

受干扰的生态系统 I. 柞蚕林的养分循环*

杨思河 文诗韵 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

李敦求 (韩国汉城大学, 汉城)

温达志 (中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

姜波 王昌杰 (辽宁省蚕业科学研究所, 凤城 118100)

【摘要】 本文通过田间实验与测试揭示了柞蚕林养分循环状态和干扰因素对养分平衡的影响。结果表明, 地下部储存的养分占总积累的比重较大, 同时叶部养分向树体转移能力较强。柞蚕林二级生产力是以收获蚕茧为主要形式, 其养分输出水平对系统的养分平衡产生的影响主要表现为对树体养分内循环方面。林木养分储量的下降是造成生产力衰退的重要原因。对养分循环格局的认识有助于对该系统干扰强度进行调控, 以增强柞蚕林生态系统的稳定性。

关键词 柞蚕林 养分循环 二级生产力

A disturbed ecosystem I. Nutrient cycling in tussah - feeding oak plantation. Yang Sihe, Wen Shiyun (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015), Don K. Lee (Seoul National University, Seoul), Wen Dazhi (South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650). - Chin. J. Appl. Ecol., 1993, 4(4): 353-358.

Field experiments and laboratorial work were carried out to understand the nutrient cycling patterns in tussah - feeding oak plantation and the effect of disturbance on nutrient equilibrium. The results show that larger proportion of nutrient is stored in root and more nutrients can transfer from leaf to stem. The cocoon is the main form of the secondary productivity of tussah - feeding oak plantation. Its nutrient output level has a greater effect on the internal nutrient cycling in the tree. The decrease of nutrient storage in the tree is the main cause of the decrease of its productivity. Understanding the patterns of nutrient cycling is beneficial to control the disturbance and to enhance the stability of the ecosystem.

Key words Tussah - feeding oak plantation, Nutrient cycling, Secondary productivity.

1 引言

柞蚕林是受强度干扰的一种森林生态系统, 由于长期用于柞蚕放养和周期性剪伐, 形成了特殊的林分结构、养分循环格局与经营利用方式。柞蚕林经营的最终目的不仅是获得较高的初级生产力, 而且要保持较高的二级生产力和稳定的生态功能。在强度干扰下为使柞蚕林经营达到这一目的, 考虑这一系统的养分平衡是重要的一环。柞蚕林的经营在中国虽有较长

的历史, 但作为一种生态系统加以研究, 特别是对系统内养分循环的研究在此之前尚未开展。对天然柞林的养分动态在国外曾有不少报道。Kimura^[9]、Rawat^[12]、Plumb^[11]以及 Philip^[10]曾对柞林(自然林分)的结构、功能、生态适应能力以及萌生柞林的养分循环等作过研究, 但未涉及经营条件下的柞林。由于国外没有大规模的野蚕放养业, 对于像我国柞蚕林这样一种森林生态系统, 在国外未见报道。国内对柞蚕林的研究多偏重于类型区划、树型修剪和植被保护等方面^[1,5]。对柞蚕林分现已存在的树势衰退和生产力下降问题, 至今未有人从养分平衡角度进行研究。作者认为柞蚕林生态系统的稳定性与

* 辽宁省科委基金资助项目。

参加本研究工作的还有林继惠、黄刚、尹忠霞等。

本文于1993年6月5日收到, 8月28日改回。

生产力,决定于经营过程对系统内养分循环的干扰程度.为此,从1988年开始在实验蚕场内进行了养分动态测定.

2 实验地概况与测定方法

实验地位于辽宁省凤城县柞蚕场及辽宁蚕业科学研究所实验蚕场内,海拔高度为400m.样地均在15°左右的南向和东南向山坡中部.该区属中温带湿润气候区,年降雨量500—900mm,年平均气温5—8℃,年日照时数2200—2300h,总辐射量502.42—544.28KJ·cm⁻²·yr⁻¹,土壤类型为棕壤^[6].柞蚕场为辽东栎、麻栎和蒙古栎人工林分.剪伐龄为3—4年,中干树型.林木株数225株·ha⁻¹.林下植被除有人工播种的花木兰(*Indigofera kirilowii*)、苦参(*Sophora flavescens*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)和胡枝子(*Lespedeza bicolor*)外,尚有天然散生的榛子(*Corylus heterophylla*)、三花槭(*Acer triflorum*)、毛莓悬钩子(*Rubus parvifolius*)以及多种草本植物.

在实验蚕场内设标准地3个,面积为20×15m.各

表1 蒙古栎蚕场的养分积累与分配(kg·ha⁻¹)

Tab. 1 Nutrient accumulation and distribution in *Quercus mongolica*

元 素 Element	地上部 Aboveground				地下部 Underground			总 量 Total
	叶 Leaf	当年枝 Twig	多年枝 Branch	树 干 Stem	根 桩 Stump	侧 根 Lateral root	细 根 Fine root	
N	38.2	4.8	7.3	19.8	20.9	12.2	4.1	107.3
P	2.9	0.5	0.8	2.3	3.3	1.4	0.5	11.7
K	10.9	3.3	3.0	8.2	8.2	3.9	1.2	38.7

表2 辽东栎蚕场的养分积累与分配(kg·ha⁻¹)

Tab. 2 Nutrient accumulation and distribution in *Quercus liaotungensis*

元 素 Element	地上部 Aboveground				地下部 Underground			总 量 Total
	叶 Leaf	当年枝 Twig	多年枝 Branch	树 干 Stem	根 桩 Stump	侧 根 Lateral root	细 根 Fine root	
N	34.4	5.8	18.7	19.7	20.6	7.7	3.6	110.5
P	3.0	0.4	1.3	2.4	3.2	1.5	0.5	12.3
K	9.9	3.0	4.5	6.8	9.9	1.7	1.7	40.0

从表1、2两个不同树种柞蚕林养分积累来看,在各组分中N所占比重最大,林分对N的需求量超过P、K数倍,看出养蚕柞树吸收不同元素的比例关系与天然柞林大致相同^[6].在地上各部位中,养分元素绝大部分积累于叶器官中,这主要由于周期性剪伐形成特殊的冠层结构,显著增加了叶面积指数及叶生物量在地上部生物量中的比重.同时也说明储存着地上部

选平均标准木3株,测定地上、地下各部位生物量(鲜重),采集小样本,在80℃下烘干测定干物质重及分析养分含量.土壤样品采集是在各标准地内的3个取样点进行的,在0—20cm土层内混合取样.植物与土壤样品N的测定采用凯氏定氮法,测P用酸溶钼、锑抗比色法,K用火焰光度计法.柞蚕各令期食叶量、排粪量通过室内饲养测定.

3 研究结果

3.1 蚕场柞林的养分累积与分配

柞蚕林生态系统生物量、养分累积量主要在乔木层.经营活动的干扰因素如柞蚕放养、树冠剪伐和蚕茧收获等,也主要涉及乔木层.因此,蚕场柞树-柞蚕-土壤系统的养分循环状态代表着柞蚕林初级生产力和二级生产力水平.根据柞林生物量及各部位的养分浓度,计算了蒙古栎和辽东栎蚕场柞林N、P、K的积累与分配格局(表1、2).

大部分营养元素的叶生物量的消长对整个柞蚕林养分循环起着决定性作用.

N、P、K在地上、地下各部位的分配状况是由于叶储存较多的营养元素,地上部分元素总量超过地下部分.但落叶之后,根系中的养分总量则超过地上枝、干.柞蚕林养分分配大部分储存于根系,这为保持较高的叶生物量、稳定初级生产力和保护抗干扰能力提供了物质基础.当

叶生物量受到损耗,地下部分的养分即动员出来,保证叶部生长,不致使冠层光合生产力出现较大影响.这可能是柞蚕林具有较强抗干扰能力的一个重要原因.

3.2 养分元素的转移

蚕场柞林同北方其他落叶阔叶林一样,叶生物量中储存的相当一部分营养元素在落叶之前从叶中转运出去,储存于枝、干和根中.这种季节性元素转移是树木对环境的适应性表现.养分从叶中输出的份额大小,因树种和树木体内营养状态而异.对于放养柞蚕消耗叶生物量的林分来说,叶部养分元素向树体的转移有着特殊的意义,它不仅影响到系统内养分的输出数量,而且关系到养分再利用效率和受干扰后的恢复能力.对蒙古栎和辽东栎蚕场柞树绿叶期和枯叶期叶部 N、P、K 含量进行了测定,据公式

$$R(\%) = (G - D)/G \times 100$$

式中 R 为元素回运率, G 为绿叶期叶中元素含量, D 为枯叶期叶中元素含量.

计算了两种蚕场叶中养分的回运率(表 3),结果表明,柞叶衰老过程中约有 50% 的 N、P 和 70% 的 K 回运到树体. 这一转移率似乎

表 3 柞叶营养元素的转移

Tab. 3 Translocation rate of N, P and K from oak leaves

树 种 Species	元 素 Element	叶内养分贮存量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) Nutrients in leaves		转移率 Translocation rate (%)
		绿叶期 Green leaf	枯叶期 Falling leaf	
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	N	38.20	19.00	50.2
	P	2.90	1.25	56.8
	K	10.90	2.64	75.8
辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	N	34.40	16.95	50.7
	P	2.70	1.35	50.0
	K	9.90	2.68	72.9

比天然柞林^[12]和其他阔叶树种为高(Miller, 1963). 较高的转移率避免了养分过多的输出,有利于新组织的生长. 这对强度经营中的柞蚕林生产力的持续性和抗干扰力极为重要. 在饲养过程中留叶量的多少影响着养分的转移回运量,进而影响到第 2 年新枝、叶的生长. 为查明这种转移在柞蚕林养分循环中的数量关系,根

据叶内养分含量和转移率,对两种蚕场柞林叶部 N、P、K 的回运量和输出量进行了计算(表 4). 表 4 所列数值为蚕场叶生物量无损耗情况下的结果,也即未经放养时的养分状态. 此时可以看出 N、P、K 总量的约 55% 转运树体,而另一部分约 45% 则随落叶归还至土壤,参与植物-土壤系统的养分循环.

表 4 柞叶内主要营养元素向树体的回运量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Tab. 4 Nutrient withdraw from leaves to oak tree

树 种 Species	回运量 Nutrient withdraw			落叶中养分 Nutrient in falling leaves		
	N	P	K	N	P	K
辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	17.45	1.35	7.22	16.97	1.35	2.86
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	19.20	1.65	8.26	19.03	1.25	2.64

3.3 蚕场柞树养分吸收量、归还量与养分循环系数

蚕场柞树对养分的吸收利用能力,不仅决定初级生产力和二级生产力的高低,也是消耗土壤养分的主要因素,因此它构成了养分循环的基础. 两种蚕场柞林养分年吸收量(表 5)的绝大部分分配在树木地上部组织中,主要是由于新生组织——叶和幼枝占地上部总生物量的比例较大所致,而叶又占其中的大部分. 因此,叶养分消耗对养分循环格局起着主导作用.

吸收总量是根据生长季节当年生组织养分

表 5 蚕场养分年吸收量 ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Tab. 5 Annual absorption and accumulation of N, P and K in oak tree

部 位 Parts	蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>			辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>		
	N	P	K	N	P	K
地上部 Aboveground	47.80	3.90	16.10	46.53	3.66	14.80
地下部 Underground	6.50	0.84	2.13	5.36	0.73	2.63
吸收总量 Total	54.30	4.74	18.23	51.89	4.39	17.43

含量确定的,而新生组织中营养元素一部分来自根、茎中上一年的储存. 因而,实际的当年净吸收量应当是总吸收减去叶中的回运转移量(表 6, C). 叶中营养元素除一部分回运树体以

外,另一部分则通过降雨淋洗和随落叶归还土壤中(表 6). W. 拉夏埃尔^[7]曾引用 B. Ulrich 提出的计算落叶林养分循环系数公式,并对天然柞林进行过计算.

$$K_M = \frac{M_l + M_r}{M_{abs}}$$

表 6 蚕场养分的吸收、归还与循环系数

Tab. 6 Nutrient absorption, return and cycling coefficient in oak

项目 Item	蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>			辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>		
	N	P	K	N	P	K
总吸收(A) Total absorbed	54.83	5.12	22.60	52.39	4.74	21.61
转移回运(B) Withdraw from leaf	19.19	1.65	8.23	17.45	1.35	7.22
净吸收 (C)=(A-B) Net absorption	35.64	3.47	14.37	34.94	3.39	14.39
归还量(D) Return	19.00	1.28	2.64	16.95	1.35	2.68
淋洗(M _r) Leaching	0.53	0.38	4.37	0.50	0.35	4.18
循环系数(E) Cycling coefficient	0.71	0.65	0.67	0.67	0.64	0.65

式中, K_M 为循环系数(表 6, E), M_{abs} 为年吸收总量(表 6, A), M_l 为落叶养分输出量(表 6, B+1), M_r 为冠层淋洗量.

根据这一计算方法,对蚕场柞林养分循环各组分进行了计算(表 6). 落地中养分输出(M_l)表现为表 6 中 B 和 D 两项,即向树体的转移回运量与落叶归还量之和,对冠层养分淋洗部分没有进行实测,据 Duvigneaud 等对北半球落叶栎林的测定结果, N 的淋洗量约占总吸收量的 1%, P 为 8%, K 为 24%^[7]. 参照此值,计算了蚕场柞树的 M_r 值. 3 种营养元素的循环系数计算结果(表 6, E)表明,两种蚕场柞林都表现出 N 的循环率最大, P、K 的循环率稍低于 N. 据 D. Rapp(1969)对法国栎林的测定结果, N 的循环系数为 0.72, P、K 分别为 0.67 和 0.83, K 表现较高的循环率. 对蚕场柞林来说树木吸收的 N, 约 71% 在生态系统内(包括树木

体内及树木-土壤之间)处于循环之中. 因此,经营活动的干扰极易影响养分平衡,特别是极敏感的 N 平衡.

3.4 柞蚕场二级生产过程(柞蚕放养)的 N 循环

蚕场中柞蚕的放养和蚕茧的收获是二级生产过程. 柞蚕是柞蚕林生态系统中初级生产物的消耗者,又是二级生产物的制造者. 作为生态系统中一种干扰因素,柞蚕的放养增加了系统中养分循环链条,如蚕的食叶、代谢与结茧等这些都牵涉养分的消耗、归还和输出,这不仅使通常的养分循环模式更加复杂. 同时也是可能打破养分平衡的主要干扰因素. 因此,研究循环中的这些链条,对揭示这一复杂系统养分循环规律,寻求维持养分平衡对策是不可缺少的.

养分输出主要是以蚕茧收获的形式,由于蚕茧中 N 含量最高,占矿物元素总量的绝大部分. 因此,收获蚕茧作为二级生产力的标帜和养分输出因素,都是 N 占最大比重,对整个生态系统养分平衡的影响也最大. 我们研究了二级生产过程中 N 转化的数量动态. 首先通过人工饲养实验,测定了不同龄期蚕虫对不同树种的食叶量,同时记录了各发育时期排粪量、成蚕率及最后的蚕茧重量. 这些都是养分循环研究中不可缺少的基本参数(表 7).

根据表 7 中有关参数和各组分干物质中 N 的含量,研究了在食叶率为 50% 的干扰强度下,柞蚕生活期中的 N 消耗和归还量,进而计算了 N 输出水平(表 8).

表 8 中 N 消耗部分包括全龄蚕和非全龄蚕通过食叶对 N 的摄取量. N 的归还包括蚕粪和死蚕体中的 N 量,这两部分中除少量蚕体被鸟取食之外,绝大部分返回土壤. 因此,表 8 中归还量与输出量之和接近于 N 的消耗. 两个蚕场树种有相同的趋势,叶 N 消耗量的一半以上又归回土壤,43—46% 的 N 输出生态系统.

辽东栎和蒙古栎蚕场每年 N 输出分别为 7.47 和 8.60 kg · ha⁻¹. 除这部分输出之外,有效 N 消耗量的 54—57%,虽返还土壤,但仍是作为有机物,必须经过多年的分解和硝化,才能

表 7 各龄期柞蚕食叶量及物质转化(干重 g/单蚕)

Tab. 7 Consumption and biomass formation by tussah worm at different age stages (g dw/single worm)

树种 Species	龄期 Larva stage	柞蚕成活率 Larva survival rate %	食叶量 Leave consumption	蚕粪 Drops	蚕茧 Cocoon
辽东栎	1,2,3	50	0.67	0.52	
<i>Q. liaotungensis</i>	4	70	2.27	1.75	
	5	80	18.44	14.26	
总计 Total			21.38	16.53	9.5
蒙古栎	1,2,3	50	0.70	0.53	
<i>Q. mongolica</i>	4	70	2.40	1.93	
	5	80	19.90	15.62	
总计 Total			23.00	18.08	9.3

表 8 蚕场二级生产过程 N 的循环($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)

Tab. 8 Nitrogen cycling in secondary production of tussah-feeding plantation

树种 Species	N 消耗 Consumption			排泄物 Drops	N 归还 Return		N 输出 N output
	全龄蚕 Survived larvae	非全龄蚕 Dead larvae	计 Total		死蚕残体 Dead larvae	计 Total	
辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	14.89	2.33	17.22	8.51	1.18	9.69	7.47
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	16.53	2.57	19.10	9.06	1.35	10.41	8.60

成为有效 N。因此,实际上蚕场柞林有效 N 的损失量大于蚕茧的 N 输出量。

从柞蚕林初级生产和二级生产过程养分循环,各链条转换数量的关系,可知在产叶量(干重)为 $2650\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 的蚕场,以食叶 50% 的放蚕强度,蚕茧收获量则为 $200-230\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。除了 N 纯输出 $7.47-8.60\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 之外,还有 $9.69-10.41\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 有效 N 又以有机物形式束缚于土壤,虽然没有输出生态系统以外,但也减少了可利用的有效 N 的数量。

3.5 剪伐作业与养分输出

柞蚕林的长期经营中为促进幼嫩枝叶的生长和便于放蚕作业,常常要定期剪伐,即林业上称为矮林或中林作业,剪伐下来大量的枝干和宿存叶被取出作为薪材利用。这部分生物量取出,为构成柞蚕林生态系统一项重要干扰因素,造成相当数量的养分输出。生产实践中一般采用 4 年为一个剪伐周期,为查明这一输出因素所造成的养分损失,根据标准地剪伐实验,测定一次剪伐的生物量及养分含量,计算了剪伐作业的养分输出(表 9)。

由于柞树具有较强的萌生能力,剪伐后生

表 9 蚕场剪伐作业养分输出量

Tab. 9 Nutrient output in coppicing operation of oak plantation

剪伐周期 Coppicing cycle (yr.)	一次剪伐量(干重) Biomass in coppice ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	干物质年 损失量 Annual losses by coppice ($\text{kg} \cdot \text{yr}^{-1}$)	养分损失量 Annual nutrient losses ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$)		
			N	P	K
4	5000	1250	5.88	3.75	7.50

物量的年增长率有较大幅度的提高,必然增加养分的吸收,促进养分循环。但对养分平衡来讲影响较大的仍是取出的养分数量。结果表明,4 年一次剪伐, N、P、K 取出量分别为 23.5, 15 和 30kg。每年平均分摊的输出量接近收获蚕茧的输出量。

3.6 干扰中柞蚕林 N 的循环

根据蒙古栎蚕场养蚕林分及未养蚕林分各组分含 N 量的测定,并按相应比例关系将总吸收量和柞叶中 N 总量换算到同一基数,比较了放蚕林分(图 1,b)和未放蚕林分(图 1,a)N 循环各链条的数量关系。从方框图看出,在柞蚕食叶为 50% 的干扰强度下,由于叶生物量和 N 消耗,使叶中元素回运量及落叶归还量均减少 50%。柞蚕消耗的 N,有半数以上通过蚕粪和死

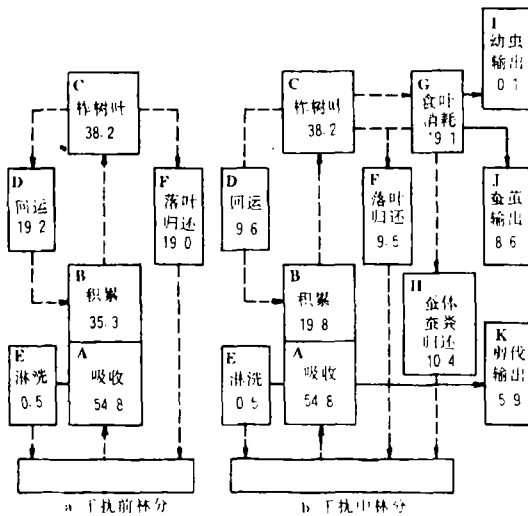


图1 柞蚕林氮循环方框图

Fig. 1 Nitrogen cycling in tussah-feeding oak plantation ($\text{N kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$).

A: Absorption, B: Accumulation, C: N in leaves, D: Translocation to tree, E: Leaching, F: N in falling leaves, G: Leaf consumption, H: Larva excrements and dead worms, I: Larva lost, J: Cocoon output, K: Coppicing output.

蚕体又归还土壤。只有 8.6kgN 作为蚕茧被输出, 0.1kgN 因鸟食幼蚕而输出。定期剪伐作业每年平均输出 5.9kg 。放蚕林分每年 N 总输出为 12.6kg 。受这一输出影响最显著的是柞林的养分积累。由于叶中养分回运量减少, 树体养分浓度下降, 这可能是造成生长势衰退的主要原因。从归还量来看, 由于大部分蚕组织的归还, 补偿了落叶养分归还的减少, 使两种林分归还量相近。尽管如此, 因树体营养缺乏而增加的从土壤的吸收, 会在土壤养分不足情况下加剧土壤肥力的衰退。

4 结 论

柞蚕林是以放养柞蚕为主要经营目的的特殊林种, 也是一种受强度干扰的生态系统。柞蚕林养分动态既有阔叶落叶林的特征, 即落叶前的养分转移特征, 又具有养分分配格局的独特性, 即根部的养分储存能力强。这两个方面的特征均有利于树体内部的养分储存, 使其具有较

强的萌生力。这为提高该系统的抗干扰能力提供了物质基础。在地上部分生物量中, 养分的绝大部分存在于叶部, 二级生产力的形成是以消耗叶生物量为基础的, 因此柞蚕收获的养分输出量对养分平衡产生重要影响。柞蚕林定期剪伐引起的养分输出接近于蚕茧的养分输出量, 是该系统第二大干扰因素。这两部分 N 输出总量相当于蚕场柞树净吸收量的 32% 。通过落叶、柞蚕排泄物和死蚕体的 N 归还量, 占吸收量的 44% 。在没有养分输入或土壤肥力自然增长率较低的情况下, 柞蚕林生态系统的养分平衡将受到严重干扰, 养分循环的不平衡状态必然影响初级与二级生产力。事实上已有相当数量的柞蚕场出现生产力衰退现象, 是与养分循环失去平衡有关。充分了解这一生态系统养分循环状态, 采取适当调控措施, 减弱干扰强度, 增加养分投入, 有可能使干扰下的这一生态系统具有稳定的两级生产力。

参考文献

- 1 王昌杰. 1981. 保护建设利用资源, 大力发展柞蚕生产. 农业资源与区划, 12(6): 7-10.
- 2 刘 萍. 1984. 我国栎属 11 种树叶的化学分析及其利用的可能性. 北京林学院学报, (4): 1-8.
- 3 吴忠恕. 1987. 柞蚕饲养. 辽宁科技出版社, 沈阳, 34-48.
- 4 吴忠恕. 1986. 辽宁柞蚕生产两个方向性问题之我见. 辽宁蚕业科技, (1): 6-11.
- 5 张绪卿. 1986. 辽宁柞蚕业资源调查与区划的研究. 辽宁蚕业科技, (2): 51-54.
- 6 温达志等. 1993. 柞蚕林生物生产力和干物质转化研究. 生态学杂志, 12(1): 5-10.
- 7 W. 拉夏埃尔. 1980. 植物生理学. 科学出版社, 北京, 158-161.
- 8 Johnson, F. L. and Risser, P. G. 1974. Biomass, annual net primary production and dynamic of six mineral elements in a post oak-blackjack oak forest. Ecology, 55: 1246-1258.
- 9 Kimura M. et al. 1982. Productivity and mineral cycling in an oak coppice forest. Botany Magazine of Tokyo, 95: 19-33.
- 10 Philip, W. R. 1979. Adaptation of mediterranean climate oaks to environmental stress, presented at the Symposium on the Ecology Management and Utilization of California Oaks. Claremont, CA. June.
- 11 Plumb, T. R. 1963. Delayed sprouting of shrub oak after a fire, USDA Forest Serv. Res. Note PSW-1.
- 12 Rawat, Y. S. and Singh, J. S. 1988. Structure and function of oak forest in central Himalaya. Annals of Botany, 62: 413-417.