

连栽马尾松人工林土壤肥力比较研究

何佩云^{1,2}, 丁贵杰^{1*}, 谌红辉³

(1. 贵州大学造林生态研究所, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州师范大学生命科学学院, 贵州 贵阳 550001;
3. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

摘要:采用配对样地法,以不同栽植代数(1、2代)、不同发育阶段(8、15、18、20 a)的马尾松人工林为对象,研究了连栽幼龄林、中龄林土壤肥力的变化情况。结果表明:连栽后,无论是幼龄林还是中龄林,林地土壤密度趋于下降,土壤总孔隙度和含水率则呈上升趋势,林地土壤物理性质得到改善,且中龄林20~40 cm层土壤密度和总孔隙度在1、2代间的差异达显著水平;连栽后,林地土壤全K、全Mg及pH值趋于下降,而有机质、全N、全P、全Ca及速效N、P、K养分均呈上升趋势,且幼龄林0~20 cm层土壤有效P含量以及土壤pH值、中龄林0~20 cm层土壤水解N含量以及土壤全N、有效P、速效K、全K含量在1、2代间的差异达显著或极显著水平。连栽后,幼龄林和中龄林土壤全Fe、Al、Cu、Zn、Mn含量均呈下降趋势,且Mn含量在1、2代幼龄林和中龄林间的差异达显著水平。

关键词:马尾松;连栽;人工林;土壤肥力;地力衰退

中图分类号: S791.248

文献标识码: A

Comparison on Soil Fertilities of Masson Pine Plantations of Different Generations

HE Pei-yun^{1,2}, DING Gui-jie¹, CHEN Hong-hui³

(1. Institute of Siviculture and Ecology, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. College of life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, Guizhou, China;

3. Experimental Centre of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Gangxi, China)

Abstract: The changes of soil fertilities on young and half-mature Masson pine (*Pinus massoniana*) plantations with different generations were studied through the pair method with different generations (1, 2) and ages (8, 15, 18, and 20 a). The results as follows: after successive rotation, regardless of being the young growth or the half-mature forest, the soil density decreased, soil total porosity and soil moisture were on the rise, the soil physical properties was got improvement. The differences of soil density and soil total porosity in 20–40 cm half-mature forest between first and second generation were significant level. After successive rotation, the total K, total Mg and pH were declining, while the organic matter, total N, total P, total Ca and alkaline hydrolysis N, available P, available K were on the rise, and the differences of available P in 0–20 cm young forest and pH, the differences of alkaline hydrolysis N in 0–20 cm half-mature forest and total N, available P, available K, total K between first and second generation were significant or most significant level. The soil total Fe, Al, Cu, Zn, and Mn contents in young and half-mature forest were declining, and the differences of total Mn contents in young and half-mature forest between first and second generation reached significant level.

Keywords: *Pinus massoniana*; successive rotation; plantation; soil fertility; soil fertility degradation

收稿日期: 2010-05-31

基金项目: 国家科技支撑(2006BAD24B0301); 贵州省特助人才计划(TZJF-2007年20号)及重大专项(黔科合重大专项字20086010)课题资助

作者简介: 何佩云(1975—),女,博士研究生,副教授,主要从事植物生理生态方面的教学与研究。

*通讯作者: 男,教授,博士生导师,主要从事森林培育和人工林稳定性研究。E-mail: guijieding@yahoo.com.cn

随着世界范围内人工林面积的不断扩大,以及人类不合理的经营,致使世界范围内人工林地力衰退现象十分严重。我国主要造林树种杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、落叶松(*Larix gmelini* (Rupr.) Kuzeneva)、桉树(*Eucalyptus* spp.)等产生了较明显的地力衰退^[1-4]。马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)是我国松属树种中分布最广的乡土工业用材树种(21°41'~33°56'N,102°10'~123°14'E),广泛分布于全国17个省(市、区),它具有适生能力强、速生、丰产、用途广泛等优点,是南方最主要用材树种之一^[5]。因此,一些学者对其栽培技术、合理采伐年龄、优化模式等做了较深入系统的研究^[6-9];但马尾松能否连栽?以及连栽后林地土壤理化性质是否恶化、生产力是否下降等相对研究较少^[10-14],且研究多集中在连栽对生长、对土壤特性影响方面,而从生态系统的角度,较系统的研究不同连栽代数及不同林龄林地土壤肥力变化特点的研究相对较少。因此,本研究以不同栽植代数(1、2代)、不同发育阶段(8、15、18、20 a)的马尾松人工林为对象,开展不同栽植代数林地土壤肥力的比较研究,以揭示不同栽植代数土壤肥力的变化规律,进而探讨马尾松连栽是否引起林地土壤肥力发生衰退?这对于今后马尾松人工林的经营、林地养分管理等均具有重要指导意义。

1 研究样地概况

研究样地位于广西凭祥市热带林业实验中心伏波实验场、广西壮族自治区忻城县欧洞林场以及贵

州龙里林场。伏波调查样地位于106°43'E,22°06'N,属南亚热带季风气候区,年平均气温19.9℃,年降水量1400mm;海拔500~600m,低山地貌,土壤为花岗岩发育形成的红壤,土层厚在1m以上,林下植被主要有五节芒、鸭脚木、东方乌毛蕨、白茅等,林下植被盖度大。

欧洞林场位于广西忻城县北端,地处108°42'~108°49'E,24°14'~24°19'N,属南亚热带气候区,年平均气温19.3℃,年均降水量1445.2mm;整个场区多属低山丘陵地貌,样地所在处海拔310~500m;土壤主要是石英砂岩发育形成的红壤,土层较薄,林下植被主要有东方乌毛蕨、五节芒、小叶海金沙、南方荚蒾等,林下植被盖度较低。

贵州龙里林场地处106°53'E,26°28'N,气候为中亚热带温和湿润类型,年平均气温14.8℃,年降水量1089.3mm,年均相对湿度79%;试验地海拔高度在1213~1330m,地貌为低山,土壤是石英砂岩发育形成的黄壤,林下植被主要有茅栗、小果南烛、铁芒箕、白栎等,林下植被盖度低。

2 研究方法

2.1 标准地的选设

试验采用配对样地法(严格要求所配样地的立地类型相同、立地质量相近),选择不同栽植代数(1、2代)、不同发育阶段(8、9、15、18、20 a)的马尾松人工林为研究对象,共选取7组配对样地,分别用A₁、A₂、C₁、C₂……、I₁、I₂表示,其中,8、9年生林分属幼龄林,15、18、19、20年生5组样地属中龄林(表1)。

表1 试验样地概况

样地号	代数	地点	母岩	海拔/m	林龄/a	坡向	坡位	土壤密度 /(g·cm ⁻³)	腐殖质 厚度/cm	平均胸径 /cm	平均树高 /m	现存密度 /(株·hm ⁻²)
A ₁	1代	伏波站	花岗岩	591	8	南坡	上坡	1.28	12.0	13.3	8.4	1683
A ₂	2代	锡土矿	花岗岩	519	8	南坡	上坡	1.24	16.0	14.7	9.4	1433
C ₁	1代	更达	砂岩	460	9	西北坡	下坡	1.41	9.0	7.8	7.2	2100
C ₂	2代	坳水塘	砂岩	375	9	西北坡	下坡	1.30	12.0	11.3	7.9	1850
D ₁	1代	八亩地	砂岩	339	15	全坡向	无	1.42	2.0	17.6	16.2	933
D ₂	2代	干水库	砂岩	358	15	全坡向	无	1.36	5.0	18.4	14.2	833
E ₁	1代	西南桦	花岗岩	557	15	东北坡	下坡	1.40	16.0	19.4	13.0	1083
E ₂	2代	新路下	花岗岩	546	15	东北坡	下坡	1.27	17.0	20.3	12.3	900
F ₁	1代	双电杆	砂岩	1250	18	东南坡	下坡	1.28	6.0	12.0	13.2	1933
F ₂	2代	子妹坡	砂岩	1330	18	东南坡	下坡	1.19	9.0	15.9	16.3	1550
G ₁	1代	春光	砂岩	1213	19	西北坡	下坡	1.31	3.0	18.4	14.4	1116
G ₂	2代	沙坝	砂岩	1280	19	西北坡	下坡	1.22	5.0	15.6	15.1	1233
I ₁	1代	岔路口	花岗岩	580	20	北坡	下坡	1.27	13.0	22.8	16.0	850
I ₂	2代	水厂	花岗岩	541	20	北坡	下坡	1.20	20.0	18.4	18.1	1233

注:A₁、A₂、C₁、C₂……、I₁、I₂分别代表不同林龄的1、2代配对样地。土壤密度为0~20cm和20~40cm两层的平均值。

2.2 样地调查及样品采集

在林相基本一致的林分内,选择代表性强的地

段设置标准地,共设标准样地7组。标准样地面积为600m²。在标准地内按正规调查方法,进行每木

检尺和按径阶测树高,然后计算各林分测树因子。按S形多点混合采样法,分别0~20、20~40 cm土层采样,进行土壤化学性质及土壤微量元素分析;另用环刀取原状土测定土壤密度、孔隙度等主要土壤物理性质。

2.3 土壤肥力指标测定方法

土壤密度测定:环刀法;土壤有机质:重铬酸钾氧化-外加法;全N:凯氏法;水解N:碱解-扩散法;全P:氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法;有效P:0.05 mol·L⁻¹ HCl-0.025 mol·L⁻¹ 1/2 H₂SO₄ 浸提法;全K:氢氧化钠碱熔-火焰光度计法;有效K:乙酸浸提-火焰光度计法;土壤pH值:水浸-酸度计测定;土壤全Ca、Mg测定:Na₂CO₃ 熔融—原子吸收分光光度法;土壤全Fe测定:Na₂CO₃ 熔融—邻啡罗啉比色法;土壤全Cu、Zn、Mn测定:原子吸收分光光度法;土壤全Al测定:Na₂CO₃ 熔融—氟化钾取代 ETDA 容量法^[15-17]。

2.4 数据统计分析

采用EXCEL和SPSS13.0进行数据统计和one-way ANOVA分析。

3 结果与分析

3.1 不同龄林、不同代数土壤主要物理性质比较

土壤密度说明土壤的松紧程度及孔隙状况,反映土壤的透水性、通气性和根系生长的阻力状况,是土壤物理性质的一个重要指标^[18]。连栽对不同龄

林、不同代数马尾松林土壤密度均产生一定影响,从表2可看出:对幼龄林和中龄林,1代与2代相比,相同层次林地土壤密度均表现出下降趋势,其中幼龄林0~20、20~40 cm层土壤密度2代较1代分别下降4.65%和6.43%;中龄林0~20、20~40 cm层土壤密度2代较1代分别下降10.40%和12.68%,且中龄林20~40 cm层土壤密度在1、2代间的差异达显著水平,这是由于连栽,在土壤中存留了较多根系,加之根系的长期穿串作用。从不同土层看,无论是幼龄林,还是中龄林,土壤密度均表现出0~20 cm层<20~40 cm层,导致这种现象的出现,主要是因为上层含有大量有机质及植物根系,所以土壤密度较小,随着下层土壤有机质含量的减少,矿质比例增加,密度也有所增大。

土壤孔隙的大小、数量及分布是土壤物理性质的基础,也是评价土壤结构特征的重要指标,它的组成直接影响土壤的通气、透水性和根系穿插的难易程度,并且对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节功能^[19]。由表2可知:对幼龄林和中龄林,随栽植代数增加,土壤总孔隙度均呈上升趋势,其中幼龄林0~20、20~40 cm层土壤总孔隙度2代较1代分别上升4.46%和7.15%;而中龄林0~20、20~40 cm层土壤总孔隙度2代较1代分别上升9.68%和14.30%,且中龄林20~40 cm层土壤总孔隙度在1、2代间的差异达显著水平。土壤总孔隙度在不同龄林均随土层深度的增加而减小。

表2 连栽马尾松林地土壤主要物理性质的比较

林龄	土层/cm	项目	1代	2代	F值
幼龄林	0~20	土壤密度/(g·cm ⁻³)	1.29±0.06	1.23±0.02	0.809
		总孔隙度/%	51.57±2.36	53.87±0.56	0.895
		自然含水率/%	19.56±1.74	20.85±3.57	0.105
	20~40	土壤密度/(g·cm ⁻³)	1.40±0.06	1.31±0.04	1.296
		总孔隙度/%	47.44±2.42	50.83±1.63	1.350
		自然含水率/%	20.37±3.61	20.75±5.09	0.004
中龄林	0~20	土壤密度/(g·cm ⁻³)	1.25±0.02	1.12±0.08	2.312
		总孔隙度/%	52.71±1.05	57.81±3.16	2.335
		自然含水率/%	21.30±2.43	26.33±1.92	2.629
	20~40	土壤密度/(g·cm ⁻³)	1.42±0.04	1.24±0.08	3.506*
		总孔隙度/%	46.57±1.38	53.23±3.26	3.536*
		自然含水率/%	24.42±1.96	27.10±1.95	0.941

注:“*”表示5%水平差异显著,“**”表示1%水平差异显著,下同。

土壤含水量能较好地反映土壤水分和林内湿润状况,是土壤孔隙状况与持水能力的综合体现。连栽使林地土壤保水持水性得到提高(表2)。总

体看,无论是幼龄林还是中龄林,2代林地土壤含水量均高于1代,其中幼龄林0~20、20~40 cm层土壤含水率2代较1代分别上升6.60%和

1.87% ;而中龄林 0~20、20~40 cm 层土壤含水率 2 代较 1 代分别上升 23.62% 和 10.97% ,但差异均不显著。

上述结果表明:通过连栽可较好地改变林地土壤的物理性质,特别是 0~20 cm 层土壤。由于马尾松根系的分布,特别是侧根的分布主要在 0~20 cm,对该层土壤的物理性质起到了较好的改良作用。因此,土壤密度有了较明显下降,在密度降低的

同时,土壤的通气、透水性能也相应得到改善,这些变化对 2 代马尾松的生长非常有利,杨承栋等^[13]在作这方面研究时,也曾得出类似结论。

3.2 不同龄林、不同代数土壤化学性质比较

一般而言,土壤养分供应容量和强度与植物生长速度相关性较大,特别是对主要依靠土壤自然肥力的林木生长尤为明显^[19-20]。从表 3 可看出:连栽后,马尾松幼龄林和中龄林土壤除全 K、全 Mg 2 代

表 3 连栽马尾松林地土壤化学性质的比较

林龄	土层/cm	项目	1 代	2 代	F 值
幼龄林	0~20	有机质/(g·kg ⁻¹)	14.35±5.80	19.62±0.30	0.822
		水解 N/(mg·kg ⁻¹)	64.70±20.14	94.30±19.18	1.132
		全 N/(g·kg ⁻¹)	0.73±0.03	1.02±0.19	2.370
		有效 P/(mg·kg ⁻¹)	2.30±0.09	2.50±0.05	3.774*
		全 P/(g·kg ⁻¹)	0.53±0.01	0.58±0.01	2.200
		速效 K/(mg·kg ⁻¹)	123.37±37.03	159.99±61.63	0.259
		全 K/(g·kg ⁻¹)	1.79±0.18	1.55±0.05	1.744
		全 Ca/(g·kg ⁻¹)	2.75±1.52	3.12±1.69	0.026
		全 Mg/(g·kg ⁻¹)	1.64±0.47	1.04±0.24	1.260
	pH 值	5.68±0.04	5.40±0.04	4.500*	
	20~40	有机质/(g·kg ⁻¹)	11.09±3.83	14.16±6.55	0.164
		水解 N/(mg·kg ⁻¹)	55.59±18.68	63.81±7.51	0.167
		全 N/(g·kg ⁻¹)	0.48±0.11	0.64±0.03	2.283
		有效 P/(mg·kg ⁻¹)	2.20±0.02	2.33±0.12	1.246
		全 P/(g·kg ⁻¹)	0.45±0.03	0.52±0.03	1.722
		速效 K/(mg·kg ⁻¹)	90.95±4.85	112.48±24.86	0.723
		全 K/(g·kg ⁻¹)	1.53±0.01	1.43±0.09	1.220
		全 Ca/(g·kg ⁻¹)	2.35±1.42	3.05±2.03	0.080
		全 Mg/(g·kg ⁻¹)	1.39±0.09	1.10±0.28	0.974
pH 值	5.86±0.01	5.49±0.03	9.520*		
中龄林	0~20	有机质/(g·kg ⁻¹)	13.67±2.20	18.40±1.95	2.577
		水解 N/(mg·kg ⁻¹)	60.89±7.21	86.31±2.42	11.151**
		全 N/(g·kg ⁻¹)	0.73±0.19	1.05±0.06	4.897*
		有效 P/(mg·kg ⁻¹)	2.46±0.07	2.65±0.10	4.287*
		全 P/(g·kg ⁻¹)	0.43±0.06	0.56±0.08	1.603
		速效 K/(mg·kg ⁻¹)	107.96±12.15	144.57±14.61	3.708*
		全 K/(g·kg ⁻¹)	1.91±0.21	1.54±0.09	3.579*
		全 Ca/(g·kg ⁻¹)	1.57±0.66	2.11±0.03	0.659
		全 Mg/(g·kg ⁻¹)	2.45±0.66	1.52±0.34	1.529
	pH 值	5.35±0.10	5.15±0.11	1.767	
	20~40	有机质/(g·kg ⁻¹)	10.36±2.13	13.32±1.12	1.513
		水解 N/(mg·kg ⁻¹)	49.04±10.36	60.13±4.76	0.947
		全 N/(g·kg ⁻¹)	0.40±0.04	0.55±0.05	3.575*
		有效 P/(mg·kg ⁻¹)	2.19±0.04	2.37±0.05	6.583*
		全 P/(g·kg ⁻¹)	0.35±0.05	0.45±0.07	1.203
		速效 K/(mg·kg ⁻¹)	96.15±9.64	122.61±10.27	3.523*
		全 K/(g·kg ⁻¹)	1.61±0.11	1.30±0.06	6.091*
		全 Ca/(g·kg ⁻¹)	1.24±0.53	1.73±0.19	0.759
		全 Mg/(g·kg ⁻¹)	2.54±0.67	1.73±0.38	1.092
pH 值	5.60±0.11	5.35±0.06	3.455		

低于 1 代外,其余土壤全量养分及速效养分均呈上升趋势,其中,幼龄林 0~20、20~40 cm 层土壤有机质、全 N、全 P 和全 Ca 2 代较 1 代分别上升 36.72%、39.73%、9.43%、13.45%、27.68%、

33.33%、15.56%、29.79% ;0~20、20~40 cm 层土壤水解 N、有效 P 和速效 K 2 代较 1 代分别上升 45.75%、8.70%、29.68% 和 14.79%、5.91%、23.67% ,而 0~20、20~40 cm 层土壤全 K 和全 Mg

2代较1代分别下降13.41%、36.59%和6.54%、20.86%,且0~20 cm层土壤有效P在1、2代间的差异达显著水平。

中龄林0~20、20~40 cm层土壤有机质、全N、全P和全Ca 2代较1代分别上升34.60%、43.84%、30.23%、34.39%和28.57%、37.50%、28.57%、39.52%;0~20、20~40 cm层土壤水解N、有效P和速效K 2代较1代分别上升41.75%、7.72%、33.91%和22.61%、8.22%、27.52%;而0~20、20~40 cm层土壤全K和全Mg 2代较1代分别下降19.37%、37.96%和19.25%、31.89%。1、2代中龄林0~20 cm与20~40 cm的全N、有效P、速效K和全K的含量的差异均达显著水平,0~20 cm的土壤水解N在1、2代间的差异也达显著水平。2代土壤中,有机质与其它养分增加较快的原因与1代林腐殖质层薄、有机质含量低有关(表1),而先锋树种马尾松在瘠薄土壤上有提高土壤有机质、增加土壤肥力的作用。

从表3还可看出:连栽后,幼龄林和中龄林的土壤pH值均趋于下降,其中,幼龄林0~20、20~40 cm层土壤pH值2代较1代分别下降4.93%和

6.31%,中龄林0~20、20~40 cm层土壤pH值2代较1代分别下降3.74%和4.46%,且幼龄林土壤pH值在1、2代间的差异达显著水平。

马尾松连栽能有效提高土壤有机质含量和养分供给能力,土壤肥力有一定改善和提高,未出现土壤肥力明显下降现象;但连栽后林地土壤pH值略有下降,这可能会加剧南方山地土壤的酸化。2代林分土壤全K和全Mg含量比1代有所下降,这可能与1、2代林下植被种类、凋落物的数量及化学组成以及土壤风化速度等因素有关,而这些因素又直接影响土壤养分的贮量及有效性等。

3.3 不同龄林、不同代数土壤微量元素比较

土壤是森林生态系统中相对稳定的组成要素,是微量元素的重要来源,也是微量元素迁移、转化和积累的重要场所。土壤中微量元素的含量,既与母岩和成土母质有密切的关系,又受到局部地形和生物地球化学循环的深刻影响。马尾松生长发育所需的微量元素主要来自土壤,故土壤中微量元素的含量对马尾松生长有重要影响。土壤中微量元素全量,主要与成土母质有关,同时受成土过程的淋洗、风化及植物吸收富集、归还等因素影响^[21]。

表4 连栽马尾松林地土壤微量元素的比较

林龄	土层/cm	微量元素	1代	2代	F值
幼龄林	0~20	全Fe/(g·kg ⁻¹)	51.45±16.37	33.05±20.21	0.501
		全Al/(g·kg ⁻¹)	127.21±67.08	94.20±60.35	0.134
		全Cu/(mg·kg ⁻¹)	22.72±2.05	18.77±4.79	0.575
		全Zn/(mg·kg ⁻¹)	67.04±0.82	55.07±8.23	2.093
		全Mn/(mg·kg ⁻¹)	83.07±12.52	48.22±9.48	4.928*
	20~40	全Fe/(g·kg ⁻¹)	57.40±20.18	36.29±18.51	0.594
		全Al/(g·kg ⁻¹)	146.63±77.57	101.78±56.75	0.218
		全Cu/(mg·kg ⁻¹)	24.60±3.67	22.25±4.14	0.181
		全Zn/(mg·kg ⁻¹)	82.19±1.68	64.57±12.27	2.024
		全Mn/(mg·kg ⁻¹)	113.31±16.45	58.80±16.16	5.585*
中龄林	0~20	全Fe/(g·kg ⁻¹)	64.60±14.03	44.06±10.54	1.370
		全Al/(g·kg ⁻¹)	139.76±34.29	97.58±31.51	0.820
		全Cu/(mg·kg ⁻¹)	23.07±4.20	16.22±2.81	1.838
		全Zn/(mg·kg ⁻¹)	71.40±9.70	42.80±12.81	3.167*
		全Mn/(mg·kg ⁻¹)	90.51±12.59	56.94±12.74	3.508*
	20~40	全Fe/(g·kg ⁻¹)	71.90±13.79	50.45±11.95	1.382
		全Al/(g·kg ⁻¹)	165.72±33.81	111.80±37.18	1.151
		全Cu/(mg·kg ⁻¹)	26.77±4.85	17.16±3.27	2.697
		全Zn/(mg·kg ⁻¹)	86.88±11.18	52.60±10.68	4.912*
		全Mn/(mg·kg ⁻¹)	128.78±19.11	78.55±22.42	3.906*

从表4可看出:连栽后,幼龄林和中龄林土壤微量元素含量均呈下降趋势,尤为全Zn、Mn表现最为明显,其中,幼龄林0~20、20~40 cm层土壤的全Fe、Al、Cu、Zn和Mn含量2代较1代分别下降35.76%、25.95%、17.39%、17.86%、41.95%和

36.78%、30.59%、9.55%、21.44%、48.11%,且Mn含量在1、2代间的差异达显著水平。

中龄林0~20、20~40 cm层土壤的全Fe、Al、Cu、Zn和Mn含量2代较1代分别下降31.80%、30.18%、29.69%、40.06%、37.09%和29.83%、

32.54%、35.90%、39.46%、39.00%，且 Zn、Mn 含量在 1、2 代间的差异达显著水平。

上述分析表明：在马尾松的生长过程中，对土壤中微量元素的要求是比较高的。

4 小结与讨论

(1) 马尾松连栽可以较好地改变林地土壤的物理性质，连栽后，无论是幼龄林还是中龄林，林地土壤密度均表现出下降趋势，而土壤总孔隙度、含水率则呈上升趋势，且中龄林 20~40 cm 层土壤密度和总孔隙度在 1、2 代间的差异达显著水平。

(2) 连栽后，无论是幼龄林还是中龄林，林地土壤全 K、全 Mg 及 pH 值均趋于下降，而有机质、全 N、全 P、全 Ca 及速效 N、P、K 均呈上升趋势，且幼龄林 0~20 cm 层土壤有效 P 含量以及 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤 pH 值、中龄林 0~20 cm 层土壤水解 N 含量以及 0~20 cm 和 20~40 cm 土壤全 N、有效 P、速效 K、全 K 含量在 1、2 代间的差异达显著或极显著水平。

(3) 连栽后，幼龄林和中龄林土壤微量元素含量均呈下降趋势，尤其全 Zn、Mn 表现最明显，且幼龄林 Mn 含量以及中龄林 Zn、Mn 含量在 1、2 代间的差异达显著水平。

关于连栽后林地土壤微量元素含量 2 代明显比 1 代低，尤其是 Mn 含量，中、幼龄林，随栽植代数的增加和林分的长时间生长，更趋于缺乏的现象，可能与连栽后 1、2 代林下的植被类型不同、营养元素归还速度不同及林木的选择吸收等因素有关。通过对 1、2 代幼、中龄林树高生长的分析比较，2 代幼、中龄林平均树高生长较 1 代分别提高 10.81% 和 4.75%，树高生长 2 代总体比 1 代高，表明 2 代林分生长较快，加快了从土壤中吸收各种营养元素，而马尾松在连栽时，尽管有大量的枯落物归还，但枯落物中养分元素循环速率较慢，而马尾松在生长过程中，对微量元素要求较高，因此，微量元素的消耗呈不断累积性增加，故连栽后微量元素出现下降现象。本课题组的另一项研究表明^[22]：马尾松针叶凋落前后各养分转移率不同，5 种大量元素 N、P、K、Ca、Mg 的平均转移率分别为：54.56%、64.60%、80.22%、-66.32%、19.46%；4 种微量元素 Fe、Mn、Zn、Cu 的平均转移率分别为：-90.31%、-51.80%、-10.50%、-20.60%。除 Ca 外，4 种大量元素均表现为正值，它们发生了转移，而 Ca 和 4 种微量元

素则表现为负值，它们未发生转移或发生负转移，这一点也可能是引起马尾松连栽后大量元素未发生衰退而微量元素出现下降现象的主要原因。因此，对连栽马尾松林增施各种微量元素对于提高林木生长、防治地力衰退是很有必要的。

参考文献：

- [1] 林开敏,俞新妥. 杉木人工林地力衰退与可持续经营[J]. 中国生态农业学报,2001,9(4):39-42
- [2] 盛炜彤. 我国人工林地力衰退及防治对策. 人工林地力衰退研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992:15-19
- [3] 黄玉梅. 桉树人工林地力衰退及其成因评述[J]. 西部林业科学,2004,33(4):21-26
- [4] 杨承栋,张小泉,焦如珍,等. 杉木连栽地土壤组成、结构、性质变化及其对杉木生长的影响[J]. 林业科学,1996,32(2):175-181
- [5] 周政贤. 中国马尾松[M]. 北京:中国林业出版社,2001
- [6] 湛红辉,丁贵杰. 马尾松造林密度效应研究[J]. 林业科学研究,2004,17(1):92-98
- [7] 温佐吾,孟永庆. 造林技术措施对 10 年生马尾松幼林生长的影响[J]. 林业科学研究,1999,12(5):493-499
- [8] 丁贵杰. 贵州马尾松人工建筑材林合理采伐年龄研究[J]. 林业科学,1998,34(3):40-46
- [9] 丁贵杰,吴协保,王鹏程. 马尾松纸浆材林经营模型系统及优化栽培模式研究[J]. 林业科学,2002,38(5):7-13
- [10] 蔡琼,丁贵杰. 黔中地区连栽马尾松对土壤微生物的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(3):131-133
- [11] 温佐吾. 不同密度 2 代连栽马尾松人工林生产力水平比较[J]. 浙江林学院学报,2004,21(1):22-27
- [12] 何佩云,丁贵杰. 猴樟、鹅掌楸对马尾松苗木生理活性的他感效应[J]. 浙江林学院学报,2008,25(5):604-608
- [13] 杨承栋,王少元,卢立华,等. 中国主要造林树种土壤质量演化与调控机理[M]. 北京:科学出版社,2009:283-353
- [14] 杨承栋,孙启武,焦如珍. 大青山二代马尾松土壤性质变化与地力衰退关系的研究[J]. 土壤学报,2003,40(2):267-273
- [15] 史瑞和. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1988
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000
- [17] 刘凤枝. 农业环境监测实用手册[M]. 北京:中国标准出版社,2001:104-109
- [18] 史东梅,吕刚,蒋光毅,等. 马尾松林地土壤物理性质变化及抗蚀性研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):35-39
- [19] 林伯群,蒋毓衡,彭志途,等. 土壤学(上册)[M]. 北京:中国林业出版社,1982
- [20] 马祥庆,范少辉,刘爱琴,等. 不同栽植代数杉木人工林土壤肥力的比较研究[J]. 林业科学研究,2000,13(6):577-582
- [21] 盛炜彤,范少辉,马祥庆,等. 杉木人工林长期生产力保持机制研究[M]. 北京:科学出版社,2005:144-148
- [22] 郭峰,周运超. 不同密度马尾松林针叶养分含量及其转移特征[J]. 南京林业大学学报,2010,34(4):93-96