安徽农业大学学报, 2014, 41(6): 939-944
Journal of Anhui Agricultural University
[DOI] 10.13610/j.cnki.1672-352x.20141029.025　网络出版时间：2014-10-29　11:06:46
[URL] http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13610/j.cnki.1672-352x.20141029.025.html

苏州近郊 4 种不同森林群落稳定性研究

肖文娅[1]，周　琦[1]，董务闯[1,2]，关庆伟[1*]
(1. 南京林业大学生物与环境学院，南京 210037；2. 吴中区农业局，苏州 215000)

摘　要：稳定性是一个评价群落结构与功能的指标，一直是生态学研究的热点。本文依据林分地上部分指标建立稳定体系，对苏州近郊 4 种人工林分，应用数学生态学方法，分析冬青针阔混交林、栎树针阔叶混交林、湿地松林和木荷林的林分稳定性。结果表明，多样性并不完全能够代表稳定性；4 种林分群落稳定性主要因林分密度不同而异；稳定性依次为湿地松林＞冬青湿地松林＞栎树湿地松林＞木荷林。其中湿地松林可能会发展成为针阔混交林；木荷林中在生长过程中会因竞争产生限制，可能演替形成栎树—木荷混交林；2 种针阔混交林在未来演替也可能向落叶阔叶、常绿阔叶混交林发展；该地区木荷林密度过大，稳定性较弱，应采取适当的抚育措施，提高其林分稳定性。

关键词：冬青湿地松混交林；栎树湿地松混交林；湿地松林；木荷林；稳定性指数
中图分类号：S718.54; Q145.2　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672–352X (2014)06–0939–06

Stability analysis of four different forest communities in suburbs of Suzhou

XIAO Wenya[1], ZHOU Qi[1], DONG Wuchuang[1, 2], GUAN Qingwei[1]
(1. College of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;
2. Wuzhong District Bureau of Agriculture, Suzhou 215000)

Abstract: Stability is an indicator of forest community structure and function and has been a focus of ecological research. Four typical forest communities (*Ilex purpurea* and *Pinus elliottii* mixed forest, *Quercus* and *P. elliottii* mixed forest, *P. elliott*i forest, and *Schima superba* forest) in Jiangsu Province, East China were used. Fourteen factors were chosen as the parameters to build an evaluation model that aimed to evaluate the stability of the four selected communities using the mathematical ecology method. The results showed that the diversity could not fully represent the stability. Forest density variety mainly causes the differences in stability among the forest communities. Stability of *P. elliottii* forest > *I. purpurea* and *P. elliottii* mixed forest > *Q.* and *P. elliottii* mixed forest > *S. superba* forest. *P. elliottii* forest may become conifer-broadleaved mixed forest. *S. superba* forest may become *Q.* and *S. superb* mixed forest due to the limited growing space. Two types of conifer-broadleaved mixed forest may be developing to the deciduous broad-leaved or evergreen broad-leaved mixed forest in the future. The density of *S.superba* forest was too greater to be etable; thus, appropriate efforts should be made to enhance the stability in forest communities.

Key words: *Ilex purpurea* and *Pinus elliottii* mixed forest; *Quercus* and *P. elliottii* mixed forest; *P. elliottii* forest; *Schima superba* forest; stability index

稳定性是一个系统不容回避的重要研究内容之一[1]，是生态系统结构及功能中一个决定系统兴亡的重要特性，一直是生态学研究中被关注的焦点[2]。在 1970 年以前，多样性导致稳定性假说被称为“核心准则”而被广泛应用到生态系统的研究中[3-4]。近年来，国内外研究表明，合理的森林经营方式[5]、森林植被的种类和性状分布[6]、树种组成[7]以及人为干扰[8]，对森林群落的稳定性具有一定显著的影响。巩文[9]、李昌龙[10]分别研究了多样性与稳定性的关系，卢彦昌[11]、罗永福[12]研究了不同营林措施

收稿日期：2014-06-26
基金项目：国家林业公益性行业科研专项“提高城市森林固碳能力的关键技术研究与示范”（201104075）和江苏高校优势学科建设工程项目共同资助。
作者简介：肖文娅，硕士。E-mail：zizi0931@163.com
* **通信作者**：关庆伟，教授，博士生导师。E-mail：guanjapan999@163.com

对林分稳定性的影响，2013 年马洪靖[13]等研究了不同演替阶段对森林稳定性的影响。目前，国内对森林群落稳定性的研究，大部分从物种多样性[14]、林地生产力[15]、种群更新潜力[16]等方面对森林群落进行评价，所得结论不尽相同。已有的研究中，对不同因子采用平均权重的计算方法，没有凸显各因子重要程度的不同。森林群落中，幼苗数量代表了森林群落的恢复力，林分密度代表了森林群落的抵抗力，乔木物种多样性代表了森林群落的持久性[17]，因此，从森林群落地上部分因子来研究森林群落稳定性，不仅评价准确、科学合理，可操作性也很强。

本研究以苏州近郊 4 种代表性人工林（冬青湿地松混交林、栎树湿地松混交林、湿地松林、木荷林）为对象，以林分地上部分为依据，构建稳定性指标体系，设定了稳定度指数，采用多因子影响分析了森林群落的稳定性，旨在了解不同林分类型稳定性的差异，为科学经营该地区森林提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

研究地位于苏州市吴中区，江苏省南部、长江三角洲中部、太湖之滨。地理坐标为东经 119º55′~120º54′，北纬 30º56′~31º21′之间。地处中亚热带北缘，属季风气候过渡类型。因受太湖水体的调节作用，四季分明，平均气温 17.1℃，年降水量 1114.6 mm[18]。区内成土母质大部分为第四纪堆积物，土层深厚，土质肥沃。境内土质主要有水稻土、黄棕土、沼泽土和石灰岩土等 4 种类型[19]。现有植被为以青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)、木荷(*Schima superba*)、麻栎(*Quercus acutissima*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、冬青(*Ilex purpurea*)、湿地松(*Pinus elliottii*)、火炬松(*Pinus taeda*)等为主。在上述地点冬青湿地松混交林、栎树湿地松混交林、湿地松林和木荷林中各设置 3 个样地。

1.2 样地的设置与调查

苏州市二类森林资源清查数据表明，冬青湿地松混交林、湿地松林、木荷林和栎树湿地松混交林，是苏州近郊的典型林分类型。在踏查的基础上，我们选择位于吴中区七子山中的 4 个立地条件相近的典型冬青湿地松混交林、湿地松林、木荷林和栎树湿地松混交林作为标准样地。

调查采用样地法，每种林分下设立 3 块标准地，样地面积为 25 m × 25 m，记录标准地群落类型、海拔、坡向、坡度、土壤等立地条件因子。调查样地内所有大于起测径阶（5 cm）的林木特征值，即胸径、树高、冠幅等，同时记录各个林分下凋落物层厚度。在每个乔木样地的 4 个角及中心各设置 1 个 2 m × 2 m 的灌木样方和 1 个 1m×1m 的草本样方，记录灌木和幼苗的种类、数量、平均高度、盖度及草本植物的种类、数量、平均高度和盖度（表 1）。

表 1 各样地基本概况

Table 1 Situation of each forest

编号 No.	树种组成 Species composition	林龄/年 Stand age	坡向 Slope aspect	坡度 Gradient	郁闭度 Canopy closure	平均胸径/cm Average DBH	平均高/m Average height	林分蓄积 /m^3·hm^{-2} Stand accumulation	林分密度 /株·hm^{-2} Stand density
1	2 樟+5 松+3 冬	35	NE	5	0.90	10.25	10.44	67.29	1625
2	1 樟+5 松+4 冬	35	NE	5	0.95	11.21	10.69	66.32	1550
3	3 樟+4 松+3 冬	35	NE	5	0.98	12.51	10.97	50.02	1250
4	10 松+朴	30	NE	10	0.80	18.59	13.57	137.28	975
5	10 松+朴	30	NE	11	0.60	19.78	11.51	119.84	600
6	10 松+栎	30	NE	11	0.45	15.62	11.52	145.92	1350
7	10 木+松	35	NE	4	0.99	10.39	13.54	154.62	2150
8	10 木+栎	35	NE	6	0.90	12.48	12.43	166.39	1975
9	10 木+松	35	NE	6	0.95	10.37	8.26	104.27	2175
10	5 栎+5 松	33	NE	5	0.90	13.36	10.43	70.27	1150
11	5 栎+5 松	33	NE	5	0.90	15.73	13.27	66.83	800
12	6 栎+4 松	33	NE	6	0.85	13.02	11.35	52.65	825

每块标准地内使用罗盘仪、坡度仪分别测定坡向及坡度。标准地的两对角线上树冠覆盖的总长度与两对角线的总长之比，作为郁闭度的估测值。运用生长锥方法确定近直径平均值的树龄，混交林只确定优势树种的年龄。根据江苏省林木胸径一元材积表计算林木蓄积（从《江苏省重点公益林区划界

定办法》(苏林政[2005]10 号、苏财农[2005]54 号)附录 8 查得）。各标准地内进行每木检尺，并计算林木平均高、平均胸径及林分密度（表 1）。

1.3　稳定性指标体系的建立

本研究在选择评价指标时，参考相关文献[9, 20]并充分考虑群落的抵抗力、恢复力和持久性对群落稳定性的影响，共选取 14 项相关指标构成指标体系，分别为幼苗数量 X_1（株·样方$^{-1}$），物种种数 X_2（个·样方$^{-1}$），林分密度 X_3（株·m^{-2}），平均胸径 X_4（cm·样方$^{-1}$），平均树高 X_5（m·株$^{-1}$），郁闭度 X_6，未分解凋落物厚度 X_7（cm），半分解凋落物厚度 X_8（cm），乔木 *Marglef* 指数 X_9，灌木 *Marglef* 指数 X_{10}，草本 *Marglef* 指数 X_{11}，乔木 *Shannon-Wiener* 指数 X_{12}，灌木 *Shannon-Wiener* 指数 X_{13}，草本 *Shannon-Wiener* 指数 X_{14}。在所有的指标中，除 X_3 和 X_6，其他指标都于稳定性呈正相关，对 X_3 和 X_6 取其倒数处理，纳入稳定性指标体系。

1.4　稳定度指数的计算方法

根据测定顺序将 12 块样地进行编号，分别为冬青湿地松混交林 1~3 号样地，湿地松林 4~6 号样地，木荷林 7~9 号样地，栎树湿地松混交林 10~12 号样地。

对指标的原始数据进行标准化处理，有

$$U_{ij}=\frac{X_{ij}-\overline{X}_i}{S_i}$$

式中 U_{ij} 表示第 i 个指标的第 j 个样地的观测值的标准化数据，12 块样地的标准化值见表 2。

稳定度指数的定义为

$$H_j=\sum_{1}^{14}U_{ij}W_i$$

W_i 为第 i 个指标的权重系数，有

$$W_i=\frac{S_i}{\sum_{1}^{14}S_i}$$

式中 S_i 表示第 i 指标的标准差。

2　结果与分析

2.1　林分基本特征分析

此次的研究对象主要分为 3 种类型林分，针阔

表 2　样地各个评价指标的标准化值

Table 2　The standardization values of every evaluating index of each sample plot

样地 Sample plot	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7
1	-1.4203	1.3555	0.3375	-1.0508	-0.6867	0.3225	1.8303
2	-0.7247	0.4763	-0.4618	-0.7527	-0.5233	0.6297	1.2766
3	1.0145	0.4763	0.1776	-0.3434	-0.3445	0.8140	1.2766
4	-0.0290	-1.2822	-0.2486	1.5587	1.3433	-0.2918	-0.0154
5	-0.3768	-1.2822	-1.8471	1.9333	0.0088	-1.5206	-0.5691
6	0.3188	0.0366	-1.0479	0.6297	0.0156	-2.4421	-0.7536
7	2.0580	-1.2822	1.2965	-1.0060	1.3244	0.8755	0.1692
8	1.0145	-0.8426	0.9236	-0.3537	0.6038	0.3225	-0.0154
9	0.3188	-0.4030	1.7228	-1.0148	-2.0976	0.6297	-0.0154
10	-0.7247	0.4763	0.1776	-0.0793	-0.6949	0.3225	-0.9382
11	-1.0725	0.9159	-0.5683	0.6637	1.1491	0.3225	-1.3073
12	-0.3768	1.3555	-0.4618	-0.1846	-0.0979	0.0154	-0.9382

样地 Sample plot	U_8	U_9	U_{10}	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}
1	0.8044	1.2429	-0.4990	-0.5890	1.0806	0.1631	-0.1021
2	-0.8044	0.5176	0.3960	-0.9801	0.6709	0.7223	-0.9348
3	-0.8044	0.4245	1.7292	1.9816	0.3190	1.5225	2.1705
4	0.2011	-1.2699	-0.1794	1.0711	-1.2589	-0.1485	0.4116
5	2.7148	-1.2699	0.5380	0.6640	-1.2589	0.5229	0.6904
6	-0.8044	0.1617	-0.2413	-0.2493	0.1351	-0.6857	-0.3027
7	-0.3016	-1.2699	-1.2033	0.2728	-1.2589	-1.3312	0.8581
8	-0.8044	-0.8662	-1.2941	-0.9801	-0.9306	-1.1920	-0.9348
9	0.2011	-0.4948	-1.1627	-1.0963	-0.5898	-1.5287	-1.0292
10	-0.3016	0.4245	0.6125	-0.0703	0.7615	1.0114	-0.0595
11	-0.3016	0.9881	-0.2208	-0.9801	1.1690	0.0418	-1.3055
12	0.2011	1.4114	1.5250	0.9556	1.1609	0.9021	0.5381

叶混交林、针叶纯林和阔叶纯林，所以在郁闭度方面，4 种林分差异较大，木荷林和冬青湿地松混交林郁闭度最大，湿地松林最小，而栎树湿地松混交林介于三者之间。4 种林分树种组成有很大差异，其中树种组成最复杂的为冬青湿地松混交林，最单一的是木荷林。从林龄上来说，4 种林分差异不甚大，但 2 种混交林的林分蓄积明显小于 2 种纯林的林分蓄积，还未达到其半数。所调查的 4 种不同林分样地内，林分密度分别从高到低依次为木荷林、冬青湿地松林、湿地松纯林和栎松混交林，木荷林分密度明显偏高。在林分平均树高和胸径方面，湿地松林略高，其余 3 种林分差异不明显，具体情况见表 2。

表 3 各林分更新层幼苗种类及数量概况

Table 3 Seedling types and quantity of investigation plots regeneration layers

林型 Forest type	幼苗总数 (株/60m^2) Total number of seedlings	物种名称 Species name	幼苗数量（株/60m^2） Seedling number	相对密度/% Relative density
冬青湿地松混交林 *Ilex purpurea* and *Pinus elliottii* mixed forest	43	青檀(*Pteroceltis tatarinowii* Maxim.)	3	6.98
		短柄枹(*Quercus glandulifera* Nakai)	4	9.30
		冬青(*Ilex purpurea* Hassk.)	7	16.28
		山矾(*Symplocos spectabilis* Brand)	12	27.91
		黄檀(*Dalbergia mimosoides* Franch.)	6	13.95
		白栎(*Quercus fabri* Hance)	5	11.63
		朴树(*Celtis sinensis* Pers.)	2	4.65
		女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)	1	2.33
		香樟(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.)	2	4.65
		白玉兰(*Magnolia heptapeta* (Buchoz) Dandy)	1	2.33
木荷林 *Schima superba* forest	31	木荷(*Schima superba* Gardn et Champ)	22	70.97
		短柄枹(*Quercus glandulifera* Nakai)	6	19.35
		湿地松(*Pinus elliottii* Engelmann)	3	9.68
湿地松林 *P. elliottii* forest	24	女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)	1	4.17
		杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)	2	8.33
		朴树(*Celtis sinensis* Pers.)	3	12.50
		短柄枹(*Quercus glandulifera* Nakai)	5	20.83
		山矾(*Symplocos spectabilis* Brand)	4	16.67
		湿地松(*Pinus elliottii* Engelmann)	9	37.50
栎树湿地松混交林 *Quercus* and *P. elliottii* mixed forest	29	短柄枹(*Quercus glandulifera* Nakai)	10	34.48
		构树(*Broussonetia kazinoki* S. et Z)	4	13.79
		朴树(*Celtis sinensis* Pers.)	2	6.90
		黄檀(*Dalbergia mimosoides* Franch.)	2	6.90
		山矾(*Symplocos spectabilis* Brand)	2	6.90
		青檀(*Pteroceltis tatarinowii* Maxim.)	3	10.34
		麻栎(*Quercus acutissima* Carruth.)	3	10.34
		小叶栎(*Quercus chenii* Nakai)	3	10.34

表 4 各个评价指标的标准差及权重系数

Table 4 Standard deviation and weighted coefficient of every evaluating index

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
标准差 *Si*	2.8749	2.2747	3.2789	3.1934	1.5420	0.3553	2.7091
权重系数 *Wi*	0.1332	0.1054	0.1519	0.1479	0.0714	0.0165	0.1255

	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
标准差 *Si*	0.9945	0.5720	1.4843	0.5440	0.6281	0.7517	0.3866
权重系数 *Wi*	0.0461	0.0265	0.0688	0.0252	0.0291	0.0348	0.0179

2.2 不同林分林下植被更新层特征分析

根据对苏州近郊 4 种典型林分的更新层调查，所得结果见表 3。4 种典型林分下植被更新情况差异较大，更新层物种总数为冬青湿地松林＞栎树湿地松林＞湿地松林＞木荷林，而幼苗总数为冬青湿地松林＞木荷林＞栎树湿地松林＞湿地松林。冬青湿

地松林幼苗数量及更新层物种总数最大，具 12 个种，其中山矾为更新层优势度最大树种，冬青、黄檀次之。栎树湿地松林更新层优势种为短柄枹，湿地松林幼树多为湿地松，木荷林更新层主要为木荷幼树。

2.3　林分稳定性指标体系的建立

根据苏州近郊地区的林地实际条件和建立指标体系的原则，本文选取 14 项相关指标。计算标准差并利用公式计算各个指标权重系数见表 4。

从表 4 可以看出，X_3(林分密度)对苏州近郊林分稳定性的影响最大，其次是 X_4(平均胸径)、X_1(幼苗数量)；影响最小的是草本层多样性指数 X_{11}(草本 *Marglef* 指数)、X_{14}(草本 *Shannon-Wiener* 指数)。

2.4　稳定度指数分析

12 块样地计算所得稳定性指数见表 5，其中稳定度指数最大的样地为 5 号样地，达到 0.6048，为湿地松林；稳定度指数最小的样地是 9 号木荷林样地，仅为-0.6631。4 种林分的平均稳定度分别为冬青湿地松林 0.1278，湿地松林 0.2878，木荷林-0.4111，栎树湿地松林-0.0045。其中，冬青湿地松林的物种种数最大；湿地松林的平均胸径最大；木荷林的林分密度最大。根据表 5 的评价结果，4 种林分的稳定性为：湿地松林＞冬青湿地松林＞栎树湿地松林＞木荷林。

表 5　不同林分类型的稳定度指数比较

Table 5　Comparison of stability degree index of different kind of forests

样地编号 Serial number	稳定度指数 Stability index	样地编号 Serial number	稳定度指数 Stability index	样地编号 Serial number	稳定度指数 Stability index	样地编号 Serial number	稳定度指数 Stability index
1	-0.0419	4	0.1291	7	-0.2284	10	-0.1945
2	-0.0218	5	0.6048	8	-0.3419	11	-0.0215
3	0.4469	6	0.1296	9	-0.6631	12	0.2027
均值 Average value	0.1278	均值 Average value	0.2878	均值 Average value	-0.4111	均值 Average value	-0.0045

根据样地稳定度指数的平均值（$\overline{X}$）和标准差（S），可以计算出标准误 $S\overline{x}=S/\sqrt{n}$（n 为样方数），根据当地群落的发育状况，以 95%的可靠性将稳定度指数值划分为 4 个区间：稳定度指数大于 $\overline{X}+2S\overline{x}$ 的稳定性为强，介于 $\overline{X}\sim\overline{X}+2S\overline{x}$ 为较强，介于 $\overline{X}-2S\overline{x}\sim\overline{X}$ 之间为中，小于 $\overline{X}-2S\overline{x}$ 的为差。经计算，湿地松林稳定性强，冬青湿地松混交林稳定性为较强，栎树湿地松混交林的稳定性为中，木荷林的稳定性差。

3　小结与讨论

从以上结果可以看出苏州近郊 4 种典型人工林中，湿地松林稳定性最强，木荷林稳定性最弱，不同树种所组成的 4 个不同类型森林群落的稳定性差异较大。本研究中的 4 种林分，均属于林龄 30a 以上，经封山育林形成的典型人工林，在湿地松林群落中，由权重系数的配比可知，湿地松林林木平均胸径最大，乔木蓄积量较大，且林分密度较小，使得该群落在发育过程中能够处于较为稳定的阶段，其稳定性最高；冬青湿地松混交林群落由于更新较好和物种多样性高，其稳定性次之；栎树湿地松林中，幼苗数量较少，物种多样性因子的数值较低，使得其稳定性较低；木荷林群落为典型常绿阔叶林，其林分密度最大，树种单一，其相对稳定性最差，排除干扰的情况下，预测会被更加稳定的混交林所取代。

从群落的演替趋势上来看，苏州近郊 4 种林分为中龄林，均处于演替中期。湿地松为外来速生树种，适应性强[21]，在苏州地区生长优势明显，使得湿地松林的稳定性最高，但结合更新层幼树而言，湿地松将会为朴树、短柄枹、山矾等阔叶树种所替代，逐步从针阔混交林演替形成阔叶混交林。而木荷林，林分密度过大，稳定性最低，木荷优势明显，组成单一，林木生长情况差，在生长过程中会因竞争产生限制，从而演替形成由栎树—木荷阔叶混交林。此外，2 种针阔混交林分下更新层主要为阔叶更新树种，几乎没有针叶幼树，所以在未来演替也可能向落叶阔叶、常绿阔叶混交林发展。

一般来说，物种多样性越丰富，群落越稳定[22]，而本研究中物种多样性更为丰富的混交林分稳定性却低于单一树种林分稳定性，这与 2009 年郭其强[14]在黄龙山研究结果相一致，这表明多样性与稳定性并没有明确相对应关系，说明林分稳定性是各种因子共同影响的结果，并不单纯与多样性有关，物种多样性对森林稳定性的评价具有一定意义，但不可

单纯用多样性来确定稳定性的高低。

通过稳定体系的建立，可以直接判定影响森林群落的稳定性因子权重，能体现出该地区不同因素对森林群落稳定性影响的程度不一，相较于模糊综合评判而言[14-15]，稳定体系的建立能更加科学和具体的描述不同因子影响稳定性的程度。依据地上部分指标建立的平均稳定体系可知，林分密度是影响苏州近郊典型林分稳定性的最主要因子，而草本层多样性指数几乎对林分整体稳定性影响不大。

该地区 4 种林分中均为乔木优势种优势明显，其他种群个体数量相对较少，为提高森林稳定性和更新能力，可采取适当的抚育措施，促进森林群落向地带性植被演替，保证森林的健康发育，提高森林群落稳定性，充分发挥森林生态功能。

参考文献：

[1] 刘增文, 李雅素. 生态系统稳定性研究的历史与现状[J]. 生态学杂志, 1997, 16(7): 58-61.

[2] 冯耀宗. 人工生态系统稳定性概念及其指标[J]. 生态学杂志, 2002, 21(5): 58-60.

[3] McNaughton S J. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti[J]. Ecological Monographs, 1985, 55(3): 259- 294.

[4] McCann K S. The diversity–stability debate[J]. Nature, 2000, 405(6783): 228-233.

[5] Dorren L K A, Berger F, Imeson A C, et al. Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps[J]. Forest Ecology and Management, 2004, 195(1): 165-176.

[6] Sarthou C, Larpin D, Fonty É, et al. Stability of plant communities along a tropical inselberg ecotone in French Guiana (South America)[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2010, 205(10): 682- 694.

[7] Woodall C W, Zhu K, Westfall J A, et al. Assessing the stability of tree ranges and influence of disturbance in eastern US forests[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 291: 172-180.

[8] Bodin P, Wiman B L B. The usefulness of stability concepts in forest management when coping with increasing climate uncertainties[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 242(2): 541-552.

[9] 巩文. 洮河林区云、冷杉林分类型的多样性及稳定性[J]. 中南林学院学报, 2003, 23(2): 71-75.

[10] 李昌龙. 民勤连古城自然保护区物种多样性与群落稳定性研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2005.

[11] 卢彦昌. 不同经营措施对栓皮栎群落稳定性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.

[12] 罗永福. 不同采伐强度对闽西常绿阔叶林林分结构稳定性的影响[J]. 华东森林经理, 2012, 26(3): 1-5.

[13] 马洪婧, 李瑞霞, 袁发银, 等. 不同演替阶段栎树混交林群落稳定性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(3): 558-562.

[14] 郭其强, 张文辉, 曹旭平. 基于模糊综合评判的森林群落稳定性评价体系模型构建—以黄龙山主要森林群落为例[J]. 林业科学, 2009, 45(10): 19-24.

[15] 吴志文, 谢双喜. 贵州苏铁自然保护区森林群落稳定性研究[J]. 中南林业调查规划, 2011, 29(4): 45-49.

[16] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学, 2000, 36(5): 28-32.

[17] 闫东锋, 王向阳, 杨喜田. 主成分分析法和稳定度指数法评价森林群落稳定性比较[J]. 河南农业大学学报, 2011, 45(2): 166-171.

[18] 荆磊, 毛健, 陆胜兰, 等. 苏州太湖湖滨土壤中营养盐的垂直分布特征[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(61): 36- 40.

[19] 冯育青, 王邵军, 阮宏华, 等. 苏州太湖湖滨湿地生态恢复模式与对策[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2009, 33(5): 126-130.

[20] 闫东峰, 李纪亮, 何瑞珍, 等. 宝天曼栎类天然次生林群落稳定性研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(5): 69- 73.

[21] 林启龙. 火炬松、湿地松和马尾松生长特点分析[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(2): 133-136.

[22] 乌云娜, 张云飞, 杨持. 草原植物群落物种多样性与生产力的关系[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2007, 25(5): 667-673.