2.5316	2.6487	2.8487	3.1519
Shannon-Wiener 指数( $H'$ ) <sub>*m</sub>	2.0364	2.3466	2.6989	2.8072	3.0021
种间相遇机率( $PIE$ ) <sub>*m</sub>	0.7021	0.7434	0.7859	0.8460	0.8920
Simpson 指数( $D$ ) <sub>m</sub>	2.1192	2.3742	2.4061	2.7989	2.8287
Shannon-Wiener 指数( $H'$ ) <sub>m</sub>	1.6998	1.9875	2.2781	2.4641	2.4822
种间相遇机率( $PIE$ ) <sub>m</sub>	0.6037	0.6420	0.6844	0.7684	0.7855

由图 6、图 7、图 8 可以看出, 与对照林分相比, 抚育后八英庄林场华北落叶松人工林林下的草本多样性  $D$ 、 $H'$ 、 $PIE$  指数值都有所增大。其中  $H'$  指数对于抚育间伐的实施更敏感, 更能表现出这种规律, 这也与抚育后植物种类、数量和盖度增加相一致。各林分在抚育间伐后林下草本多样性指数均大于未抚育间伐林分, 这是由于抚育间伐后林下植物在林内环境条件改变, 促使适应新环境的种得到发展, 而使另外一些种受到环境条件和适应新环境种的双重限制, 使得林分内草本植物总体数量增加、盖度增大, 所以多样性指数升高。

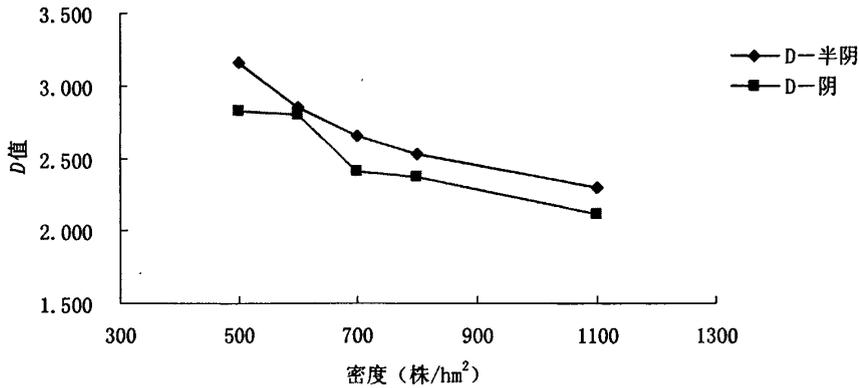


图 6 八英庄林场不同密度人工落叶松林Simpson指数值

Fig.6 The Simpson index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

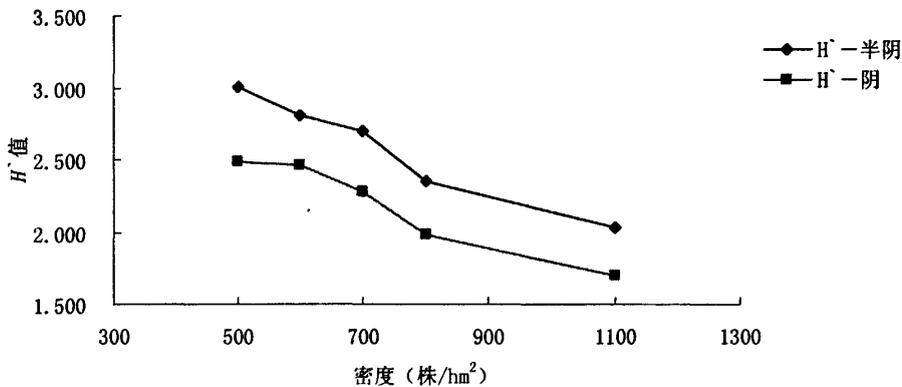


图 7 八英庄林场不同密度人工落叶松林Simpson-Winner指数值

Fig.7 The Simpson-Winner index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

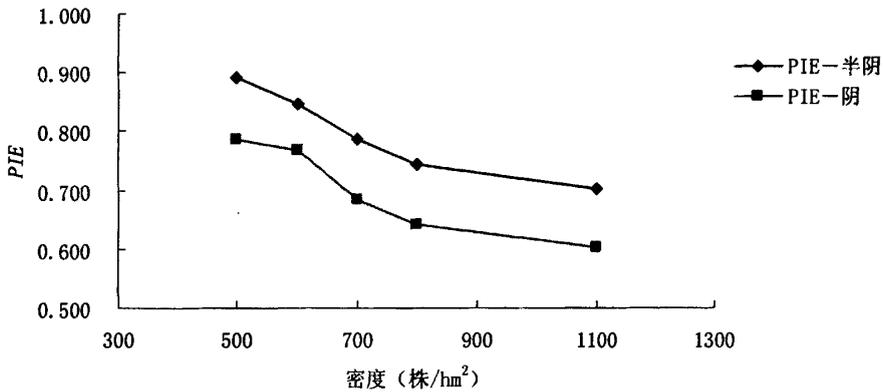


图 8 八英庄林场不同密度人工落叶松林Simpson指数值  
Fig.8 The PIE under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

### 5.2.3.2 山湾子林场抚育间伐后林下植物多样性指数的变化分析

根据计算得出抚育间伐后山湾子林场不同保留密度华北落叶松人工林林下植物多样性指数（见表 38）。

表 38 抚育后不同密度华北落叶松人工林林下草本植物物种多样性指数值

Tab.38 The species diversity of understory herbs in different density in the *larix principis-rupprechtii*

多样性指数 Species diversity	Plantation after tending				
	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	900	700	600	500	400
Simpson 指数(D)	2.2685	2.5185	2.8227	2.4074	2.1544
Shannon-Wiener 指数(H')	2.0021	2.2076	2.3545	2.8010	2.7048
种间相遇机率(PIE)	0.8026	0.8670	0.8722	0.8811	0.9015

综合图 9、图 10、图 11 可以看出，用来测定抚育后山湾子林场华北落叶松人工林林下的草本多样性的三个指标  $D$ 、 $H'$ 、 $PIE$  与对照林分相比，随着林分保留密度的减小物种多样性变化规律大体一致，即物种多样性的测度指标随着林分保留密度的减小总体呈逐渐增大的趋势，但是  $H'$  的变化幅度比  $H'$ 、 $PIE$  的变化幅度较大。主要原因可能是不同保留密度的林分物种多样性指数除受物种丰富度和均匀度的影响外，还收常见种和稀有种种类的多少的影响。随林分保留密度的增大，林下草本植物物种数逐渐减小，使不适于环境的物种逐渐灭亡，而适于这种环境的物种不断侵入并生存下来。这样，常见种逐渐减少而稀有种逐渐增多。 $D$  和  $PIE$  对稀有种不敏感但对常见种很敏感，但  $H'$  却对稀有种很敏感，因而随着林分密度的变化  $H'$  比  $D$  和  $PIE$  变化幅度大。

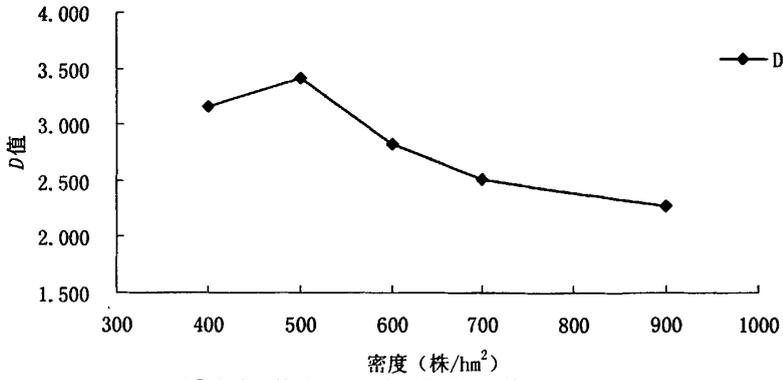


图9 山湾子林场不同密度人工落叶松林Simpson指数值  
Fig.9 The Simpson index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

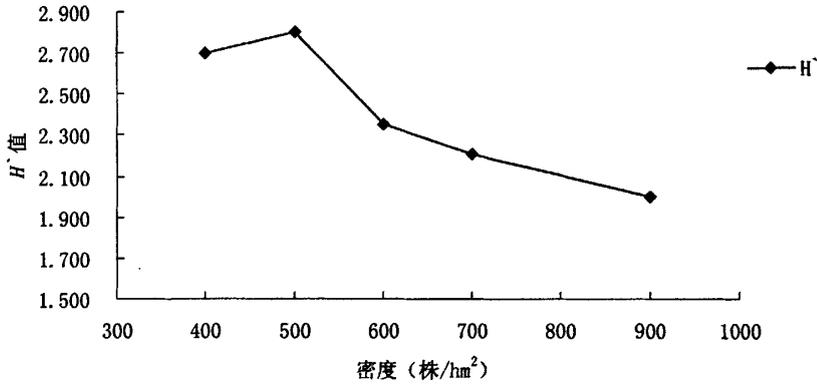


图10 山湾子林场不同密度人工落叶松林Simpson-Winner指数值  
Fig.10 The Simpson-Winner index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

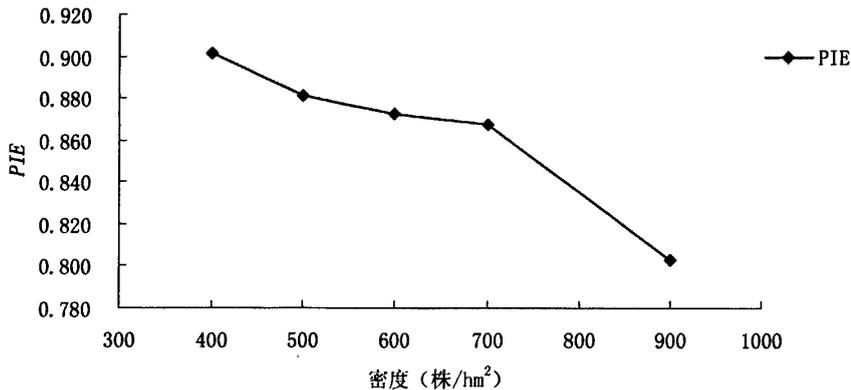


图 11 山湾子林场不同密度人工落叶松林 PIE 指数值

Fig.11 The PIE under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

#### 5.2.4 抚育间伐对均匀度指数的影响

均匀度指数表征群落中不同物种多度分布的均匀程度，它独立于物种丰富度，在物种数目一定的情况下，只与个体数目等指标在各个物种中分布的均匀程度有关。均匀度的计算值可以通过实测的物种多样性指数值和该样地种数、个体总数不变的情况下理论上具有的最大的多样性指数值的比值来度量（这个理论值实际是建立在假定群落中所有种的多度分布是最均匀的基础上的）。在物种均匀度的测度中将采用下式来计算物种均匀度指数。

无论怎样定义多样性指数，它都是把物种丰富度与均匀度结合起来的一个单一的统计量。多样性信息度量，概率度量还是几何度量都是以不同的方式表达物种丰富度与均匀度的结合。因此，均匀度是群落多样性研究中十分重要的概念。Pielou (1969) 把均匀度定义为群落的实测多样性与最大多样性即在给定物种数  $S$  下的完全均匀群落的多样性的比率。

##### 5.2.4.1 八英庄林场抚育间伐后林下植物均匀度指数的变化分析

根据计算得出抚育间伐对华北落叶松人工林林下植物均匀度指数影响情况（见表 39）。

表 39 抚育后不同密度华北落叶松人工林林下草本植物物种均匀度指数值

Tab.39 The species evenness of understory herbs in different density in the *larix principis-rupprechtii*

均匀度指数 Species evenness	Plantation after tending				
	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	1100	800	700	600	500
$J_{SI}$ 半阴	0.6958	0.7221	0.8234	0.8415	0.8985
$J_{SW}$ 半阴	0.7188	0.7484	0.8492	0.8518	0.8827
$J_{SI}$ 阴	0.6953	0.7052	0.7925	0.7946	0.8021
$J_{SW}$ 阴	0.6841	0.7168	0.7882	0.7972	0.7916

由图 12、图 13 可以看出, 对于八英庄林场华北落叶松人工林林下植物来说, 其均匀度还是和丰富度一样, 呈现出抚育间伐后增大的情况, 并且随保留密度的减少均匀度指数值增大。由于抚育调整了林木之间的关系, 林分郁闭度减小, 改善了林内的光照及温湿条件, 增加了环境的异质性, 使油松林林下的灌木、草本得到迅速更新, 提高了群落物种多样性。

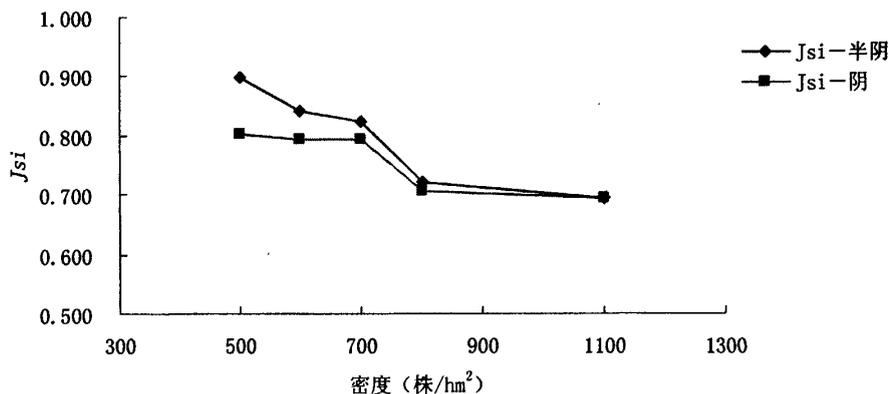


图 12 八英庄林场不同密度人工落叶松林Pielou 均匀度值

Fig.12 The Pielou index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

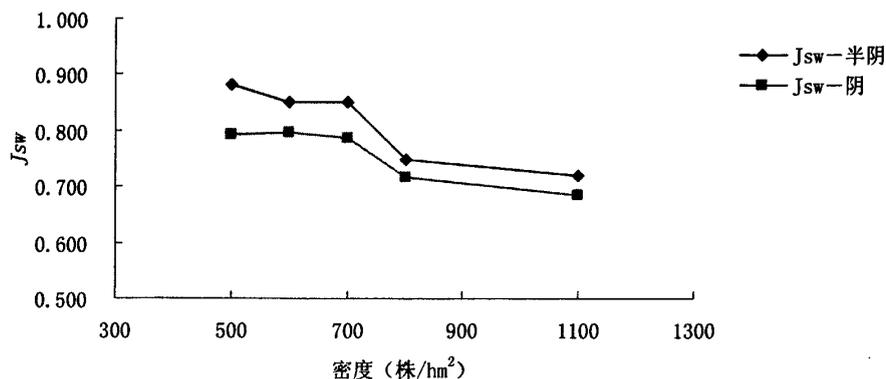


图 13 八英庄林场不同密度人工落叶松林Pielou 均匀度值

Fig.13 The Pielou index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Ba Yingzhuang forest farm

## 5.2.4.2 山湾子林场抚育间伐后林下植物均匀度指数的变化分析

根据计算得出抚育间伐后山湾子林场各样方华北落叶松人工林林下植物均匀度指数（见表 40）。

表 40 抚育后不同密度华北落叶松人工林林下草本植物物种均匀度指数值

Tab.40 The species evenness of understory herbs in different density in the *larix principis-rupprechtii*

均匀度指数 Species evenness	Plantation after tending				
	密度 (株/hm <sup>2</sup> ) Density				
	900	700	600	500	400
$J_{si}$	0.7786	0.8245	0.8222	0.8575	0.8406
$J_{sw}$	0.8057	0.8152	0.8310	0.8933	0.8884

由图 14、图 15 可以看出，对于山湾子林场华北落叶松人工林不同保留密度下林分林下草本植物来说，其均匀度还是和丰富度一样，呈现出抚育间伐后保留密度小的林分内 Pielou 均匀度指数  $J_{si}$  和  $J_{sw}$  值均较高。主要原因是物种均匀度与物种数目关系不大，在数目一定的情况下均匀度只与物种个体数量等指标在不同个物种分布的均匀程度有关，且群落种的个体数越接近，均匀度越大，反之越小。随着林分保留密度的增大，林下草本植物物种数目减少而且相应的物种数量也减少，影响到物种分布的均匀程度。这一结果说明抚育间伐后保留密度的大小对林分的物种均匀度也有一定的影响。

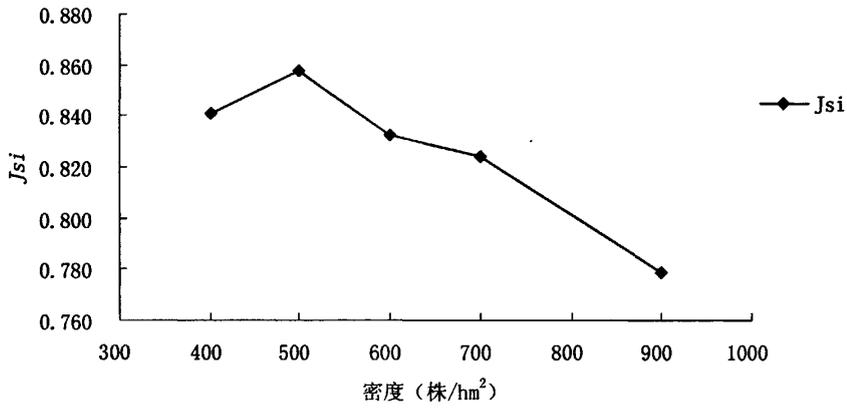


图 14 山湾子林场不同密度人工落叶松林Pielou均匀度值  
Fig.14 The Pielou index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

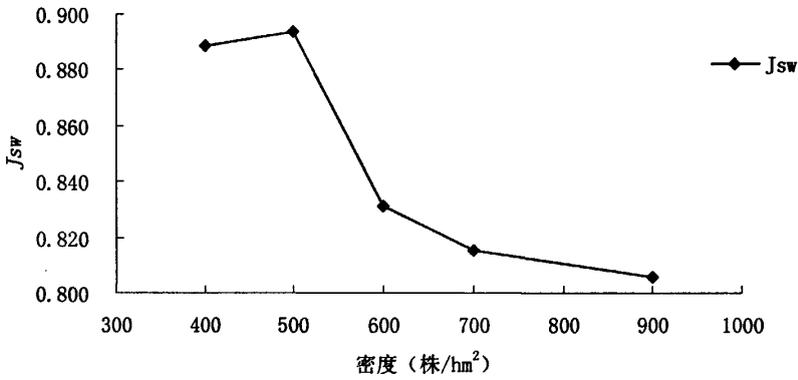


图 15 山湾子林场不同密度人工落叶松林Pielou均匀度值  
Fig.15 The Pielou index value under different density of the *larix principis-rupprechtii* Plantation in Shan Wanzi forest farm

## 6 结论与讨论

### 6.1 结论

本文从不同强度抚育间伐后木兰林管局八英庄林场、山湾子林场的华北落叶松人工林林木的生长、林下草本植物种类变化以及植物多样性进行系统的研究，综合分析了抚育的效果。为确定华北落叶松人工林合理的抚育间伐密度和具体的抚育措施提供理论依据。主要结论有：

#### 6.1.1 抚育间伐对林木生长的影响

1 抚育间伐后，林分的质量提高。八英庄林场半阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分胸径平均生长量与对照林分胸径平均生长量相比分别增加了 50.0%，42.2%，28.4%，15.2%；阴坡保留密度为（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后胸径平均生长量对照林分相比分别增加了 44.8%，30.2%，19.9%，8.2%。山湾子林场不同保留密度（400，500，600，700 株/hm<sup>2</sup>）林分胸径平均生长量与对照林分相比分别增加了 72.2%，54.4%，25.6%，14.4%。抚育能够促进林木胸径的生长，同时表现出抚育后保留密度越小，林分胸径的平均生长量越大。

2 抚育能够促进林木冠幅的生长。八英庄林场半阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后冠幅与对照林分相比分别增加了 46.4%，33.3%，22.0%，14.6%，阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后冠幅比对照林分分别增加了 40.4%，29.2%，17.3%，8.7%。山湾子林场不同保留密度（400，500，600，700 株/hm<sup>2</sup>）林分抚育后平均冠幅与对照林分相比分别增加了 50.9%，41.9%，35%，21.2%。

3 抚育对不同保留密度林分平均树高的增长率有明显的促进作用。其中八英庄林场半阴坡与对照相林分相比增长幅度高出 9.7%~26.2%；阴坡样地的树高增长幅度对照相林分相比高出 4.1%~21.2%。抚育后山湾子林场不同样地的树高生长量增长量有所增加，增长幅度为 2.5%~52.5%。说明抚育促进了华北落叶松人工林林分平均树高的增长。

4 抚育能提高林分单株材积生长率，并随着抚育保留密度的减少，林分单株材积生长量呈递增趋势。抚育间伐后八英庄林场半阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分的单株材积平均生长率与对照林分相比分别增加了 37.4%、26.2%、24.7%、17.7%；阴坡不同保留密度（500，600，700，800 株/hm<sup>2</sup>）林分的单株材积平均生长率与对照相林分相比分别增加了 25.4%、24.7%、19.1%、11.7%。山湾子林场不同保留密度（400，500，600，700 株/hm<sup>2</sup>）林分的单株材积平均生长率与对照林分相比分别增加了 46.9%、47.7%、18.6%、7.3%；其中 500 株/hm<sup>2</sup> 林分的平均单株材积的生长率达到最大值。

5 在抚育间伐后,华北落叶松林分在间伐后蓄积量暂时小于未间伐林分,但间伐后林分的生长速度大于未间伐林分,蓄积平均增长率随保留密度的减小而增大,并且随着保留密度的增长和竞争的加剧,间伐林分蓄积量渐近于未间伐林分。八英庄林场半阴坡不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)林分和对照林分蓄积的平均生长量分别为 6.3, 6.4, 8.0, 8.6, 9.2m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 平均蓄积增长率分别为 8.6%、7.9%、7.8%、7.0%、6.1%; 八英庄林场阴坡保留密度不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)林分和对照林分的平均生长量分别为 5.9, 5.3, 7.4, 8.1, 8.6 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 平均蓄积增长率分别为 8.3%、7.3%、7.2%、6.5%、6.1%。山湾子林场不同保留密度(400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup>)林分和对照林分蓄积的平均生长量分别为 6.0, 6.8, 7.1, 8.0, 8.5 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 平均蓄积增长率分别为 13.1%、13.2%、10.6%、9.6%、8.9%。

抚育间伐对华北落叶松人工林林分密度的控制及其林木生长有显著的影响,抚育间伐后,林分保留密度减小,林分结构发生变化,不同抚育强度下的华北落叶松林分竞争减小,促进了林木生长,林分的各项生长指标与对照林分相比都有所提高。通过分析研究得出,保留密度为 500 株/hm<sup>2</sup>的样地内抚育效果表现最好。不同坡向的林分抚育间伐后抚育效果表现为高山曼甸(半阴坡)阴坡。

### 6.1.2 抚育间伐对林下植被的影响

通过对木兰林管局八英庄林场、山湾子林场华北落叶松人工林进行不同强度抚育间伐的研究可得出,林下植物多样性是随抚育间伐后保留密度的变化情况:

1 通过对抚育间伐后不同保留密度华北落叶松人工林林下草本植物重要值的变化情况进行研究,得出:半阴坡不同保留密度林分林下草本植物的正反应种和负反应种的物种数目随着保留密度的减小,呈现大致增大的趋势,在 600 株/hm<sup>2</sup>林分内正、负反应种物种数目达到最大 20 种、12 种。阴坡不同样地林下草本植物的正反应种的物种数目随保留密度的减小而增大,在 500 株/hm<sup>2</sup>林分内正反应种物种数目达到最大 15 种。高山曼甸各样地林下草本植物的正反应种的物种数目随保留密度的减小也呈现了大致增大的趋势。

2 抚育后的林下草本植物种类和多样性指数都随着保留密度的减小而增加。抚育后半阴坡不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)林分与对照林分相比,林下草本植物分别增加了 13, 10, 7, 6 种;阴坡不同保留密度(500, 600, 700, 800 株/hm<sup>2</sup>)林分与对照林分相比,林下草本植物分别增加了 11, 10, 6, 4 种。高山曼甸不同保留密度林分在 500 株/hm<sup>2</sup>的林分林下草本植物达到最优,与对照林分相比,不同保留密度(400, 500, 600, 700 株/hm<sup>2</sup>)林分,林下草本植物分别增加了 9, 11, 5, 3 种。

3 华北落叶松人工林林下草本植物物种丰富度指数、多样性指数和均匀度指数都呈现出随着保留密度的减小而增加。半阴坡、阴坡华北落叶松人工林林下植物多样性指数均表现为 500 株/hm<sup>2</sup>>600 株/hm<sup>2</sup>>700 株/hm<sup>2</sup>>800 株/hm<sup>2</sup>>对照(1100 株/hm<sup>2</sup>);其中半阴坡和阴坡相同保留密度林分各项指标相比,半阴坡的优于阴坡。高山曼甸华

北落叶松人工林林下植物多样性则表现为  $500 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 400 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 600 \text{ 株}/\text{hm}^2 > 700 \text{ 株}/\text{hm}^2 > \text{对照} (900 \text{ 株}/\text{hm}^2)$ 。

华北落叶松人工林抚育间伐后保留密度为  $500 \text{ 株}/\text{hm}^2$  林分林下草本植物多样性最高。

## 6.2 讨论

1 本文对木兰林管局八英庄林场、山湾子林场华北落叶松人工林抚育间伐前后的林分生长和林下植物多样性进行了初步研究。抚育间伐对林分生长和生物多样性的影响有一定的时间限度,应深入研究抚育间伐后林分的变化,确定抚育间伐的周期,达到控制不同生长阶段林分的密度。但由于时间、研究条件及本人目前的知识水平等因素的综合影响,论文还存在一定的欠缺。评价指标有待进一步扩展,指标的定量化研究有待进一步完善和深入,以期取得更为完善的技术资料,为今后的研究中应建立抚育效果的生态评价体系,以期为冀北山区华北落叶松人工林的抚育提供依据,促进人工林的可持续经营,使林分生长最好、结构最复杂、生物多样性最丰富,以维持森林生态系统的稳定,全面发挥冀北山区人工林的生态效能。

2 关于提出的不同林分的经营管理和合理抚育间伐措施,主要是根据不同保留密度林分的林木生长综合评价和林下草本植物多样性结果及相关的文献综述的基础上,结合标准地和临时样地存在的主要问题,提出了相应的对策与建议,代表性有所欠缺,针对冀北山地华北落叶松人工林林分的抚育间伐这一问题还需要进一步深入探讨研究。

## 参考文献

- [1] Tilnau D, Downing J A, Wedln D A. Does diversity beget stability[J]. Nature, 1994, 371(33): 113~114.
- [2] Karieva P. Diversity begets Productivity[J]. Nature, 1994, 386(15): 686~687.
- [3] 汉斯·迈耶尔. 造林学(第三分册) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [4] 肖佩兰. 古代抚育竹林的经验[J]. 湖南林业, 1994, (02): 27.
- [5] 安藤贵, 尹富启译. 优势木间伐对森林质和量生长的影响[J]. (日)林业技术, 1984, (2).
- [6] 安藤贵. 林分密度管理图よみの使し方[M]. 农林出版, 1966.
- [7] 安藤贵. 同龄单层林の密度管理图に关すめ生态学的研究[J]. 林研试报, 1968, (210).
- [8] 相场芳宪. スキ人工林の生长にすよは保育の影響(III)现实密度林分の现有干材积の推定[J]. 日林志, 1975, (3).
- [9] Ross H, Grant R, John G. Response Increment. A Method to Analyze thinning Response in Even-Aged Forests[J]. Forest Science, 1978, 32(1): 243~253.
- [10] Gonzalo L P, Douglas B. Emcient Specification and Solution of the Even-aged Rotation and Thinning Problem[J]. Forest Science, 1978, 33(1): 14~29.
- [11] John P M, Robert L, Bailey. Compatible Basal Area and Diameter Distribution Models for Thinned Loblolly Pine Plantation in Santa arina, Brazil[J]. Forest Science, 1987, 33(1): 13~51.
- [12] Bruce R K. A GROWTH and Yield Model for Thinned Stands of Yellow-Poplar[J]. Forest Science, 1986, 32(2): 1~64.
- [13] Bailey R A Compatible Model Relating Slash Pine Plantation Survival to Density, Age, Site Index, and Type and Intensity of Thinning[J]. Forest Science. 1985, 31(1): 180~189.
- [14] Avery T E, Burkhart H.E. Forest Measurements[M]. Third edition. McGraw-Hill Book Company. 1983.
- [15] Richards. A flexible growth function for empirical use[J]. J. Exp. Bot. 1984, (10).
- [16] 尹泰龙, 韩福庆. 林分密度控制图的编制与应用[J]. 中国林业科学, 1978(3).
- [17] 尹泰龙. 林分密度控制图[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [18] 尹泰龙, 李晓梅, 姜萍, 等. 最佳间伐过程的研究[J]. 吉林林业科技, 1987(2).
- [19] 尹泰龙, 张志明. 人工落叶松林间伐效益的研究[J]. 林业科学, 1987(4).
- [20] 姜文南, 张铁砚. 日本落叶松林分密度控制图数表的编制及应用[J]. 辽宁林业勘测设计, 1987(1).
- [21] 田镛锡. 编制林分密度控制图的理论[J]. 林业调查规划, 1980(1).
- [22] 田镛锡. 抚育间伐方式的研究[J]. 林业调查规划, 1983(1).
- [23] 张铁砚, 姜文南. 柞树林分密度控制图编制与应用[J]. 林业勘查设计, 1985(3).
- [24] 刘景芳. 杉木林分密度控制图研究报告[R]. 1980.
- [25] 李景芳, 张辉, 姜冠, 等. 红皮云杉造林及透光抚育技术的研究[J]. 林业科技, 1995(3).
- [26] 成子纯. 湖南马尾松林分密度管理图的编制[C]. 北京: 中国林业出版社, 1985.

- [27] 林杰. 马尾松人工林林分密度管理图的编制[C]. 北京: 中国林业出版社.1985.
- [28] 刘君然. 落叶松天然林不同密度林分生长量、成熟变化规律. 内蒙古林业调查设计, 1995, (1): 12~16.
- [29] 刘君然. 落叶松天然林林分密度, 直径, 树高与形数关系及数学模型. 内蒙古大兴安岭林业科技, 1995, (1): 4~8.
- [30] 丁炳录. 落叶松抚育间伐的技术应用. 内蒙古大兴安岭林业科技.1997, (1).
- [31] 程一森, 刘华东. 杉木林间伐强度研究. 林业科技通讯, 1997, (8).
- [32] 庄晨辉. 马尾松定量间伐研究.林业科技通讯 . 1995, (6).
- [33] 阎海平. 关于北京生态公益林抚育管理的几点思考[J]. 林业科技管理, 1999, (3): 13~15.
- [34] 北京林学院. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982, 266~276.
- [35] 中国林学会. 森林抚育间伐[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- [36] 中国林业科学研究院科技情报研究所. 森林抚育间伐[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [37] 蒋伊尹. 红松人工林生长与生长模型[J]. 东北林业大学学报, 1985.
- [38] 钱本龙. 山民江冷杉原始林的生长模型[C]. 北京: 中国林业出版社, 1987.
- [39] 董希斌. 采伐强度对林分蓄积生长量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(2): 35~37.
- [40] 李春明. 抚育间伐对人工林分生长的影响研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2003.
- [41] 李春明, 杜纪山, 张会儒. 间伐林分的断面积生长模型研究[J]. 林业资源管理, 2004, (3): 52~55.
- [42] 李春明, 杜纪山, 张会儒. 抚育间伐对人工落叶松断面积和蓄积生长的影响[J]. 林业资源管理, 2007, (3): 90~93.
- [43] 崔文滨. 中欧针叶林培育理论和技术在秦岭落叶松和油松人工林抚育中的应用研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
- [44] 周富康, 张先泰, 李金平. 武冈林场第二代人工杉木中幼林抚育间伐强度试验研究初探[J]. 林业资源管理, 2007, (4): 29~33.
- [45] Knoebel B C,Burkhart H E,Beck D E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar[J]. For Sci, 1986,32(2): 27,62.
- [46] 吴际友, 龙应忠, 童方平, 等. 湿地松人工林间伐效果初步研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(6): 630~633.
- [47] 方妙辉. 抚育间伐对杉木林分生长质量的影响[J]. 林业科技开发, 2004, 18(6): 62~63.
- [48] Clutter, J L,Jones, E P. Prediction of growth after thinning in old field slash pine plantations[R]. USDA For Serv: Res Pap, 1980, SE-217,119.
- [49] 赵垦田, 吴吕梁. 林业生产实践与科学研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994.
- [50] 河北省赛罕坝机械林场, 河北省农林科学院林业研究所. 白桦、山杨中令林林分生长和抚育技术[J]. 河北林业科技, 1980, (2): 29~43.
- [51] 陈冬基. 杉木林的抚育效果[J]. 浙江林学院学报, 1984, 1(1): 31~40.
- [52] 贺眉寿. 马尾松飞播造林林分抚育试验[J]. 四川林业科技, 1987, (4): 55~60.
- [53] 徐六一, 虞沐奎. 湿地松人工林间伐效应的研究[J]. 安徽农业学报, 2001, 28(4): 417~421.
- [54] 方海波, 田大伦. 间伐后杉木人工林生态系统生物产量的动态变化[J]. 中南林学院学报, 1999,

- 19(1): 16~19.
- [55] 王国良. 不同采集作业措施对马尾松幼林生长的影响[J]. 应用研究林业科技开发, 2000, 14(4): 21~23.
- [56] 杨文化, 潘紫重, 丁淑英. 退耕还林地人工幼林抚育技术[J]. 东北林业大学学报, 2002, 30(5): 22~23.
- [57] Zachara T. The influence of selective thinning on the social structure of the young scots pine stand[R]. Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa Seria A, 2000, 3:35~61.
- [58] 姚茂和, 盛炜彤, 熊有强. 杉木林林下植被及其生物量的研究[J]. 林业科学, 1991, 27(6): 644~648.
- [59] 盛炜彤, 范少辉. 人工林长期生产力保持机制研究的背景、现状、和趋势[J]. 林业科学研究, 2004, 17(1): 106~115.
- [60] 杨承栋, 焦如珍, 屠星南, 等. 发育林下植被是恢复杉木人工林地力的重要途径[J]. 林业科学, 1995. 31(3): 276~283.
- [61] 熊有强, 盛炜彤, 曾满生. 不同间伐强度杉木林下植被发育及生物量研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(4): 408~412.
- [62] 雷相东. 东北过伐林区森林类型和采伐对物种和林分结构多样性的影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2000.
- [63] 李春明, 杜纪山, 张会儒. 抚育间伐对森林生长的影响及其模型研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(5): 636~641.
- [64] 毛志宏, 朱教君, 刘足根, 等. 间伐对落叶松人工林内草本植物多样性及其组成的影响[J]. 生物学杂志, 2006, 25(10): 1201~1207.
- [65] Smith H C, Miller G W. Managing Appalachian hardwood stands using four regeneration practice-34 years results[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 1987, 4:180~185.
- [66] Niese J N, trong T F. Economic and tree diversity trade-offs in managed northern hardwoods[J]. Canadian Journal of Forest Research 1992, 22(11):1807~1813.
- [67] Kammesheidt L. Effect of selective cutting to tropical rainforest bio-diversity in Venezuela [J]. Forestarchiv, 1996, 67(1):14~24.
- [68] 方海波, 田大伦, 康文星. 杉木人工林间伐后林下植被生物量的研究[J]. 中南林学院学报, 1998, 18(1): 5~9.
- [69] Bailey J D. Montane Alternative Silvicultural Systems (MASS): Establishing and managing a mufti-disciplinary, multi-partner research site [J]. Forestry Ecology and Management, 1998, 112(3):289~302.
- [70] 任立忠, 罗菊春, 李新彬. 抚育采伐对山杨次生林植物多样性影响的研究[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(4): 14~17.
- [71] 雷向东, 陆元昌, 张会儒, 等. 抚育间伐对落叶松云冷杉混交林的影响[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 78~85.
- [72] Gilliam F S, Turrill N L, Adams M B. Herbaceous layer and overstory species in clearcut and central Appalachian hardwood forest [J]. Ecology Applications, 1995, 5(4):947~955.

- [73] Reader R J, Bricker B D. Value of selectively cut deciduous forest for understory herb conservation: an experiment assessment[J]. *Forestry Ecology and Management*, 1992, 51: 317~327.
- [74] 李春义, 马履一, 王希群, 等. 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.
- [75] 马履一, 李春义, 王希群, 等. 不同强度间伐对北京山区油松人工林生长及其林下植物多样性的影响[J]. *林业科学*, 2007, 43(5): 1~9.
- [76] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科技出版社, 2002, 23~33.
- [77] 蒋庆琅. 实用统计分析方法[M]. 北京: 北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 1998, 210.
- [78] 蔡晓明. 生态系统生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [79] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法(I)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [80] 王庆锁, 冯宗伟, 罗菊春. 河北北部、内蒙古东部森林草原交错带生物多样性研究[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 141~146.
- [81] 王婷. 山侧柏人工林群落结构、生物量及物种多样性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2000.
- [82] 王献溥, 刘玉凯. 生物多样性的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [83] 邢韶华, 林大影, 袁秀, 等. 北京山区植物多样性保护区域规划研究[J]. *林业调查规划*, 2005, 30(6): 1~5.
- [84] Cody M L. Bird diversity components within and between habitats in Australia. In: Ricklefs R E, D Schluter, eds. *Species Diversity in Ecological Communities: historical and geographical perspectives*[M]. Chicago: The University of Chicago Press, 1993.
- [85] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [86] 周红章. 物种与物种多样性[J]. *生物多样性*, 2000, 8(2): 215~226.
- [87] Brown J H. Mammals on mountainside: elevational patterns of diversity[J]. *Global Ecology & Biogeography*, 2001, 10: 101~109.
- [88] Kuben, J A, Bolger D T, Peart D R, et al. Understory herb assemblages 25 and 60 years after clearcutting of a northern hardwood forest[J]. *Conservation Biology*, 1999, 90: 203~215.
- [89] Simpson E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163~688.
- [90] Magurran A E. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [91] Pielou E C, 卢泽愚译, 1969, 数学生态学引论[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [92] 童雀菊, 张述垠. 抚育间伐对北美短叶松的生长及材质的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2005, 29(6): 73~16.
- [93] 姚克平. 马尾松人工林不同抚育间伐强度的生长效应研究[J]. *湖北林业科技*, 2006, (3): 10~12.
- [94] 曹云, 杨劼, 宋炳煜, 等. 人工抚育措施对油松林生长及结构特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(3): 397~402.
- [95] 叶镜中, 孙多. 森林经营学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- [96] 孙时轩. 造林学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.

- [97] 张纪卯, 陈文荣, 朱炜, 等. 桐棉马尾松不同密度的抚育强度试验初报[J]. 福建林业科技, 2001, 28(1): 72~75.
- [98] 贾忠奎. 北京山区油松侧柏生态公益林抚育效果研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.

## 在读期间发表的学术论文

- 1 李校, 耿凤娟, 孟东霞, 徐国巧, 等. 不同森林生物多样性及影响因子研究[J]. 河北林果研究, 2007, 22(2): 130~133.
- 2 徐国巧, 李校, 武会欣, 等. 河北省非公有制林业税费体制分析[J]. 河北林果研究, 2008, 23(2). (见录用通知)

## 稿件录用证明

**徐国巧同志:**

您好! 您撰写的论文《河北省非公有制林业税费体制分析》已通过我部及同行审稿专家审查, 拟定于《河北林果研究》上发表, 请勿他投。

**感谢您的支持!**



## 作者简介

姓 名：徐国巧

性 别：女

出生年月：1982.9

籍 贯：河北省晋州市

毕业院校：河北农业大学

学 历：农学硕士

学习或工作经历：

2001.9~2005.7 河北农业大学现代科技学院 获得农学学士学位

2005.9~2008.6 河北农业大学林学院 攻读农学硕士学位

参与科研项目：

1 “北京市森林健康试验及示范项目”

2 “冀北山地针叶商品林高效可持续经营技术研究”

已发表论文及书籍：

参编书籍：

《雾灵山森林生物多样性及生态服务功能仿真研究》 参编 中国农业出版社 2006年11月出版.

论 文：

1 李校, 耿凤娟, 孟东霞, 徐国巧, 等. 不同森林生物多样性及影响因子研究[J]. 河北林果研究, 2007, 22(2): 130~133.

2 徐国巧, 李校, 武会欣, 等. 河北省非公有制林业税费体制分析[J]. 河北林果研究, 2008, 23(2). (见录用通知)

## 致 谢

本文是在导师李永宁副教授、谷建才教授悉心关怀和精心指导下完成的。在三年的学习中，无不渗透着导师的心血。导师对我的学习、研究方向、选题命题、研究方案等各个环节无不蕴含他们辛勤的汗水和对我殷切的期望。导师不倦的教诲使我在森林经理领域的知识得到了极大的丰富，在认识上、技能上乃至经验上都有了飞跃性的提高。导师博大精深的学术造诣、治学严谨的工作态度、不断进取的学习精神将使我享用终生。是我取之不尽、用之不竭的精神源泉。导师的精神必将鼓舞我在今后的工作学习中不断进取、勇于奋进！导师处处为人师表，工作兢兢业业、学术精益求精，严于律己、宽以待人、严谨敏锐、一丝不苟的科学风范，令我敬仰。在论文完成之际，谨向导师三年来对我的宽容、理解、支持、关怀表示由衷的感激！师恩难忘！

在课题的研究过程中，得到河北省林业局白顺江副局长、河北省林业调查规划设计院腾起和院长、河北农业大学陈东来教授、黄选瑞教授、黄冬梅教授的悉心指导和热心的帮助。对论文中存在的问题，提出了中肯、宝贵的意见和建议。在此表示深深的谢意！

在外业调查过程中，得到了木兰林管局党委书记徐成立、木兰林管局田国恒、曹运强副局长、尤立权科长、八英庄林场场长李军、副场长隋玉龙、山湾子林场场长李艳山、副场长兰永生、木兰林管局设计院郭万军、木兰林管局陈继东的精心指导和大力支持，并得到木兰林管局其它工作人员在生活上的悉心照顾，在这里一并致以我最崇高的谢意。

我的师兄师姐武会欣、张宏芝、李校、王雄宾、李永杰、张建华、刘常玲，同学陆华丽、周伟、刘澄、张锁成、牛战勇、付晓燕，师弟师妹于景金、李伟伟、陈瑜、陈平、彭志杰等在三年的学习和生活过程中，相互扶持，互帮互助，从他们的身上也学到了不少知识和做人的道理，也使我可以顺利的完成学业。在此对他们表示深深的谢意。

在三年硕士期间，家人对我的学习和生活给予了最大的理解和支持，使我能安心学业、潜心科研，向他们的无私奉献表示衷心的感谢！

最后，感谢所有帮助和支持我的人，谢谢你们，在以后的日子里，我会更加努力，不辜负你们的期望！

徐国巧

2008年6月