

苏北山丘区森林群落次生演替中土壤物理性质及其持水性能研究^{*}

刘尧让, 于法展, 李淑芬, 李保杰

(徐州师范大学 城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 为了探明苏北山丘区森林次生演替过程中土壤物理性质以及持水性能, 选择该区典型、有代表性的不同演替阶段森林群落, 进行植被调查和土壤分析。结果表明, 该区森林生态系统土壤物理性质随演替时间进展而演变的趋势明显; 同时测定土壤在降雨和干旱时的含水量, 以衡量不同森林群落土壤物理性质差异对森林涵养水源功能的影响。

关键词: 森林次生演替; 土壤物理性质; 持水性能; 苏北山丘区

中图分类号: S152.9; S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0135-05

Research on Physical Properties and Water-holding Capacity of the Soil in Forest Community Secondary Succession in the Northern Hilly Area in Jiangsu

LIU Yao-rang, YU Fa-zhan, LI Shu-fen, LI Bao-jie

(College of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract: In order to find out the soil physical properties and water-holding capacity during the process of forest succession in low mountainous and hilly area of Northern Jiangsu, the vegetation investigation and soil analysis was done by collecting typical, representative, and different succession community vegetation. The results show that the succession of the soil physical properties in the forest ecosystem was significantly along with time; meanwhile, the water content of the soil was measured during rainfall and drought time to measure the difference of the soil physical properties in different forest community which have effect on the function on water conservation.

Key words: forest secondary succession; soil physical properties; water-holding capacity; the northern hilly area in Jiangsu province

在森林群落次生演替过程中, 森林土壤作为森林生态系统的重要组成成分与状态因子, 它的性态会随着森林生态系统各个组分的演变而不断变化, 并具有其自身的特点^[1]。森林土壤在与环境因素的相互作用中发挥着养育森林的功能, 主要体现在森林土壤给生物提供水、肥、气、热及活动的场所。在森林植物的演替过程中, 土壤理化性质随着植物组成和结构的变化而不断演变^[2]。土壤物理性质的演变主要表现在土壤固相、液相和气相结构及功能的变化, 如土壤机械组成、土壤结构、土壤容重和孔隙

度等的差异, 这些指标可以反映土壤的发育程度、土壤肥力状况和土壤的持水性能等。土壤的物理性质可以作为评价和衡量森林生态系统演替过程土壤质量变化、水文功能改变的指标和依据^[3]。

在特定的立地条件下, 森林生态系统的发展和森林植被的演替随着土壤发育进程而逐渐推进的, 系统地研究森林群落次生演替中的土壤物理性质无疑是一项重要的基础性工作。本文研究主要内容就是将苏北山丘区的森林生态系统视为一个整体, 系统研究苏北低山丘陵森林次生演替规律以及演替过

^{*} 收稿日期: 2009-12-02

基金项目: 徐州师范大学科研基金一般项目(09XLB10); 徐州师范大学科研基金重点项目(08XLA10); 徐州师范大学科研基金资助项目(08XLB12)

作者简介: 刘尧让(1969-), 男, 江苏邳州人, 讲师, 主要从事自然地理与环境方面的研究。E-mail: yufazhan@126.com

程中土壤物理性质以及持水性能的变化,对区域森林生态系统的保护以及解决区域森林土壤资源的恢复与发展问题有一定的理论意义与实践价值。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省的东北部和西北部,地理位置为东经 $116^{\circ}22'$ - $119^{\circ}48'$, 北纬 $33^{\circ}43'$ - $35^{\circ}07'$, 属于暖温带季风气候,受东南季风影响较大。年平均气温 $13.1\sim 14.3^{\circ}\text{C}$, 1 月平均气温 $-1.2\sim 0^{\circ}\text{C}$, 7 月平均气温 $26.3\sim 27.0^{\circ}\text{C}$, 极端最高气温 40.6°C , 极端最低气温 -22.6°C ; 年平均降水量 $847.9\sim 958.9\text{ mm}$, 雨季降水量占全年的 56% , 且季节分配不均。该区地势属低山丘陵地带,土壤包括粗骨褐土与淋溶褐土 2 个亚类:粗骨褐土由石灰岩残坡积物发育而成,土层浅薄,砾石或岩屑含量高,主要分布在山体中上部;淋溶褐土成土母质系第四纪黄土,土层深厚,集中出现在山麓地带。该区森林植被包括 2 个植被型、5 个群系组、11 个群系^[4],具体详见表 1(不包括竹林)。其中,赤松(*Pinus densiflora*)林、黑松(*Pinus thunbergii*)林与侧柏(*Platycladus orientalis*)林多为纯林,物种多样性很低,林下灌木层、草本层不甚发育,生长缓慢,病虫害严重,它们是目前该地区低山丘陵上的主要森林类型;栎类林和杂木林是该地区的地带性植被类型,由于人类的长期破

坏,现存面积很小,呈零星分布状态;刺槐(*Robinia pseudoacacia*)林则常为纯林,系人工林,分布较广^[5]。

表 1 苏北山丘区主要森林植被类型^[4]

植被型	群系组(群系)
常绿针叶林	温性松林(1. 赤松林、2. 黑松林)
	侧柏林(3. 侧柏林)
落叶阔叶林	栎类林(4. 栓皮栎林、5. 麻栎林)
	杂木林(6. 青檀、南京椴林 7. 黄连木、黄
	檀木 8. 小叶朴、梧桐林 9. 盐肤木、黄檀
	林 10. 枫香、黄连木林)
	刺槐林(11. 刺槐林)

1.2 样地设置与调查方法

在位于苏北山丘区的前云台山、中云台山、后云台山、锦屏山、皇藏峪、泉山、马陵山等地,选择具有代表性的林地类型(如常绿针叶林、落叶阔叶林)下设置了 8 块测试样地(表 2),调查其上的主要植物种类及地形因子(坡向、坡度、坡形等)。根据实践,其样地面积视植被类型而定,阔叶林取为 $40\text{ m}\times 50\text{ m}$,针叶林取为 $20\text{ m}\times 25\text{ m}$,每块样地设置 3 个重复,各样地的土壤剖面选在靠近测试样地的位置,这样既保证土壤调查的代表性,又不破坏样地的完整性。每块样地内按对角线随机布点挖取一个土壤剖面,调查其相应的土壤性质,并按由下向上的顺序分层取环刀土样和采集混合样(每一土层重复采样 3 次混均),带回实验室分析。

表 2 苏北山丘区各测试样地调查概况

测试样地	植被类型	主要层优势植物种类	郁闭度	盖度/ %	坡向坡度	土壤类型	样地来源
1	温性松林	赤松	0.6~ 0.8	60	NW10°~ 15°	粗骨褐土	云台山
2		黑松	0.6	10	SE10°~ 15°	粗骨褐土	锦屏山
3	侧柏林	侧柏	0.3~ 0.6	60	E15°~ 20°	粗骨褐土	泉山
4	栎类林	栓皮栎	0.7~ 0.8	50	W15°~ 20°	粗骨褐土	皇藏峪
5		麻栎	0.6~ 0.7	30	SE10°~ 15°	粗骨褐土	云台山
6	杂木林	黄连木黄檀	0.6	20	NW10°~ 15°	淋溶褐土	云台山
7		盐肤木、黄连木	0.6	40	NE10°~ 15°	粗骨褐土	云台山
8	刺槐林	刺槐	0.5~ 0.7	20	NE10°~ 15°	粗骨褐土	马陵山

1.3 土样分析与数据统计

土壤颗粒组成以简易比重计法测定,土壤含水量以烘干法测定,土壤硬度用硬度计测定,土壤容重、持水量、孔隙度等水分物理性质用环刀一次取样连续测定法测定。每个样品重复 3 次,测定结果取 3 次重复的平均值。

样点布局空间数据与实验数据的统计输入该山丘区森林土壤资源动态数据库,采用 SPSS 软件分别对该区域的各项物理指标进行总体分析,通过分析确定森林演替系列群落土壤物理性质与持水性能的相关性。

2 结果与分析

2.1 苏北山丘区森林植被的次生演替模式

根据森林建群种与光照强度的关系,可以把森林建群种与森林各划分为 3 类:强阳生树种与强阳生森林、阳生树种与阳生森林、耐荫树种与耐荫森林。现据此分析构建苏北山丘区森林植被的次生演替模式^[6]。

(1)赤松林:赤松是分布于日本、朝鲜和中国北方沿海低山丘陵的常绿针叶树种,连云港云台山是中国赤松分布的南界。赤松在其分布区内能天然更

新,即所谓“飞籽成林”。据报道^[7],赤松林采伐迹地赤松更新苗数量(1.5~2.4)万株/hm²,郁闭度0.3~0.4,赤松林地赤松更新苗数量(1.2~1.5)万株/hm²,郁闭度0.5,赤松林地赤松更新苗数量4500株/hm²,密闭的赤松林地赤松更新苗数量<1500株/hm²。据研究^[8],郁闭度较好(平均0.7~0.8)、土层较瘠薄(平均厚度0.376 m,落叶乔木可进入性差)的稳定的赤松林分,林下一年生幼苗的枯损率93%,幼树枯损率54%,林冠层枯立木占活立木总数的4%,这种稳定赤松林分很有可能通过林中空地来更替,其应属于地文顶极群落(physiographic climax)。上述事实说明,光照条件在赤松林天然更新中起到了主导作用。因此把赤松称之为强阳生树种,赤松林称之为强阳生针叶林。

(2)侧柏林:侧柏对土壤要求不严,能生长在干燥瘠薄的山坡甚至石缝中,是石灰岩山地极其重要的造林树种。岩石裸露、土层浅薄生境上的侧柏林是一种相对稳定的群落,可视为一种地形顶极(topographic climax),因为落叶阔叶树无法在此生长。苏北山丘区的侧柏林多为纯林,林冠亚层缺失,灌木层、草本层中不见有侧柏幼树、幼苗,说明侧柏也是强阳生树种,侧柏林也是强阳生针叶林。

(3)刺槐林:刺槐是重要的速生用材树种,苏北山丘区土层较深厚地段有较大面积刺槐林的分布。刺槐林常为单层纯林,灌木层、草本不见刺槐幼树、幼苗。刺槐喜光,不耐荫蔽,即使在幼苗阶段也不耐荫蔽。即刺槐是强阳生树种,刺槐林是强阳生落叶阔叶林。

(4)黑松林:黑松与光照的关系和赤松、侧柏、刺槐相似,黑松也是强阳生树种,黑松林也是强阳生针叶林。

(5)栎类林:苏北山丘区的栎类林主要包括3个群系:麻栎林、栓皮栎林与白栎林。云台山有较大面积麻栎林、栓皮栎林的分布;距徐州市35 km的安徽省萧县皇藏峪自然保护区的主体森林是栓皮栎林;白栎林面积很小,仅出现在云台山的局部地(宿城悟正庵)。栎类林是该地区的地带性森林,即气候顶极(climatic climax)^[9]。麻栎与栓皮栎的幼苗、幼树耐荫蔽,郁闭度(0.7~0.8)较大林分中的麻栎、栓皮栎生长迅速,干形良好,可以出现于林冠亚层、灌木层与草本层(需要说明的是,苏北山丘区的森林人为干扰严重,即使在自然保护区,采拾果实、割草、打柴等活动仍屡见不鲜)。因此,把麻栎、栓皮栎等树种称之为耐荫树种,栎类林称之为耐荫落叶阔叶林。

(6)杂木林:苏北山丘区的杂木林主要群系包括:黄连木+黄檀林、青檀林、小叶朴林、鹅桤林。杂

木林面积很小,分布局限,为栎类林所包围,似有被栎类林替代的趋势(生境条件恶劣处的杂木林,如青檀林,较为稳定,可视为地形顶极)。南京灵谷寺森林100余年的发展说明,非栎属树木(枫香除外)很难成为南京地区典型落叶阔叶林的优势树种,而南京地区的森林植被与苏北山丘区的森林植被具有可比性^[10-12]。黄连木、黄檀、青檀、小叶朴、鹅耳枥等非栎属树木(杂木)称为阳生树木,杂木林称为阳生落叶阔叶林。

综上所述,苏北山丘区的森林植被次生演替模式如图1所示。

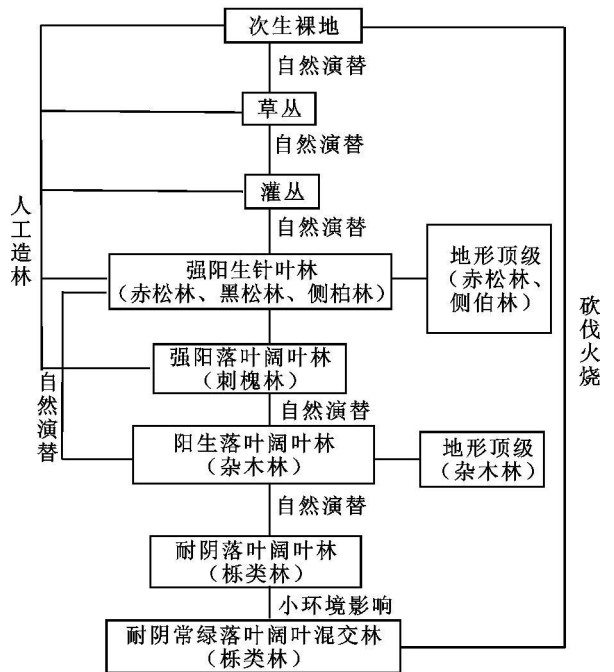


图1 苏北山丘区的森林植被次生演替模式

2.2 演替系列群落土壤物理性质分析

土壤硬度是土壤的基本物理性质之一,对林下土壤水分状况、植物根系的发育和分布等都有重要意义^[5],在各采样点经测定,该地区演替系列群落土壤硬度的平均值变化大致在(12.96±6.91)~(20.13±4.17) kg/cm²,这说明该地区各林下土壤能够满足植物生长发育的需要。土壤容重表征了土壤的疏松程度与通气性,该值的大小可以说明土壤涵养水分以及供应树木生长所需水分的能力,而土壤孔隙状况则直接影响着土壤的通气透水性及根系穿插的难易程度,对土壤中水、肥、气、热以及生物活性等发挥着不同的功能^[13-14]。

从表3可以得出,栎类林(栓皮栎和麻栎)下土壤容重的平均值最小,说明栎类林下土壤较疏松、通气性能好,具有较高的水源涵养和水土保持功能;而黑松林下土壤的平均非毛管孔隙度(总孔隙度减去

毛管孔隙度)最大,这是因为黑松林的林分具有多层次结构,林分生物量组成及分布较合理,并且其林分地上部分持水量大,土壤腐殖质积累较多(表土层的枯枝落叶腐解所致)。对不同土层的演替系列群落土壤作 SPSS 回归分析结果显示,各林下土壤容重随土壤深度的变化达到显著水平($P < 0.01$),而土壤孔隙度随土壤深度的变化也达到显著水平($P < 0.01$)。这说明了不同林地下土壤则表现出土壤容重随土层深度增加而逐渐增大,土壤孔隙度随土层深度增加而逐渐减小的规律,而且通过比较可知(表 3),栎类林改变土壤容重的作用最大,因为该林分通

过腐殖质作用降低土壤容重最明显(容重值最小)。除此之外,演替系列群落土壤在黏粒组成、田间持水量等指标上也表现出类似结果^[3]。因此,演替系列群落土壤容重随演替进程改变的趋势较为明显:演替高级阶段群落(如栎类林)容重较小,土壤的总孔隙度呈上升趋势。不同层次土壤物理性质的差异极大地限制了土壤的水、肥、气、热等条件,同时也对植物生长的物质和能量条件产生影响。在厚度大、容重较小、结构良好的土壤上,生物生长环境改善、肥力容易积累,土壤微生物、酶的生物活性也较高,有利于森林植物顺向进展演替。

表 3 苏北山丘区各测试样地的土壤物理性质(平均值±标准差)

测试样地	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	黏粒组成/ %	硬度/ ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	饱和持水量/ %	田间持水量/ %	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %
1	1.24±0.12	33.24±16.36	19.58±1.84	47.43±19.23	36.25±12.34	50.68±29.87	48.36±26.77
2	1.27±0.05	35.07±14.75	20.13±4.17	45.02±21.81	34.38±14.62	48.02±25.04	36.42±18.92
3	1.25±0.07	32.82±12.49	18.57±10.26	48.81±19.04	37.58±17.20	51.70±18.32	40.16±13.45
4	1.18±0.04	26.11±19.06	12.96±6.91	53.97±22.46	43.83±19.16	58.36±26.77	50.73±16.27
5	1.19±0.08	27.63±24.13	13.54±8.63	52.81±15.39	42.26±11.55	57.51±14.68	49.08±15.21
6	1.22±0.03	29.51±17.02	15.46±3.97	50.17±12.52	39.53±17.30	54.42±37.52	44.83±17.37
7	1.21±0.10	29.04±21.67	14.31±6.53	51.34±20.87	40.41±21.24	55.07±22.34	46.34±16.69
8	1.23±0.09	31.26±10.33	16.72±5.64	49.31±19.55	38.04±21.35	52.37±19.88	41.85±20.76

注:测试样地号同表 2,下表同。

2.3 演替系列群落土壤持水性能分析

在降雨条件和干旱条件下分别测定演替系列群落各层次土壤的含水量,用于评价森林土壤涵养水源和调节径流水量的功能。测定结果(表 4)显示,在降雨和干旱条件下,演替系列群落土壤含水量有较大的差异;对演替系列群落不同层次土壤之间的含水量进行 SPSS 回归分析,分析结果在降雨和干旱条件下不同森林群落土壤层之间的差异显著,同时不同层次含水量又不尽相同,变化较为复杂。根据土壤含水量、土壤容重和各土壤层厚度可推算出降雨和干旱条件下各演替系列群落土壤层的贮水

量,用土壤层贮存水量代表森林土壤的持水性能。对贮水量进行 SPSS 回归分析,结果显示不同演替阶段森林群落土壤表层和土壤层的持水能力有显著差异($P < 0.01$)。在降雨和干旱条件下,栎类林下土壤含水量较高,土层持水量较大,而黑松林相对而言较低。这是由于各林下土壤持水性能受其土壤条件和植物覆盖条件的影响,栎类林下土壤容重较小,表土没有植被的截持作用,因而吸收的水分较多。总之,土壤物理性质差异对土壤的持水性能产生影响,容重低、孔隙度高的土壤持水能力强,而容重高,孔隙度低的土壤蓄水和保水的能力都受到影响。

表 4 苏北山丘区各测试样地的土壤在降雨和干旱条件下的含水量

测试样地	降雨含水量/ %			干旱含水量/ %		
	土壤 A 层	土壤 B 层	土壤 C 层	土壤 A 层	土壤 B 层	土壤 C 层
1	35.49	23.64	11.31	19.50	13.71	9.56
2	29.93	22.05	10.36	16.49	11.84	8.83
3	40.82	25.57	12.01	21.58	17.48	11.75
4	58.51	45.21	17.33	33.54	32.88	16.14
5	55.37	37.12	16.31	29.21	30.57	14.63
6	46.04	28.26	13.89	26.11	25.62	11.21
7	49.23	32.55	14.71	27.38	29.16	13.42
8	43.71	27.01	12.24	24.37	21.91	12.34

2.4 演替系列群落土壤持水性能与土壤物理性质的关系

在降雨条件下,土壤含水量与土壤总孔隙度和

毛管孔隙度呈极显著正相关关系,在不降雨的条件下,土壤含水量与土壤总孔隙度和毛管孔隙度之间呈显著正相关,说明土壤的孔隙状况对含水量有很

大的影响,这与其它研究的结果相一致^[3]。另外,降雨含水量和干旱含水量都与土壤层厚度呈极显著正相关。可见,土壤层越厚,土壤中的水分越不容易流失,含水量就高。

土壤贮水量代表了土壤的持水性能,可作为土壤涵养水源的表征。在土壤表层,降雨条件下土壤持水能力与毛管孔隙度呈显著正相关,并与非毛管孔隙度呈显著负相关,表层的贮水能力一方面受毛管孔隙度的影响,另一方面也受非毛管孔隙度的影响,非毛管孔隙度越高,土壤透水能力就越强,持水能力相对下降。在干旱条件下表层土壤的持水能力也有同样的趋势,并且相关系数达到极显著水平($P < 0.01$)。在降雨条件下,土体持水能力与土壤孔隙度没有显著的相关关系;在干旱条件下土体含水量与毛管孔隙度呈显著正相关关系。与总孔隙度和非毛管孔隙度的相关关系不显著,说明在干旱条件下影响土体持水性能的因素更多。除了土壤孔隙状况和土壤厚度外,土壤持水性能还受到土壤坡度、植物结构等因素的影响。

3 结论与讨论

(1) 苏北山丘区森林生态系统土壤物理性质随演替时间进展而演变的趋势是很明显的。在森林次生演替过程中,随着黏粒增多,有机质的积累,土壤的结构得到改善:土壤容重降低、孔隙度增加。在研究中发现,由于森林土壤表层有机质含量高,土壤结构好,一般总孔隙度都较大,但毛管孔隙度所占比例大,而非毛管孔隙度所占比例很小。

(2) 演替系列群落土壤物理性质的差异极大地限制了土壤的水、肥、气、热等条件,对植物生长的物质和能量供给产生影响。在容重较小、结构良好的土壤上,生物生长环境改善、土壤肥力积累,土壤微生物、酶的生物活性也较高,有利于森林群落顺向进展演替。

(3) 通过比较可知,栎类林下土壤容重平均值最小,土壤孔隙度最大;而黑松林下土壤容重平均值最大,土壤孔隙度最小。这说明栎类林改变土壤容重的作用最大,该林下土壤较疏松、通气性能好,具有较高的水源涵养和水土保持功能。总之,土壤物理性质差异对土壤的持水性能产生影响,容重低、孔隙度高的土壤持水能力强,而容重高,孔隙度低的土壤蓄水和保水的能力都受到影响。

(4) 在降雨条件和干旱条件下分别测定演替系列群落各层次土壤的含水量,演替高级阶段的栎类林下土壤含水量较高,演替低级阶段的黑松林下土壤含水量低。随着孔隙度的减小,土壤B层和C层的含水量逐

渐减少。土壤的孔隙状况对含水量有很大的影响,土壤含水量与土壤总孔隙度和毛管孔隙度之间呈显著的正相关关系。另外,土壤含水量还与土层厚度呈极显著正相关。可见,土壤层越厚,土壤中的水分越不容易流失,含水量就高。除了土壤孔隙状况和土壤厚度外,土壤持水性能还受到土壤坡度、植物结构等因素的影响。

(5) 本文仅对研究区域进行了一次性的取样分析,若能对该地区演替系列群落土壤进行长期定位调查分析,并结合当地森林植被类型进行综合研究,则可以了解各森林群落下土壤的动态变化,揭示演替系列群落土壤物理性质差异对森林涵养水源功能的影响。

参考文献

- [1] 林德喜,樊后保,苏兵强,等.马尾松林下套种阔叶树土壤理化性质的研究[J].土壤,2004,41(4):655-659.
- [2] 光增云.河南森林植被的碳储量研究[J].地域研究与开发,2007,26(1):76-79.
- [3] 刘鸿雁,黄建国.缙云山森林群落次生演替中土壤理化性质的动态变化[J].应用生态学报,2005,16(11):2041-2046.
- [4] 阎传海.苏北低山丘陵森林植被多样性研究[J].山地研究,1997,15(3):157-161.
- [5] 于法展,尤海梅,李保杰,等.苏北地区代表性森林土壤理化特性的比较研究[J].地理与地理信息科学,2007,23(2):87-90.
- [6] 阎传海,徐科峰.徐连过渡带低山丘陵森林植被次生演替模式与生态恢复重建策略[J].地理科学,2005,1(2):94-101.
- [7] 中国植被编辑委员会.中国植被[M].北京:科学出版社,1980:214-279.
- [8] 阎传海.南京地区与连云港地区森林植被的比较研究[J].生态学杂志,1996,15(3):1-5.
- [9] 宋永昌.中国东部森林植被带划分之我见[J].植物学报,1999,41(5):541-552.
- [10] 魏宏图, Gary Lw alker, 贺善安,等.江苏省云台山宿城自然保护区赤松林年龄结构及其更新的特点[J].植物生态学与地植物学学报,1992,16(1):52-63.
- [11] 张本昀,喻铮铮,刘良云,等.北京山区植被覆盖动态变化遥感监测研究[J].地域研究与开发,2008,27(1):108-112.
- [12] 徐化成.森林生态与生态系统经营[M].北京:化学工业出版社,2004:55-72.
- [13] 曹慧,杨浩,孙波,等.太湖流域丘陵地区土壤养分的空间变异[J].土壤,2002,19(4):201-205.
- [14] 许明祥,刘国彬.黄土地陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J].植物营养与肥料学报,2004,10(1):40-46.