

冀北坝上人工防风固沙林稳定性指标体系构建及评价

陈颖^{1,2}, 朱凯¹, 马增旺³, 邢存旺³, 李玉灵^{1*}

(1. 河北农业大学, 河北保定 071000; 2. 廊坊市水务局, 河北廊坊 065000; 3. 河北省林业科学研究院, 河北石家庄 050061)

摘要 为了构建适合于冀北坝上地区人工防风固沙林群落稳定性评价的指标体系, 采用典型样地调查法, 对该地区不同林龄的华北落叶松人工林、樟子松人工林和北京杨人工林共计 8 块样地进行调查研究。结果表明: ① 构建了群落稳定性评价指标体系, 包括土壤理化性质(田间持水量、空气孔隙度、全 N、速效 P、速效 K)、林木生长状况(胸径平均生长量、材积平均生长量、枯落物生物量、苗木更新)和林下草本植物多样性(Margalef 丰富度指数、Richness 丰富度指数、Simpson 多样性指数)等 3 个方面 12 项指标; ② 不同人工林稳定性比较: 华北落叶松人工林稳定性 > 樟子松人工林稳定性 > 北京杨人工林稳定性。不同林龄比较结果为: 9 年生和 30 年生华北落叶松林为高度稳定, 15 年生华北落叶松林和 24 年生樟子松林为轻度稳定, 8 年生华北落叶松林和 5 年生北京杨林为不稳定, 6 年生樟子松林和 25 年生北京杨林为很不稳定。

关键词 冀北坝上; 人工防风固沙林; 群落稳定性; 评价

中图分类号 S727.33 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)26-166-05

Construction and Assessment on Stability Index System of Artificial Wind-breaking and Sand-fixing forest in Sandy Land of Bashang Area of Northern Hebei

CHEN Ying^{1,2}, ZHU Kai¹, MA Zeng-wang³, LI Yu-ling^{1*} et al (1. Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Langfang Water Supplies Bureau, Langfang, Hebei 065000; 3. Hebei Provincial Academy of Forestry, Shijiazhuang, Hebei 050061)

Abstract In this paper, we studied *Larix principis-rupprechtii*, Mongolian pine plantation and Beijing poplar plantation of different tree ages in 8 sampling plots by using the typical sample investigation method, to construct a evaluation index system on the stability of artificial wind-breaking and sand-fixing forest community in the Bashang area of northern Hebei. The results showed that: ① the evaluation index system of stability consists of 12 indexes in three aspects, which are soil physicochemical properties (field moisture capacity, air porosity, total N, available P, available K), tree growth status (mean annual DBH increment, mean annual volume increment, litter biomass, seedlings renewal) and the undergrowth herb diversity (Margalef Richness index, Richness abundance index, Simpson diversity index); ② The stability of different artificial forests: *Larix principis-rupprechtii* > Mongolian pine plantation > Beijing poplar plantation; The stability of different tree ages: 9-year-old and 30-year-old *Larix principis-rupprechtii* are highly stable, 15-year-old *Larix principis-rupprechtii* and 24-year-old Mongolian pine plantation are lightly stable, 8-year-old *Larix principis-rupprechtii* and 5-year-old Beijing poplar plantation are unstable, 6-year-old Mongolian pine plantation and 25-year-old Beijing poplar plantation are highly unstable.

Key words Bashang Area of Northern Hebei; Artificial wind-breaking and sand-fixing forest; Community stability; Assessment

稳定性是指系统受到外部扰动后保持和恢复其初始状态的能力, 是一个基于热力学原理的概念, 是生态系统结构和功能的一个综合特征^[1]。自从稳定性概念被提出之后, 对于稳定性的评价研究工作主要集中于湿地生态系统、城市生态系统以及天然的森林生态系统, 而对人工生态系统稳定性研究相对较少。然而植被的恢复与重建是生态恢复的重要措施, 人工生态系统占有了陆地生态系统的 70% 以上^[2], 人工生态系统的稳定性评价能够作为检验生态可持续发展的重要指标之一^[3-5]。该文以冀北坝上地区防风固沙林为研究对象, 选取了当地常见的 3 个树种构成的防风固沙林, 分别为华北落叶松人工林、樟子松人工林和北京杨人工林, 系统地研究了其群落的土壤理化性质、林木生长状况以及林下草本植物多样性, 在此基础上构建合适的稳定性评价指标体系, 并对其进行了稳定性综合评价, 为进一步加强冀北坝上地区防风固沙林的经营管理和了解其群落稳定性提供一些科学依据。

1 研究区概况

研究区位于河北省丰宁满族自治县大滩镇、鱼儿山镇、

草原乡和外沟门乡, 地处承德市西北部, 地理坐标为 115°55' ~ 117°23' E, 40°54' ~ 42°01' N。研究区自然地貌由东南向西北呈现阶梯型增高, 分为坝下浅山区、接坝深山区和坝上高原区, 平均海拔 1 475 m, 最高海拔 1 998 m, 相对高差最大达 1 200 m。气候类型属于大陆季风型半湿润、半干旱高原山地气候, 寒冷干燥, 年平均气温 6.7 °C, ≥10 °C 积温 1 600 ~ 1 798 °C, 年平均降水量 350 ~ 500 mm, 无霜期 80 ~ 140 d。土壤呈地带性分布, 坝下浅山区以褐土为主, 接坝深山区主要为棕壤, 而高原区为黄土。丰宁满族自治县植被属于暖温带落叶阔叶林区域和温带草甸草原地带, 境内植物种类丰富, 但由于受经济利益的驱使, 该地区天然植被被破坏殆尽。随着退耕还林工程的实施, 营建了以人工林为主的防风固沙林带, 主要的防风固沙树种为华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*)、樟子松 (*Pinus sylvestris*)、北京杨 (*Populus beijingensis*) 等。

2 研究方法

2.1 样地设置 野外调查于 2013 年 8 月下旬进行, 运用罗盘与 GPS 进行定位, 共设置 8 块 20 m × 30 m 的样地, 记录样地的海拔、坡度、坡向、林龄、初植密度以及造林前地类等, 样地基本情况见表 1。

2.2 群落调查 对样地进行每木检尺, 记录乔木种类、胸径、树高等因子。规定胸径 ≥ 7.5 cm 为成树, 胸径 < 2.5 cm 的个体为幼苗, 介于两者中间的为幼树^[6]。按平均

基金项目 河北省科技计划项目(12236726D)。

作者简介 陈颖(1989-), 女, 河北廊坊人, 助理工程师, 在读硕士, 研究方向: 退化生态系统植被恢复与重建。* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事退化生态系统植被恢复与重建研究。

收稿日期 2015-07-29

表 1 样地基本情况

样地编号	海拔//m	面积//m ²	坡向	坡度//(^o)	林龄//年	初植密度//m×m	带间距//m	造林前地类
华北落叶松林(001)	1 400	600	西北	3	8	1×2	6	退耕地
华北落叶松林(002)	1 673	600	无	0	9	1×2	6	退耕地
华北落叶松林(003)	1 450	600	无	0	15	2×2	6	荒地
华北落叶松林(004)	1 613	600	北	11	30	1×1	6	荒地
樟子松林(005)	1 568	600	东	4	8	1×2	6	退耕地
樟子松林(006)	1 254	600	东	15	24	2×3	6	荒地
北京杨林(007)	1 354	600	无	0	5	2×3	8	退耕地
北京杨林(008)	1 494	600	无	0	25	3×3	8	荒滩

木法选取 1 株标准木进行树干解析,根据解析木计算树木材积、林分蓄积量等。同时,调查记录样地内所有幼苗种类及株数。在标准木下选取 1 个 2 m×1 m 的小样方收集枯落物,烘干称重。于每个样地内随机设置 5 个 1 m×1 m 草本样方,记录各样方内出现的草本植物种类、高度、频度、盖度及密度等,并计算草本植物的 Margalef 丰富度指数、Richness 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数^[7],公式如下:

Margalef 丰富度指数: $R_1 = (S - 1)/\ln N$

Richness 丰富度指数: $R_2 = S/N^{-2}$

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

Simpson 多样性指数: $D = 1 - \sum P_i^2$

Pielou 均匀度指数: $E = H/\ln S$

式中, S 为标准样地内林下各层次物种数目; N 为标准样地内林下各层次多度指标总和; N_i 为第 i 个种多度指标; $P_i = N_i/N$, $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ 。

在样地内随机挖取 3 个土壤剖面,进行机械分层,按照 0~10、10~20 和 20~40 cm 的深度取样,分别测定其田间持水量、毛管持水量、饱和持水量、土壤容重、土壤总孔隙度、毛管孔隙度以及土壤空气孔隙度等土壤水物理性质^[8];分别测定其全 N、碱解 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K、土壤有机质含量等土壤化学性质。土壤有机质采用重铬酸钾氧化硫酸亚铁滴定法测定,全 N 采用凯氏定氮法测定,碱解 N 采用碱解扩散法测定,全 P 采用碱溶钼蓝比色法测定,速效 P 采用 NaHCO₃ 振荡提取钼锑抗比色法测定,全 K 采用火焰光度法测定,速效 K 采用乙酸铵浸提 - 火焰光度法测定^[9]。

2.3 稳定性评价方法 模糊综合评价法:模糊综合评价假设了每个参与评价的指标因子的权重都是相等的。首先,对每一个参与评价的指标因子数据进行标准化处理,以便能更直观进行评价比较;然后用每一样地各项评价指标因子的标准化值作为森林群落稳定性综合评判的标准,进行稳定性等级的评价^[10]。

标准化处理:将各样地内参与模糊综合评判的同种评价指标因子的数据进行排列分析,选择参数最大值作为分母,将每一个具体值作为分子,将此比值作为标准化处理后的参数值,并将每个组织层次所有参与评价指标因子的标准化后参数值求其平均值作为这一组织层次的标准化后参数值。

$$U_i = X_i/X_{\max} \quad (\text{I})$$

$$Q_k = (\sum_{i=1}^n U_{ki})/n \quad (\text{II})$$

式中, U_i 为 i 评价指标因子标准化后参数值; X_i 为 i 评价指标因子样地观测值; X_{\max} 为所有样地中 i 评价指标因子最大值; Q_k 为第 k 指标层所有评价指标因子标准化后参数值的平均值; n 为第 k 层评价指标因子的总数。

隶属函数值计算:对不同样地的同一层次的参数值计算其隶属函数值,最后用同一样地的所有组织层次的隶属函数值的平均值作为这一样地的稳定性指数值。

$$S_{kj} = (Q_{kj} - Q_{k\min})/(Q_{k\max} - Q_{k\min}) \quad (\text{III})$$

$$H_j = (\sum_{k=1}^m S_{kj})/m \quad (\text{IV})$$

式中 S_{kj} 为 j 样地 k 层的隶属函数值; Q_{kj} 为 j 样地 k 层的参数值; $Q_{k\min}$ 为 k 层所有样地中最小参数值; $Q_{k\max}$ 为 k 层所有样地中最大参数值; H_j 为 j 样地的隶属函数值即稳定性指数值; m 为一个样地中层次总数。

文中参考廖玉静^[11]、刘振乾等^[12]对湿地生态系统稳定性评价等级的评定标准,结合模糊综合评价计算的稳定性指数值 H_j ,将防风固沙林植物群落稳定性依次划分为 0~0.2 很不稳定;0.2~0.4 不稳定;0.4~0.6 轻度稳定;0.6~0.8 中度稳定;0.8~1.0 高度稳定 5 个等级层次。

2.4 稳定性评价指标体系构建 合理的稳定性评价指标能准确地反映出森林生态系统的实际情况,评价森林生态系统的稳定性状况应选择最直接、最有效、最关键的指标因子。在遵循科学性、可操作性、系统性、一致性和适用性等原则指导下^[13-17],防风固沙林植物群落,作为人工林植物群落,林分结构单一,林分结构方面的指标因子可略去。作为坝上防风固沙林,气候干旱、风沙大,其稳定性首先体现在林木植物对环境的适应性方面,所以,林木生长状况和林下草本植物多样性应作为防风固沙林稳定性评价重要指标。同时,土壤理化性质改善是沙漠化土地恢复的最终目标,对涵养水土、稳定地表有直接的作用。综上所述,此次冀北沙化土地上防风固沙林植物群落稳定性评价指标体系从土壤理化性质、林木生长状况以及林下草本植物多样性 3 个方面的指标因子筛选构建。

2.5 数据处理 应用 Excel2003、ForStat 以及 SPSS15.0 进行数据处理和分析。

3 结果与分析

3.1 稳定性评价指标体系的建立 针对调查中所获得的土壤理化性质(田间持水量、毛管持水量、饱和持水量、土壤容

重、土壤总孔隙度、毛管孔隙度、空气孔隙度、全 N、碱解 N、全 P、速效 P、全 K、速效 K 以及土壤有机质含量)、林木生长状况(胸径、树高、材积平均生长量和林分蓄积量、枯落物生物量)和林下草本植物多样性(Margalef 丰富度指数、Richness 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数以及 Pielou 均匀度指数)3 个方面的所有可利用指标因子,运用 SPSS 软件对各层可利用指标因子进行相关性分析,为了评价过程的简单可操作性和评价结果的科学准确性,将多个呈极显著相关的指标因子剔除^[18],筛选出科学合理的指标因子构建适合于该地的稳定性评价指标体系(表 2~5)。

由表 2 可知,将所有土壤物理性质指标因子中呈极显著相关的指标因子剔除后,选择出田间持水量和空气孔隙度 2 个指标因子代表土壤物理性质参与稳定性评价指标体系的

构建。

由表 3 可知,将所有土壤化学性质指标因子中呈极显著相关的指标因子剔除后,可以选择出全 N、速效 P 和速效 K 3 个指标因子代表土壤化学性质参与稳定性评价指标体系的构建。

由表 4 可知,将所有林木生长状况指标因子中呈极显著相关的指标因子剔除后,可以选择出胸径平均生长量、材积平均生长量、枯落物生物量和苗木更新 4 个指标因子代表林木生长状况参与稳定性评价指标体系的构建。

由表 5 可知,将所有林下草本植物多样性指标因子中呈极显著相关的指标因子剔除后,可以选择出 Margalef 丰富度指数、Richness 丰富度指数和 Simpson 多样性指数 3 个指标因子代表林下草本植物多样性参与稳定性评价指标体系的构建。

表 2 土壤物理性质指标因子相关性

指标因子	田间持水量	饱和持水量	土壤容重	土壤总孔隙度	毛管孔隙度	空气孔隙度
田间持水量	1	0.992**	0.990**	-0.971**	0.989**	-0.451
毛管持水量		1	0.995**	-0.986**	0.975**	-0.366
饱和持水量			1	-0.988**	0.968**	-0.321
土壤容重				1	-0.958**	0.281
土壤总孔隙度					0.963**	-0.281
毛管孔隙度					1	-0.528
空气孔隙度						1

注:*表示 0.05 水平显著相关;**表示 0.01 水平极显著相关。下同。

表 3 土壤化学性质指标因子相关性

指标因子	全 N	碱解 N	全 P	速效 P	全 K	速效 K	有机质
全 N	1	0.989**	0.945**	0.765*	0.870**	0.713*	0.994**
碱解 N		1	0.931**	0.814*	0.854**	0.731*	0.995**
全 P			1	0.726*	0.975**	0.755*	0.943**
速效 P				1	0.702	0.833*	0.793*
全 K					1	0.711*	0.867**
速效 K						1	0.753*
有机质							1

表 4 林木生长状况指标因子相关性

指标因子	胸径平均生长量	树高平均生长量	材积平均生长量	林木蓄积量	枯落物生物量	苗木更新
胸径平均生长量	1	0.943**	0.364	-0.115	-0.17	-0.503
树高平均生长量		1	0.241	-0.241	-0.221	-0.493
材积平均生长量			1	0.872**	0.058	-0.408
林木蓄积量				1	0.262	-0.226
枯落物生物量					1	-0.131
苗木更新						1

表 5 林下草本植物多样性指标因子相关性

指标因子	Margalef 丰富度指数	Richness 丰富度指数	Simpson 多样性指数	Shannon-Wiener 多样性指数	Pielou 均匀度指数
Margalef 丰富度指数	1	0.792*	0.708*	0.772*	0.559
Richness 丰富度指数		1	0.672	0.760*	0.425
Simpson 多样性指数			1	0.984**	0.944**
Shannon - Wiener 多样性指数				1	0.910**
Pielou 均匀度指数					1

从以上 25 项指标因子中最终筛选出来适合于冀北沙化土地上防风固沙林稳定性评价的指标体系包括有:土壤理

化性质(田间持水量、空气孔隙度、全 N、速效 P 和速效 K)、林木生长状况(胸径平均生长量、材积平均生长量、枯落物生

物量和苗木更新)和林下草本植物多样性(Margalef 丰富度指数、Richness 丰富度指数和 Simpson 多样性指数)共 3 个方面 12 项指标因子。

3.2 稳定性评价 在已建立适合用于冀北沙化土地上防风固沙林稳定性评价指标体系的基础上,运用模糊综合评价法对 8 块样地进行了稳定性评价,各样地稳定性评价等级为 8 年生樟子松林、25 年生北京杨林很不稳定;8 年生华北落叶松林、5 年生北京杨林不稳定;15 年生华北落叶松林、24 年生樟子松林轻度稳定;9 年生华北落叶松林和 30 年生华北落叶松林高度稳定。各样地稳定性指数如表 6 所示。

表 6 不同林分稳定性比较

样地编号	样地类型	稳定性指数	稳定性
002	9 年生华北落叶松林	0.870	高度稳定
004	30 年生华北落叶松林	0.830	高度稳定
006	24 年生樟子松林	0.419	轻度稳定
003	15 年生华北落叶松林	0.414	轻度稳定
001	8 年生华北落叶松林	0.291	不稳定
007	5 年生北京杨林	0.279	不稳定
008	25 年生北京杨林	0.171	很不稳定
005	8 年生樟子松林	0.147	很不稳定

对比不同树种植物群落稳定性指数,可以得出结论:华北落叶松林稳定性 > 樟子松林稳定性 > 北京杨林稳定性。其中,林龄相差较大的 9 年生和 30 年生华北落叶松林最为稳定,而年龄相近的 2 个 8 年生华北落叶松林与 9 年生华北落叶松林稳定性等级情况较为反常。结合稳定性计算过程中数据资料可知,在已构建的评价指标体系中,导致 8 年生华北落叶松林稳定性指数显著小于 9 年生华北落叶松林的主要准则层因素是土壤理化性质和林木生长状况,其隶属函数值 S 分别为:8 年生华北落叶松林(0.092, 0.183) < 9 年生华北落叶松林(1.000, 1.000);具体到指标层的指标因子则主要有田间持水量(16.366% < 45.079%)、全 N(0.793 g/kg < 3.926 g/kg)、速效 P(2.703 mg/kg < 5.370 mg/kg)、速效 K(74.083 mg/kg < 299.362 mg/kg)和枯落物生物量(3.304 kg < 8.791 kg)5 个指标因子。在调查中得知 8 年生华北落叶松林处于上风方向,有较为严重的风蚀现象,正是由于风蚀导致了以上 5 个指标因子的数值相比于 9 年生华北落叶松林明显偏小,从而导致年龄相近的 2 个华北落叶松植物群落的稳定性等级差异较大。由以上结果可以看出,年龄不是影响该地防风固沙林稳定性的主要因素,而树种是决定其稳定的主要因子,华北落叶松林的稳定性普遍要好于其他 2 个树种,北京杨林稳定性最差,说明杨树不是冀北坝上沙漠化土地防风固沙林的优良造林树种。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)该文构建了适合用于冀北坝上地区防风固沙林植物群落稳定性评价的指标体系,共 3 个方面 12 项指标因子,分别为土壤理化性质(田间持水量、空气孔隙度、全 N、速效 P 和速效 K)、林木生长状况(胸径平均生长量、材积平均生长量、枯落物生物量和苗木更新)和林下草本植物多样性(Mar-

galef 丰富度指数、Richness 丰富度指数和 Simpson 多样性指数)。

(2)基于稳定性指数计算的 8 块样地的稳定性评价结果显示:9 年生华北落叶松林(0.870)和 30 年生华北落叶松林(0.830)为高度稳定,15 年生华北落叶松林(0.414)和 24 年生樟子松林(0.419)为轻度稳定,8 年生华北落叶松林(0.291)和 5 年生北京杨林(0.279)为不稳定,6 年生樟子松林(0.147)和 25 年生北京杨林(0.171)为很不稳定;就不同树种稳定性比较而言,华北落叶松林稳定性 > 樟子松林稳定性 > 北京杨林稳定性。

4.2 讨论

(1)在对人工林植物群落进行稳定性评价的工作中,其评价指标体系的构建对于稳定性评价的过程和结果均具有重要意义。而对于人工林生态系统稳定性的评价,学术界并没有形成统一固定的模式或体系,人们在对其具体的生态系统进行稳定性研究时更多的是根据具体研究对象给出相对应的稳定性指标^[19]。在构建森林植物群落稳定性评价指标体系时,不一定要得出一个适合于运用到所有森林生态系统的评价指标体系,鉴于生态系统的复杂性,可以在已有的森林分类的基础上构建适合用于各个不同森林类型的评价指标体系。这样的思路不仅是可行的,而且是具有实际利用价值的。此次研究对象是冀北坝上沙化土地上人工防风固沙林植物群落,作为一类特殊的森林生态系统,应根据森林经营目的的不同和森林类型的不同构建适合于该森林的稳定性评价指标体系。同时在指标体系构建过程中,如果将所有可获得的指标因子都列入到指标体系中,不但使评价过程变得繁琐,而且也会导致评价结果的不真实性。所以在构建指标体系时,有必要运用一种合理的科学方法对其进行筛选。肖雁青^[18]在对北京松山自然保护区森林群落结构健康研究中采用的相关性分析法可以有效地解决这一问题。该研究在借鉴他人研究的基础上,从土壤理化性质、林木生长状况和林下草本多样性 3 方面有针对性地筛选了 12 项指标因子,将其纳入了对冀北坝上沙漠化土地上防风固沙林植物群落的稳定性评价指标体系的模型中,使得该地防风固沙林森林群落的稳定性评价更具有科学性和实用性。

(2)该研究通过选择能够反映出人工防风固沙林植物群落稳定性状况的指标因子,运用模糊综合评价法计算其隶属函数值从而衡量其相对稳定性,重点是对稳定性评价指标体系的构建。所得的评价结果符合冀北坝上森林群落的状况,华北落叶松林和樟子松林相比于北京杨林具有更好的稳定性,这一结果与赵存玉^[20]在对河北坝上风蚀沙化土地上固沙造林树种选择上的研究结论相一致,华北落叶松和樟子松是适合于冀北坝上沙化土地上固沙造林的树种。而北京杨作为阔叶树种,其蒸腾耗水量大且冬季落叶,不利于其防风固沙功能的发挥,说明杨树不是冀北坝上沙漠化土地防风固沙林的优良造林树种。

(3)防风固沙林的防护期也是人们关注的问题之一,从该文结果可以看出,在立地类型、坡向等环境条件相近的前

前提下,9年生、15年生和30年生的华北落叶松林具有相近的稳定性,这意味着在该地区,与樟子松和杨树林相比,华北落叶松林的防护期应该最长,林分稳定性维持能力最强。而樟子松幼林和老龄杨树林稳定性最差,樟子松生长速度慢,形成地面有效覆盖所用时间较长,但后期林分稳定性高。而杨树是速生树种,5年生的北京杨林反倒要比25年生的林分稳定性略高。因此,根据冀北不同树种的生长、成熟等生物学特性,通过林分稳定性评价,选择适宜的树种、制定合理的树种配置、适时的树种更新、适度的采伐等经营管理措施,进而构建稳定性高、防护功能强、短期与长期效益兼顾的防风固沙林才是冀北沙漠化土地修复的根本途径之一。

参考文献

- [1] 王国宏. 再论生物多样性与生态系统的稳定性[J]. 生物多样性, 2002, 10(1): 126-134.
- [2] ORIANS G H, DIRZO R, CUSHMAN J H. Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests[M]. Berlin, Germany: Springer-verlag, 1996: 231-239.
- [3] 曹有成, 蒋德明, 骆永明, 等. 小叶锦鸡儿防风固沙林稳定性研究[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1178-1186.
- [4] 赵娜. 冀北山地华北落叶松人工林与油松天然次生林群落稳定性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2011: 32-33.
- [5] 邢存旺. 黄羊滩人工固沙林生态稳定性的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013: 55-58.
- [6] 郑元润. 大青沟植物群落稳定性研究[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 578-

580.

- [7] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 29-36.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 34-58.
- [10] 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.
- [11] 廖玉静, 宋长春, 郭跃东, 等. 三江平原湿地生态系统稳定性评价指标体系和评价方法[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(10): 89-94.
- [12] 刘振乾, 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 241-244.
- [13] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 79-83.
- [14] 王兵, 鲁少波, 白秀兰, 等. 江西省广丰县森林生态系统健康状况研究[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(3): 521-528.
- [15] 谷建才, 陆贵巧, 白顺江. 森林健康评价指标及应用研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(2): 68-71.
- [16] 刘虹娟, 刘君昂, 郭亮. 油茶林健康评价指标体系构建初探[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 67-71.
- [17] 王雄宾. 八达岭油松林生态系统健康评价及调控研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2007: 55-56.
- [18] 肖雁青. 北京松山自然保护区森林群落结构健康研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 19-23.
- [19] 林考煊, 叶功富. 人工林生态系统稳定性研究综述[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(5): 88-94.
- [20] 赵存玉, 康春风. 河北坝上风蚀沙化地区固沙造林物种的选择[J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 63-67.

(上接第125页)

处理(5)(肉桂叶) < 处理(3)(桉树叶) < 处理(1)(空白)。方差分析显示, 区组间存在显著差异, 处理间存在极显著差异, 其中对照处理(1)与处理(4)、处理(5)差异显著, 与处理(2)、处理(6)差异极显著, 处理(2)与处理(3)、处理(4)、处理(5)差异极显著, 与处理(6)差异显著。

表1 不同处理防治红薯地下害虫的效果比较

处理	虫咬率//%	虫害指数	防效//%
(1)	74.24 aA	61.67 aA	-
(2)	18.77 abA	11.04 cC	81.92 aA
(3)	60.10 abA	51.00 abAB	17.41 bB
(4)	57.36 bA	42.65 bAB	30.45 bB
(5)	52.39 bAB	43.15 bAB	26.24 bB
(6)	46.01 cB	33.73 bBC	42.72 bB

注: 同列数据后不同大、小写字母分别表示不同处理间在0.01、0.05水平差异显著。

2.3 防效比较 由表1可知, 处理(2)(2%吡虫啉)的防效最大, 为81.92%; 处理(6)(茶子饼)防效为42.72%, 其他处理的防效等于或未超过30%, 各处理防效大小为: 处理(2)(2%吡虫啉) > 处理(6)(茶子饼) > 处理(4)(烟梗肥) > 处理(5)(肉桂叶) > 处理(3)(桉树叶)。方差分析显示, 区组

间存在显著差异, 处理间存在极显著差异, 其中处理(2)与处理(3)、处理(4)、处理(5)、处理(6)差异极显著。

2.4 综合评价 综合各项数据表明, 处理(2)(2%吡虫啉)的地下害虫防控效果最好, 其次是处理(6), 各处理综合评定排列顺序为: 处理(2)(2%吡虫啉) > 处理(6)(茶子饼) > 处理(4)(烟梗肥) > 处理(5)(肉桂叶) > 处理(3)(桉树叶)。

3 讨论

通过各处理的对比试验结果表明, 使用2%吡虫啉防治红薯地下害虫的效果较好, 其他处理虽有一定的防控效果, 但效果不明显, 因此, 应对2%吡虫啉进一步试验示范, 以便在生产中推广应用。

由于红薯地下害虫种类多、发生时间不一、危害期长, 防治难度大, 如何选择最佳的防治时间、技术和方法等问题需要进一步研究。

参考文献

- [1] 刘起丽, 熊延坤, 张建新, 等. 东兴市特色作物病虫害及其防治方法[J]. 中国植保导刊, 2014(6): 71-72, 28.
- [2] 秦素研, 王俊岭, 刘志坚, 等. 四种药剂对甘薯地下害虫的防治研究[J]. 杂粮作物, 2010, 30(4): 297-298.
- [3] 储凤丽, 张曦, 任波, 等. 甘薯地下害虫和茎线虫病防治药剂筛选试验[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(8): 117, 188.