

# 森林生态系统稳定性的养分原理\*

刘增文<sup>a</sup>, 王乃江<sup>b</sup>, 李雅素<sup>c</sup>, 吕月玲<sup>a</sup>

(西北农林科技大学 a 资源环境学院; b 林学院; c 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 从森林组分的易变性、对干扰的反作用、养分的储备及其流动规律等角度,分析了森林生态系统稳定性的原理,并对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)4种人工林进行了典型分析。结果表明,这4种人工林的养分均以钝性储备为主,土壤中的N、P、K、Ca和Mg养分贮量占整个系统对应养分总贮量的比例均大于92%,而且土壤养分均基本保持平衡或发生微弱亏损(年亏损率0.046%~0.121%),而整个生态系统的养分均基本保持平衡或发生微弱盈余(年盈余率0.005%~0.016%);与其他人工林相比,刺槐人工林为高吸收、高归还、快速循环、养分浪费型(较低养分生产力),其养分流速明显高于其他林地,预示刺槐林在面对微小干扰时具有较强的恢复力,但面对严重的干扰时其恢复力较差。同时作者提出,进行生物地球化学分类是研究森林生态系统功能稳定性的重要途径。

[关键词] 森林稳定性; 森林养分; 森林干扰

[中图分类号] S718.55+4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)12-0129-06

鉴于森林在人类生存环境中的重要生态功能和地位以及目前森林资源所面临的危机,在大力提倡植树造林、保护森林资源和杜绝人为破坏的同时,保持现有森林生态系统的稳定性已刻不容缓<sup>[1]</sup>。从理论上搞清森林生态系统稳定性的机理以及影响稳定性的因素,是认识森林发展演化规律的惟一途径<sup>[2]</sup>。稳定性已成为生态系统研究中的一个核心问题<sup>[3]</sup>。

森林的稳定性包括结构稳定性和功能稳定性两个方面<sup>[4]</sup>,以往的研究大多集中于结构稳定性方面,如研究系统的群落结构和生物多样性与稳定性的关系等<sup>[5-6]</sup>,而对功能稳定性的研究较少。为此,本文尝试从养分循环利用的角度对森林生态系统稳定性进行理论研究,并对刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)4种人工林进行典型森林生态系统的稳定性分析,以期对森林的经营管理提供科学指导。

## 1 森林生态系统稳定性释义

稳定是相对干扰而言的,具有较强的抗干扰能力或受扰后恢复能力的系统便是一个相对稳定的系统<sup>[7]</sup>。当干扰力相同时,具有较大输入量的体系更稳

定;当输入量相同时,干扰力较小的系统更稳定<sup>[8]</sup>。体系不是消极地承受干扰,由干扰引起的体系状态减弱可以起到增强输入效力的作用,从而使体系得到一种比通常情况更高的恢复水平<sup>[8]</sup>。稳定具有多元层次性,系统中不同组分对各种干扰的敏感程度不同<sup>[9]</sup>。系统的养分流速、系统容量与稳定存在一定的关系,在微小干扰下,高流速体系较低流速体系具有较大的恢复力,但在严重干扰时,低流速体系较高流速体系显示出较大的最后恢复力<sup>[9]</sup>,这是因为低流速体系比高流速体系具有较大的钝性养分储备。即在面对微小干扰时,系统的流速对恢复力起决定作用,而在面对巨大干扰时,系统的容量对恢复力起决定作用。体系对干扰的敏感强度与受扰组分的重要程度成正比,例如,当随降雨的养分输入量占土壤原有的养分贮量的比例较小时,体系对该干扰的敏感强度很低;当随径流的养分输出量占体系原有养分贮量的比例较大时,由于径流可以增强土壤矿物的风化,促进土壤矿物养分的释放,所以体系对该干扰的敏感强度较高<sup>[10]</sup>。系统的稳定性还取决于稳定的基本条件,当一种体系仅依靠较大的输入量而保持一定的稳定状态时,这种稳定是暂时的,当输入量改变时,稳定性也随之改变;而当一种体系的稳定性

\* [收稿日期] 2005-12-09

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30471376);中国科学院成都生物研究所开放实验室基金项目;西北农林科技大学2005年人才计划项目

[作者简介] 刘增文(1965-),男,陕西横山人,副教授,博士,主要从事森林生态学研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

是依靠其内部完善的自动调节机制时,这种稳定性是永久的<sup>[11]</sup>。

## 2 森林生态系统稳定性的养分原理

### 2.1 森林生态系统各组分的易变性分析

森林生态系统中的植物、土壤和枯落物组分对各种干扰表现出不同的易变性,分析各种干扰下各组分的易变性是研究森林生态系统稳定性的必要基础<sup>[8,11]</sup>。

砍伐干扰的结果是随着林木的大量输出而丧失大量养分,所以砍伐干扰下植物组分的易变性最强。砍伐残余物对于枯落物组分而言是数量不小的输入,而且加速了土壤风化,所以枯落物组分和土壤组分都表现出一定的易变性。火灾干扰与砍伐相类似,但各组分的易变性更为强烈。放牧干扰下,枯落物和土壤组分的易变性较强,而植物组分的易变性相对较弱。强度降水干扰会造成养分因淋溶、径流而损失,因此,强降水干扰下土壤组分的易变性较强,而植物组分、枯落物组分的易变性相对较弱。干旱干扰使土壤湿度极度降低,进而影响植物的生长状况。因此,干旱干扰下土壤组分的易变性最强,其次是植物组分,枯落物组分的易变性最弱。酸雨干扰使土壤理化性质改变,从而影响了植物的生长状况。所以,酸雨干扰下土壤组分易变性最强,植物组次之,枯落物组分最弱。霜冻、雪压和风折等干扰下,植物组分的易变性最强,枯落物组分和土壤组分的易变性较弱。

### 2.2 森林生态系统对干扰的反作用

森林生态系统常常会采取积极的方式来弥补干扰带来的损失<sup>[12-13]</sup>。如把一个地区的植被清除掉,系统可以通过原有的本地植物种属较快地生长起来或者通过其他先锋植物种属的迅速侵入而重新恢复。因各种干扰造成的土壤养分损失,森林会通过促进土壤矿物的风化,增加系统的养分输入量等作用来弥补,当这种养分输入量增加到足以弥补养分损失时,系统便恢复稳定。此外,森林生态系统对干扰的反作用取决于系统的生态整合性、自维持能力、自调节能力和自组织能力。其中,生态整合性是系统稳定的结构基础<sup>[14-15]</sup>;自维持能力直接关系到生态系统的生存状况<sup>[16-17]</sup>;自调节能力关系到生态系统的健康和发育状况<sup>[18-19]</sup>;自组织能力关系到生态系统能否进化发展<sup>[20]</sup>。

### 2.3 森林生态系统中养分储备形式与系统的恢复力

在森林生态系统中,植物为活性组分,枯落物和

土壤为钝性组分。由于活性组分和钝性组分对生态干扰的恢复力不同,所以由不同组分组成的不同养分储备组合的森林生态系统面对干扰时的反应也有所不同<sup>[11]</sup>。以活性组分中养分储备为主的森林生态系统(如枯落物较少或被清除、土壤贫瘠化或水土流失严重的成熟或老龄化林地),当其面临轻微的非全局性干扰时(如间伐),由于活性组分的积极恢复,整个系统会逐渐恢复稳定;但当其面临剧烈的全局性干扰时(如皆伐、林火、干旱等),由于对活性组分的破坏很大,所以整个系统的恢复很困难。以钝性组分中养分储备为主的森林生态系统(如火烧或砍伐迹地的人工或天然更新幼林)在面临轻微的、非全局性的干扰时,体系中的活性组分难以迅速恢复,但当面临剧烈的全局性干扰时,由于钝性组分中的养分储备巨大,体系的活性组分最终可以慢慢的恢复过来。此外,一个森林生态系统究竟属于哪一种养分储备体系类型不能简单地予以划分,而且各组分或整个体系的恢复效果和速率也是一个相对的概念。同时,对干扰强度的理解不能片面化,同样的干扰对不同森林生态系统来讲,其干扰强度和效果可能不同。

### 2.4 森林生态系统养分的流速与系统的恢复力

生物组分和非生物组分对干扰的敏感性不同,生物组分往往在遭到微小干扰时就受到破坏,而非生物组分往往在遭到较大干扰时才被改变。由于不同生态系统中物质和能量流动速率的差别,造成其恢复能力不尽相同<sup>[21]</sup>。养分高速流动的系统,当遭到较小的干扰时,系统本身会自行增强抗干扰能力,因而能非常迅速地恢复原状;但当遭受巨大干扰时,系统通常不能恢复原状。养分低速流动的系统,在遭受干扰时,系统本身不会产生多大的抗干扰力,但因其比养分高速流动系统具有较多的钝性储备,因而恢复比高速流动系统容易。因此,在微小干扰的情况下,高流速系统较低流速系统具有较大的恢复力,但在巨大的干扰情况下,低流速系统较高流速系统具有较大的最后恢复力。

## 3 典型森林生态系统养分状况及其稳定性分析

本研究以陕西淳化13年生刺槐(*Robinia pseudoacacia*)人工林<sup>[22-23]</sup>、黑龙江尚志25年生兴安落叶松(*Larix gmelinii*)人工林<sup>[24]</sup>、河北隆化28年生油松(*Pinus tabulaeformis*)人工林<sup>[25]</sup>和湖南会同25年生杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林<sup>[26]</sup>为例进行典型森林生态系统养分状况及其稳定性分析。

### 3.1 森林生态系统养分分布格局

森林生态系统的养分主要分布于土壤组分、植物组分(包括乔木层、下木及林下植被等)和枯落物组分中,而且不同类型和不同发育时期的森林其养分分布格局(表1)有显著差异。由表1可知,在整个森林生态系统中,养分贮量最高的是土壤,其次为植

物组分,枯落物组分最低。土壤中的N素养分贮量占整个系统N素总贮量的92.01%~94.68%,P、K、Ca和Mg养分贮量占整个系统对应养分总贮量的比例均大于97%。说明这些森林生态系统的养分均以钝性储备为主。

表1 森林生态系统中不同组分的养分贮量及其所占比例

Table 1 Nutrient storage in different ecological components and its percentages

人工林类型 和年龄 Type of forest and age	组分 Component	N		P		K		Ca		Mg	
		贮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Storage	比例/% Ratio								
13年生刺槐 <i>R. pseudacacia</i> (13 year)	植物 Plant	641.68	5.87	35.18	0.94	165.46	0.11	873.75	0.52	78.37	0.43
	枯落物 Litter	231.73	2.12	11.59	0.31	26.04	0.02	548.09	0.32	40.67	0.22
	土壤 Soil	10 067	92.01	3 709	98.75	154 420	99.87	167 670	99.16	18 316	99.35
	总计 Total	10 940.41	100	3 755.77	100	154 611.5	100	169 091.84	100	18 435.04	100
25年生兴安落叶松 <i>L. gmelinii</i> (25 year)	植物 Plant	367.82	2.79	83.21	1.43	223.36	0.13	366.65	0.80	93.38	0.23
	枯落物 Litter	332.63	2.53	28.58	0.49	12.11	0.007	496.18	1.08	366.78	0.92
	土壤 Soil	12 467	94.68	5 699	98.07	166 610	99.86	44 865	98.11	39 305	98.84
	总计 Total	13 167	100	5 811	100	166 845	100	45 728	100	39 765	100
28年生油松 <i>P. tabulaeformis</i> (28 year)	植物 Plant	205.26	3.18	27.22	1.18	140.12	0.28	158.98	0.53	43.88	0.20
	枯落物 Litter	145.36	2.26	19.68	0.85	95.40	0.19	124.78	0.41	23.76	0.11
	土壤 Soil	6 092.55	94.56	2 260.58	97.97	49 897.69	99.53	29 860.81	99.06	21 503.43	99.69
	总计 Total	6 443.17	100	2 307.48	100	50 133.21	100	30 144.57	100	21 571.07	100
25年生杉木 <i>C. lanceolata</i> (25 year)	植物 Plant	533.6	5.36	32.10	1.60	288.3	0.46	578.1	2.21	154.0	0.21
	枯落物 Litter	52.2	0.52	1.90	0.09	29.4	0.05	40.5	0.15	54.1	0.07
	土壤 Soil	9 366	94.11	1 971	98.30	61 892	99.49	25 515	97.63	71 272	99.71
	总计 Total	9 951.8	100	2 005	100	62 209.7	100	21 633.6	100	71 480.1	100

注:土壤厚度为0~50 cm。

Note: Soil depth 0-50 cm.

### 3.2 森林生态系统的生物地球化学分类

森林生态系统可以从结构和功能两个方面来描述,也可从结构和功能两方面进行分类。以往对森林生态系统的分类主要是从结构和决定其结构的各种环境因子的角度进行的,包括气候分类法、地文分类法、植被分类法和生态系统分类法等,而从功能角度进行分类极为少见。早在1967年,Rodin等<sup>[27]</sup>曾进行过这方面的尝试,他根据森林生物量大小、凋落数量、凋落物化学组成和凋落物分解率等特征把植被划分成12个主要类型。以后Krumlik<sup>[28]</sup>和Yarie<sup>[29]</sup>又先后进行了这方面的工作,但研究均很简单。国内此方面的研究基本处于空白状态,这可能是因为资料的限制和功能参数选取及计算的困难所致。但作者认为,在我国对众多森林生物地球化学循环的研究基础上,进行森林的生物地球化学分类是可行的,而且是一项颇有意义的工作,因为森林的生物地球化学循环特征关系到所采用的森林立地管理方法和措施,对指导生产实践有潜在的价值。

本研究以反映森林养分特征的土壤养分盈余

率、系统养分盈余率、养分吸收率、养分归还率、养分生产力和养分再循环指数等参数<sup>[30-31]</sup>作为分类指标,对森林进行了生物地球化学分类,但由于该项工作的复杂性,因此仅对以上4种典型的人工林进行了简单的比较,结果见表2。由表2可知,4种典型的人工林分别具有不同的生物地球化学循环特征:刺槐人工林为高吸收、高归还、快速循环、养分浪费型(较低养分生产力);兴安落叶松人工林为低吸收、中等归还、缓慢循环、养分较节约型(中等养分生产力);油松人工林为较低吸收、较低归还、较慢循环、养分较节约型(中等养分生产力);杉木人工林为中等吸收、高归还、较慢循环、养分高度节约型(高养分生产力)。此外,在以上4种人工林中,土壤养分均基本保持平衡或发生微弱亏损(各种养分年均亏损率0.046%~0.121%),而整个生态系统的养分均基本保持平衡或发生微弱盈余(各种养分年均盈余率0.005~0.016%),说明这些人工林生态系统均已进入相对平衡阶段。

表2 4种人工林生态系统养分循环特征参数比较

Table 2 Comparison of characteristics of nutrient cycle in different forest ecosystem s

人工林 类型和年龄 Type of forest and age	养分元素 Nutrient	土壤养分 年盈余率/% Ratio of annual nutrient surplus of soil	系统养分 年盈余率/% Ratio of annual nutrient surplus of system	养分 年吸收率/% Ratio of annual nutrient absorption	养分 年归还率/% Ratio of annual nutrient returning	养分生产力/ (t · kg <sup>-1</sup> ) Nutrient productivity	养分再循环 指数 <sup>[31]</sup> Index of nutrient recycle
刺槐(13年) <i>R. pseudoacacia</i> (13 yr)	N	- 0.518	0.017	0.167	68.00	0.0857	42.79
	P	- 0.062	0.006	0.028	76.05	1.3889	21.91
	K	- 0.005	0.001	0.003	83.84	0.2732	13.28
	Ca	- 0.003	0.002	0.013	75.02	0.0663	45.98
	Mg	- 0.020	0.002	0.018	87.38	0.4444	38.91
	平均 Average	- 0.121	0.005	0.046	78.06	0.4517	32.57
	评价 Evaluate	微弱亏损 Slight deficit	微弱盈余 Slight surplus	高 High	高 High	较低 Lower	快速 Fast
兴安落叶松(25年) <i>L. gmelinii</i> (25 yr)	N	- 0.119	0.067	0.44	57.40	0.2494	1.84
	P	- 0.078	0.014	0.20	55.20	1.1905	3.86
	K	- 0.008	0.002	0.03	67.70	0.2558	2.51
	Ca	- 0.058	- 0.006	0.13	59.90	0.2370	3.55
	Mg	- 0.015	0.001	0.04	63.40	0.7937	2.88
	平均 Average	- 0.056	0.016	0.17	60.72	0.5452	2.93
	评价 Evaluate	微弱亏损 Slight deficit	微弱盈余 Slight surplus	低 Low	低 Low	中 Neutral	缓慢 Slow
油松(28年) <i>P. tabulaeformis</i> (28 yr)	N	- 0.280	0.030	0.63	50.27	0.1914	8.74
	P	- 0.107	0.010	0.25	52.93	1.2987	5.42
	K	- 0.028	0.001	0.06	51.62	0.2491	5.03
	Ca	- 0.049	- 0.006	0.13	66.68	0.1889	6.04
	Mg	- 0.023	- 0.005	0.05	64.17	0.6748	9.95
	平均 Average	- 0.097	0.006	0.22	57.13	0.5206	7.04
	评价 Evaluate	微弱亏损 Slight deficit	微弱盈余 Slight surplus	较低 Lower	低 Low	中 Neutral	较慢 Slower
杉木(25年) <i>C. lanceolata</i> (25 yr)	N	- 0.135	0.028	0.62	74.91	0.1605	7.45
	P	- 0.062	0.013	0.28	51.63	3.2258	4.15
	K	- 0.007	0.009	0.03	67.65	0.3205	6.03
	Ca	- 0.020	0.028	0.31	79.85	0.1500	3.47
	Mg	- 0.006	- 0.001	0.11	100.00	0.4484	8.84
	平均 Average	- 0.046	0.015	0.27	74.81	0.8610	5.99
	评价 Evaluate	微弱亏损 Slight deficit	微弱盈余 Slight surplus	较低 Lower	高 High	高 High	慢速 Slower

注: 土壤养分年盈余率/% = 100% × (土壤养分年收入 - 土壤养分年支出) / 0~50 cm 土层养分储量; 系统养分年盈余率/% = 100% × (系统养分年收入 - 系统养分年支出) / 整个系统养分储量; 养分年吸收率/% = 100% × 森林植物养分年吸收量 / 0~50 cm 土层养分储量; 养分年归还率/% = 100% × 通过凋落物和雨水淋溶年归还土壤养分量 / 森林植物养分年吸收量; 养分生产力/(t · kg<sup>-1</sup>): 植物从土壤吸收单位重量养分所能生产的生物量干重。

Note: Ratio of annual nutrient surplus of soil/% = 100% × (Annual nutrient input of soil - Annual nutrient output of soil) / Nutrient storage in soil of depth 0-50 cm; Ratio of annual nutrient surplus of system/% = 100% × (Annual nutrient input of system - Annual nutrient output of system) / Nutrient storage in total system; Ratio of annual nutrient absorption/% = 100% × Annual nutrient absorption from soil / Nutrient storage in soil of depth 0-50 cm; Ratio of annual nutrient returning/% = 100% × Annual nutrient returning through litter and leaching / Annual nutrient absorption from soil; Nutrient productivity / (t · kg<sup>-1</sup>): Dry weight of biomass production per kilogram of nutrient absorbed from soil

### 3.3 刺槐、兴安落叶松、油松和杉木人工林生态系统稳定性分析

森林生态系统的养分流速可以用养分再循环指数来衡量, 即再循环指数较高的系统, 其养分流速较高。由表2可知, 各类森林生态系统中的养分流速

为: 刺槐 > 油松 > 杉木 > 兴安落叶松, 这说明在干扰小的情况下, 各类森林的恢复力次序为: 刺槐 > 油松 > 杉木 > 兴安落叶松; 但在干扰严重的情况下, 各类森林的恢复力次序为: 兴安落叶松 > 杉木 > 油松 > 刺槐。由于陕西渭北刺槐人工林的养分流速明显高

于其他森林类型, 所以这种恢复力的差异更为突出。以上结果表明, 在面对微小干扰时, 刺槐林地具有较强的恢复力, 但面对严重的干扰时, 刺槐林地的恢复力极差, 这与实际情况也比较符合。因为刺槐是陕西渭北黄土残塬区荒坡造林的先锋树种, 环境条件的微弱变化并不会对刺槐的生长发育和更新造成较大的影响, 但是由于林地所处的立地环境条件恶劣, 森林稳定性较差, 严重的干扰将使其受到重创而走向衰亡, 这也体现了黄土残塬沟壑区森林立地环境的脆弱性。由此可知, 在生态脆弱地区的营林实践中, 适度的较轻微的干扰有利于系统的再恢复, 而巨大的破坏性干扰则导致森林系统的彻底退化。

## 4 结 语

关于森林生态系统稳定性养分原理的讨论和应

用, 仅仅是对生态系统稳定性问题研究的一种新的尝试, 对4种典型森林生态系统稳定性分析的结论也仅具有相对意义。由于森林养分分布格局和养分循环状况是影响生态系统稳定性的重要因素, 因此深入了解森林养分动态并对其进行生物地球化学分类, 将是研究森林生态系统稳定性的重要途径。目前, 关于森林养分的研究已经积累了大量的资料和数据<sup>[32]</sup>, 但由于缺乏统一的标准和系统的整理, 对森林进行生物地球化学系统分类尚存在一定难度, 而关于森林的生物地球化学性质与系统稳定性的关系及其机理的研究也处于讨论阶段, 难以在生产实践中得到广泛的应用。但是, 对生态系统稳定性概念本身及其衡量标准和量化指标的进一步研究, 将有助于这些问题的逐步解决。

### [参考文献]

- [1] 范冬萍 可持续发展: 当代人与自然关系的系统辩证[J]. 大自然探索, 1997, 16(4): 106-109
- [2] 徐国祯 森林生态系统的经营——21世纪森林经营的新趋势[J]. 世界林业研究, 1997(2): 15-20
- [3] 曾德惠, 姜凤岐, 范志平, 等. 生态系统健康与人类可持续发展[J]. 应用生态学报, 1999, 10(6): 751-756
- [4] 岳天祥, 马世骏 生态系统稳定性研究[J]. 生态学报, 1991, 11(4): 361-366
- [5] 徐 明, 潘向丽 蒲洼农业生态系统能源的稳定性及其动态[J]. 生态学报, 1995, 15(1): 72-78
- [6] 侯向阳 农业生态系统的稳定机制[J]. 生态学杂志, 1990, 9(6): 40-42
- [7] 刘增文 生态系统稳定性研究的历史与现状[J]. 生态学杂志, 1997, 16(2): 58-61
- [8] Bormann F H 鲍尔曼 森林生态系统的格局与过程[M]. 李景文, 译 北京: 科学出版社, 1985: 194-197
- [9] MacArthur R. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability[J]. Ecology, 1955, 36: 533-536
- [10] Elton C S. The ecology of invasions by animals and plants[M]. London: Chapman and Hall, 1958: 143-153
- [11] Trudgill S T. Soil and vegetation systems[M]. Oxford: Clarendon Press, 1977: 122-135
- [12] O'Neill R V. Hierarchy theory and global change[M] // Rossall T, Woodmansee R G, Risser P G. Spatial and temporal variability in biospheric and geospheric processes New York: John Wiley & Sons, 1988: 29-45
- [13] Turner M G, Romme W H, Gardener R H, et al A revised concept of landscape equilibrium: disturbance and stability on scaled landscapes[J]. Landscape Ecology, 1993, 8: 213-227
- [14] Finn J T. Measures of ecosystem structure and function derived from analysis of flow [J]. J Theor Biol, 1976, 56: 363-380
- [15] Rowe J S. The level of integration concept and ecology[J]. Ecol, 1961, 42: 420-427
- [16] Westman E E. Measuring the inertia and resilience of ecosystem [J]. Bioscience, 1978, 28(11): 705-710
- [17] Vester. Sensitivitätsmodell, regionale Planungsgemeinschaft von untemain, frankfurt, germany[M]. Frankfurt: Frankfurt Press, 1980: 58-66
- [18] Holling S C. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematic, 1973, 4: 1-23
- [19] Orians G H. Diversity, stability and maturity in natural ecosystems Unifying Concepts in Ecology[M]. The Hague: Junk Press, 1975: 6-15
- [20] Kay J J. A thermodynamic perspective of the self-organization of living system [M]. Edinburgh: Edinburgh Press, 1989: 66-73
- [21] Bormann F H. The export of nutrients and recovery of stable conditions following deforestation an Hubbard Brook [J]. Ecological Monographs, 1974, 44: 255-277
- [22] 刘增文 黄土区刺槐人工林生态系统养分循环流量与平衡分析[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 630-634
- [23] 刘增文 刺槐人工林养分利用效率[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 444-449
- [24] 刘世荣 兴安落叶松人工林生态系统营养元素生物地球化学循环特征[J]. 生态学杂志, 1992, 11(5): 1-6
- [25] 沈国航, 聂道平, 董世仁 油松人工林养分循环的研究[J]. 北京林业学院学报, 1985(4): 1-13
- [26] 潘维雉, 田大伦, 李利村 杉木人工林养分循环的研究[J]. 中南林业学院学报, 1983, 3(1): 1-15

- [27] Rodin L E, Bazillevich N I. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation[M]. London: Oliver and Boyd, 1967: 288-295.
- [28] Krumhik G J. Comparative study of nutrient cycling in the subalpine mountain hemlock zone of British Columbia[D]. Columbia: University of British Columbia, Vancouver, 1979: 195-210.
- [29] Yarie J. The role of understory vegetation in the nutrient cycle of forest ecosystems in the mountain Hemlock biogeoclimatic zone[J]. Ecology, 1980, 61: 1498-1514.
- [30] 刘增文. 森林生态系统养分循环特征参数研究[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(4): 21-24.
- [31] Deangelis D L. Energy flow, nutrient cycling, and ecosystem resilience[J]. Ecology, 1980, 61(4): 764-771.
- [32] Duvigneaud P, Denaeyer-De Smet S. 陆地生态系统矿质循环[M]. 陈佐忠, 译. 北京: 科学出版社, 1982: 144-170.

## Nutritional principle of forest ecosystem stability

L IU Zeng-wen<sup>a</sup>, WANG Nai-jiang<sup>b</sup>, L I Ya-su<sup>c</sup>, L U Yue-ling<sup>a</sup>

(<sup>a</sup> College of Resources Environment, <sup>b</sup> College of Forestry; <sup>c</sup> College of Water Resources and Engineering, Northw est A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Principles of forest ecosystem stability are fully analyzed and discussed from the angle of changeability of ecological components, reaction to disturbance, pattern of nutrients storage and flux and recycle of nutrients in forests. Meanwhile, four artificial forest ecosystems, including *Robinia pseudoacacia*, *Larix gmelinii*, *Pinus tabulaeformis* and *Cunninghamia lanceolata*, are studied typically about their nutritional conditions and stabilities. It shows that the four forest ecosystems take obtuse form as their main storage of nutrient. The amounts of N, P, K, Ca and Mg stored in soil take up more than 92% respectively of the responding storages of the total forest ecosystem. Furthermore, the nutrients in the soil retains balance or show slight deficit, whereas, the nutrients in the total forest ecosystems happen to slight surplus or retain balance. In addition, compared with others, the forest of *R. pseudoacacia* is one of high nutrient absorption, high returning, fast recycling and nutrient wasting, and due to the faster recycling of nutrient, the forest of *R. pseudoacacia* will have strong capability of restoration in case of minimal disturbance but be irretrievable under serious disturbance. Finally it is suggested that the biogeochemical classification of forests would be an important approach to study the functional stability of forest ecosystem.

**Key words:** forest stability; forest nutrient; forest disturbance