

## I -69 杨人工林养分循环的研究

杨世桦<sup>1</sup>, 杨承栋<sup>1</sup>, 董玉红<sup>1</sup>, 李贻铨<sup>1</sup>, 徐清彦<sup>1</sup>,  
彭自主<sup>2</sup>, 陈新初<sup>2</sup>, 李华爱<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091; 2. 湖南省汉寿县林科所,湖南 汉寿 415900)

**摘要:**对首个轮伐期内 I-69 杨人工林养分循环的定位试验结果表明:(1)速生期叶片养分年平均适宜范围值:N(2.98%~3.37%)>Ca(2.26%~2.95%)>K(0.65%~0.73%)>Mg(0.35%~0.46%)>P(0.11%~0.13%),属喜 N、Ca 树种。(2)速生期叶片养分的年、月变异极显著,林木生长规律一致,叶片对养分吸收、积累、分配与转移的动态变化反映了体内养分循环的特性。林木生物量分配顺序各年都相同:干>枝>侧根>主根>干皮>主根皮,叶随林龄增加递减;养分分配速生期为:侧根>枝>干>干皮>主根>主根皮,后期枝、干大于侧根,叶随林龄增加递减,但养分分配比叶高于干。生物养分量的积累与分配与林木生长一致。(3)该森林生态系统内养分循环速率:生长前期为 0.47,后期为 0.28;养分利用率也不同,前期生产 1t 干物质需要的主要养分量分别为:N:7.6 kg, Ca:4.97 kg, K:1.89 kg, Mg:0.84 kg, P:0.26 kg, 后期则为 N:4.3 kg, Ca:6.34 kg, K:1.39 kg, Mg:1.14 kg, P:0.18 kg。人工林采伐后年平均移出养分量占土壤相应年平均速效养分量为:N:36.80%, P:52.8%, K:19.73%。支出较大。但是土壤养分供给水准较高,在该森林生态系统中,以林木和土壤为主导的养分循环仍处于动态平衡的良性循环之中。

**关键词:**I-69 杨;生长规律;生物养分量;动态平衡;养分循环

**中图分类号:** S718

**文献标识码:** A

## Study on the Nutrient Cycling of I -69 Poplar Plantation

YANG Shi-hua<sup>1</sup>, YANG Cheng-dong<sup>1</sup>, DONG Yu-hong<sup>1</sup>, LI Yi-quan<sup>1</sup>, XU Qing-yan<sup>1</sup>,  
PENG Zi-zhu<sup>2</sup>, CHEN Xin-chu<sup>2</sup>, LI Hua-ai<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Forestry Institute of Hanshou County, Hanshou 415900, Hunan, China)

**Abstract:** The results of positioning test on the nutrient cycling of I-69 poplar plantation within the first rotation show that: (1) The suitable range of average annual leaf nutrient values in the fast-growing period are: N(2.98% - 3.37%) > Ca(2.26% - 2.95%) > K(0.65% - 0.73%) > Mg(0.35% - 0.46%) > P(0.11% - 0.13%), indicating the I -69 is a N- and Ca-favored species. (2) Both the annual and monthly variations of leaf nutrient values in the fast-growing period are extremely significant; the tree growth is regular and the dynamic changes of leaves in nutrient absorption, accumulation, distribution and transfer reflect the characteristics of nutrient cycling *in vivo*. The sequence of forest biomass allocation is the same for each of the year and follows the order of stem > branch > lateral root > taproot > stem bark > taproot bark, and the biomass of leaves decrease with the increase of forest age; the nutrient allocation in fast-growing period follow the order of lateral roots > branches > stem > stem bark > taproot > taproot bark; in the late stage, the nutrients in branch and stem are higher than in the lateral roots, and that in leaves decrease with the increase of stand age, but the nutrient distribution ratio for leaves is higher than that for stem; The accumulation and distribution of biological nutrient are consistent with the tree growth.

(3) The nutrient cycling rates in the forest ecosystems are 0.47 in the early growth stage and 0.28 in the late growth stage, and the nutrient utilization rates are also different, i. e. in early stage, N 7.6 kg, Ca 4.97 kg, K 1.89 kg, Mg 0.84 kg, and P 0.26 kg are needed to produce 1 ton of dry matter compared with N 4.3 kg, Ca 6.34 kg, K 1.39 kg, Mg 1.14 kg, and P 0.18 kg in late stage. The mean percentages of annual move away of soil nutrients of post-harvested plantation in soil mean available nutrients are N 36.80%, P 52.8%, and K 19.73%, with a rather higher expenditure. However, there is a high level of soil nutrient supply, so the nutrient cycling between trees and soil in the forest ecosystem is still in virtuous circle with dynamic equilibrium.

**Key words:** I-69 poplar; growth pattern; biological nutrient content; dynamic equilibrium; nutrient cycling

I-69 杨无性系良种杨 (*Populus deltoides* Bartr. cv, "Lux") 是速生树种。它生长快、轮伐期短、喜肥、水。需要集约栽培。为此,作者进行首个轮伐期的 I-69 杨人工林生长及养分循环的定位研究。旨在为杨树集约栽培提供基础数据。有关这方面的研究国内还极少报道<sup>[1-7]</sup>。

## 1 试验区立地条件

试验区设在湖南省汉寿县林科所内,地处

112°04' E, 28°50' N, 属亚热带气候。根据 8 年气象资料和观测, I-69 杨人工林 8 年平均气温 16.5 °C, 生长期平均气温 22.5 °C; 土壤温度年平均 16.8 °C, 6—9 月平均土壤温度 20.5 °C; 年平均降水量 1 089.5 mm, 土壤含水量一般在 30%~35%, 为田间适宜土壤含水量; 年平均日照 1 499.4 h, 4—10 月平均日照 1 070.3 h, 占总日照时数 71%。土壤为灰湖潮土, 主要理化性质见表 1, 肥力较高<sup>[8]</sup>。

表 1 土壤主要化学性质

区组号	全 N	全 P	有机质	全 K	全 C	碱解 N	有效 P	速效 K	C/N	pH 值	土壤密度/
	(g · kg <sup>-1</sup> )					(mg · kg <sup>-1</sup> )				(H <sub>2</sub> O)	(g · cm <sup>-3</sup> )
I	1.6	1.37	21.0	26.2	12.2	108.4	3.69	47.8	7.63	8.39	1.21
II	1.5	1.35	20.9	27.0	12.1	110.7	3.45	45.3	8.07	8.18	1.31
III	1.5	1.32	20.9	27.9	12.1	105.1	4.17	55.3	8.07	8.33	1.15
平均值	1.5	1.35	20.9	27.3	12.1	108.1	3.84	49.5	7.92	8.30	1.23

## 2 研究方法

### 2.1 试验设计

本研究在样地条件基本一致的立地上进行, 随机区组排列, 重复 3 次, 每小区栽 I-69 杨 9 株, 株行距为 5 m × 6 m, 试验地前作, 1974 年芦苇, 1975—1977 年为高粱、油菜, 1978—1981 年黄豆、油菜。试验地面积为 2 hm<sup>2</sup>, 周边设保护行。试验林为 2 年根 1 年干的一级苗木。每年 5 至 11 月的 5 日测定林木生长量(胸径、高); 并定期采取叶片混合样本, 在 65~75 °C 下烘干并测定其含水量后, 粉碎过 0.5 mm 筛备用作养分分析。另外, 第 1、2、3、4 及第 8、10 年的 10—11 月间, 定期于对照区内选择 1 标准木从干基部锯倒, 分别按叶、枝、干及干皮采样称质量; 地下部分分侧根、主根分层采样至根系绝迹为止。在苗木定植前于试验区内选代表性地段挖土壤剖面按 25 cm 分层取样, 深度至 1 m。

### 2.2 分析方法

全 N(室温扩散吸收法), 全 P(碱熔钼兰比色法), 全 K(酸溶火焰光度计法), Ga 和 Mg(EDTA 容量法)。另外, 在各处理区内机械布点取 9 个土样组成混合样本分析有机质(丘林法), 全 N(凯氏法), 全 P(钼兰比色法), 全 K(火焰光度计法), 水解 N(碱解扩散法), 有效 P(钼兰比色法), 速效 K(火焰光度计法)。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 林木生长规律

8 年生 I-69 杨平均胸径 27.10 cm、平均树高 25.25 m, 材积 196.16 m<sup>3</sup> · hm<sup>-2</sup>。前 4 年为速生期, 材积占总材积 42%, 生长后期逐年递减。从图 1 看出胸径、高生长年变化显著, 胸径生长第 1 年慢, 第 2 年迅速增长为 8 年中的生长高峰, 年生长量为 7.12 cm, 随后逐年递减至第 8 年生长量为 0.55 cm; 高生长出现两次高峰第 2、4 年分别为 4.45 m 和 3.71 m;

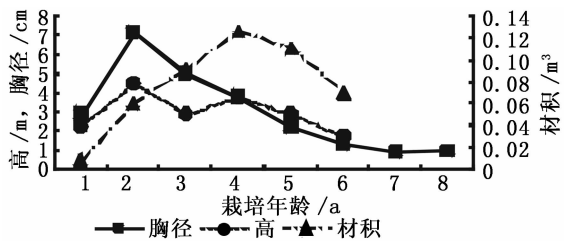


图1 连年生长曲线

材积生长逐年增加至第4年为  $0.125 \text{ m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ , 而后4年平均生长量近  $0.1 \text{ m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ 。胸径年、月变异节律明显。表2、图2表明各年的月变异极显著, 胸径1983年7月极显著大于其它各月, 1984年6、7月差异显著而与其它各月极显著, 1985年6、7月已无显著差异, 但与其它月仍极显著, 到1986年6、7、8

月无差异。1987—1988年、月变异均无显著差异。整个生长进程反映了I-69杨人工林生长规律及其速生短轮伐期的生理特性。

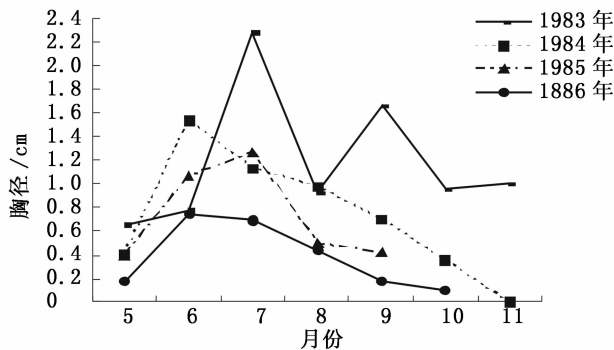


图2 速生期各年胸径月生长变化的比较

表2 首个轮伐期内I-69杨胸径生长年、月动态变异q检验

胸径/cm				高/cm			
年-月	平均值	差异显著性		年-月	平均值	差异显著性	
83-07	2.28	a	A	83-09	1.15	a	A
83-09	1.65	b	B	83-10	0.94	ab	AB
84-06	1.53	bc	BC	84-07	0.90	abc	ABC
85-07	1.26	cd	BCD	86-07	0.88	abcd	ABC
82-08	1.25	cd	BCD	85-07	0.87	abcd	ABCD
84-07	1.13	de	CDE	83-07	0.83	abcde	ABCDE
85-06	1.06	de	CDEF	86-08	0.83	abcde	ABCDE
84-08	0.97	def	DEFG	83-08	0.76	abcdef	ABCDEF
83-10	0.95	defg	DEFGH	83-06	0.63	bedefg	ABCDEFG
83-08	0.92	defg	DEFGH	86-06	0.52	bcdefgh	BCDEFG
83-06	0.78	efgh	DEFGHI	85-06	0.51	bcdefgh	BCDEFG
86-06	0.75	efgh	DEFGHIJ	84-06	0.46	bcdefgh	BCDEFG
84-09	0.70	efghi	EFGHIJK	84-09	0.40	cdefgh	BCDEFG
86-07	0.69	efghij	EFGHIJK	84-08	0.39	cdefgh	BCDEFG
83-05	0.66	efghijk	EFGHIJK	85-08	0.37	defgh	BCDEFG
82-07	0.52	fghijkl	FGHIJKL	86-09	0.33	efgh	BCDEFG
85-08	0.49	ghijkl	GHIJKL	83-05	0.30	fgh	CDEFG
87-07	0.49	ghijkl	GHIJKL	82-08	0.30	fgh	CDEFG
86-08	0.44	hijkl	GHIJKL	84-05	0.25	fgh	DEFG
87-06	0.43	hijkl	GHIJKL	82-07	0.22	gh	EFG
85-09	0.42	hijkl	GHIJKL	86-05	0.21	gh	EFG
84-05	0.41	hijkl	GHIJKL	86-10	0.17	gh	FG
85-05	0.40	hijkl	GHIJKL	85-09	0.14	gh	FG
82-09	0.36	hijkl	Hijkl	84-11	0.09	gh	G
84-10	0.35	hijkl	Hijkl	83-11	0.05	h	G
87-05	0.27	ijkl	IJKL	84-10	0.03	h	G
87-08	0.21	ijkl	IJKL	82-09	0.00	h	G
86-05	0.18	jkl	IJKL				
86-09	0.17	kl	JKL				
88-06	0.17	kl	JKL				
88-07	0.17	kl	JKL				
87-09	0.15	kl	KL				
88-05	0.13	kl	KL				
86-10	0.10	l	KL				
88-09	0.06	l	L				
88-10	0.04	l	L				
83-10	0.03	l	L				
88-08	0.01	l	L				
84-11	0.00	l	L				
87-10	0.00	l	L				

注:表中“83-07”表示1983年7月,其余类推,下同。

### 3.2 林木体内养分循环的特点

3.2.1 叶片养分年、月动态变化规律 叶是制造有机物质的重要器官。叶养分变化最能反映林木养分循环状况。通过速生期不同处理区叶养分含量的方差分析得  $F=0.15 \sim 2.40 < F_{0.05}=2.93$ , 表明不同处理区无显著差异, 叶养分含量均处在同一水准, 其养分适宜范围值: N 为 2.98%~3.37%, P 为 0.11%~0.13%, K 为 0.65%~0.71%, Ca 为 2.26%~2.95%, Mg 为 0.35%~0.46%, 顺序是  $N > Ca > K > Mg > P$ , 营养水平较高<sup>[9-10]</sup>。再从(表3、图3、4、5、6)看出养分的年、月变异显著。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 5、6月或7月之间差异显著或无显著差异外, 但与其它年月差异显著或极显著; N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 随生长季节

递减; CaO 随季节有所增加, MgO 较稳定; 这与林木生长规律一致<sup>[10-11]</sup>。速生期养分的增加超前于胸径、高的生长, 为满足林木速生对养分的需求。进一步作相关分析得  $r=0.52 \sim 0.94 > r_{0.05}=0.51$  或 0.71。表明 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 与林木生长呈正相关, CaO 后期与林木生长呈负相关, MgO 较稳定。生长后期 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 从叶部转移到其它部位, 转移率分别为 N: 50.0%~64.0%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 45.0%~58.0%, K<sub>2</sub>O: 30.5%~68.0%, 转移后重新参与体内养分再循环。CaO 在叶部有所积累随落叶归还土壤。可见速生期林木生长对养分的吸收、分配、积累与转移的年、月动态变异规律反映了 I-69 杨人工林体内养分循环的特点。

表3 首个轮伐期内 I-69 杨速生期叶片养分年、月动态变化 Q 检验

N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		CaO		MgO			
年-月	平均	差异显著性	年-月	平均	差异显著性	年-月	平均	差异显著性	年-月	平均	差异显著性
86-05	4.28	a	A	86-05	0.98	a	A	85-07	2.45	a	A
86-06	4.26	a	A	86-06	0.92	a	A	83-09	2.40	a	A
84-06	4.12	ab	AB	84-06	0.83	b	B	85-05	2.27	ab	AB
83-06	4.04	abc	AB	83-06	0.80	bc	BC	85-06	2.20	abc	ABC
86-07	3.82	bcd	ABC	85-05	0.74	cd	BCD	86-05	2.20	abc	ABC
85-07	3.78	bcde	ABCD	83-09	0.71	de	CDE	86-06	2.19	abc	ABC
85-06	3.76	bcde	ABCD	84-08	0.69	de	DE	86-07	2.15	abc	ABC
85-05	3.75	bcde	ABCD	86-07	0.69	de	DE	83-06	2.09	abcd	ABC
84-08	3.61	cdef	BCDE	85-06	0.68	de	DE	84-08	2.00	abcde	ABCD
83-09	3.58	def	BCDEF	86-10	0.63	ef	DEF	84-09	1.88	bcdef	ABCDE
84-07	3.47	defg	CDEFG	83-10	0.62	ef	EF	84-06	1.88	bcdef	ABCDE
83-10	3.35	efgh	CDEFGH	85-07	0.56	fg	FG	85-08	1.85	bcdef	ABCDE
83-07	3.24	fgh	DEFGHI	82-10	0.56	fg	FG	86-08	1.75	bcdefg	BCDE
84-10	3.10	ghi	EFGHIJ	84-07	0.54	fg	FGH	86-10	1.72	cdefg	BCDE
83-08	3.09	ghi	EFGHIJ	84-10	0.52	gh	FGHI	84-07	1.59	defgh	CDEF
84-09	3.04	ghij	FGHIJ	86-08	0.50	ghi	GHI	83-10	1.57	efgh	CDEF
85-08	3.04	ghij	FGHIJ	85-08	0.48	ghi	GHI	83-07	1.46	fgh	DEF
82-10	3.01	ghij	GHIJ	83-07	0.47	ghi	GHI	86-09	1.45	fgh	DEF
86-08	2.95	hijk	GHIJ	85-09	0.47	ghi	GHI	83-11	1.41	fgh	DEF
86-09	2.88	hijk	HIJ	84-09	0.46	ghi	GHI	85-09	1.36	fgh	DEFG
86-10	2.88	hijk	HIJ	83-11	0.46	ghi	GHI	84-10	1.27	ghi	EFG
85-09	2.71	ijk	IJ	83-08	0.46	ghi	GHI	83-08	1.27	gh	EFG
83-11	2.58	jk	J	86-09	0.42	hi	HI	84-11	1.08	hij	FGH
85-10	2.55	k	J	84-11	0.41	i	I	85-10	1.06	hi	FGH
84-11	2.02	l	K	85-10	0.41	i	I	82-10	0.82	ijk	GH
85-11	1.92	l	K	85-11	0.31	j	J	85-11	0.67	jk	H
								84-08	2.13	ij	GH
								84-09	1.81	j	H
								83-06	0.40	c	C

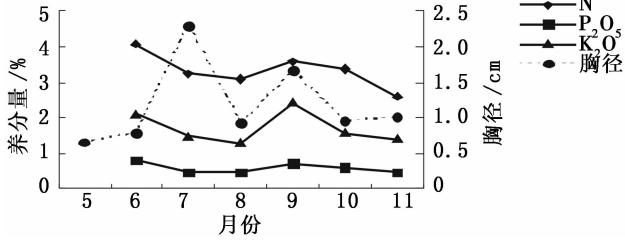


图 3 1983 年胸径生长与养分动态变化

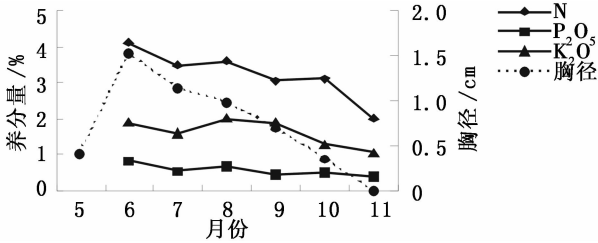


图 4 1984 年胸径生长与养分动态变化

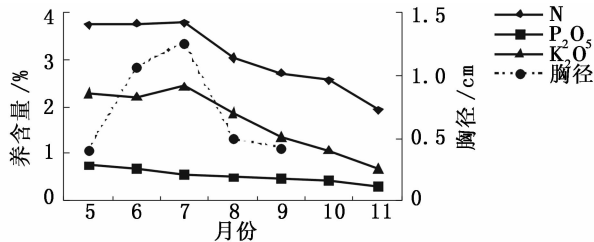


图 5 1985 年胸径生长与养分动态变化

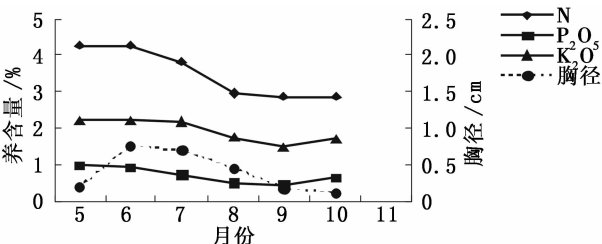


图 6 1986 年胸径生长与养分动态变化

3.2.2 林木生物量及主要养分含量的积累与分配

林木生物量及主要养分含量的积累与分配,不仅反映了林木生长对养分的需求,更能显示林木生物量及主要养分循环的特点。从表 4 看出:生物量及主要养分含量,随林龄增加而增加,但不是同倍增加。速生

期第 4 年的生长为第 1 年的倍数:胸径 7 倍,高 5.6 倍,材积 28 倍;生物量 15 倍,养分量:N:10 倍, $P_2O_5$ :7.5 倍, $K_2O$ :9.7 倍,后期第 8 年为第 4 年的倍数:胸径 1.5 倍,树高 1.8 倍,材积 2.4 倍;生物量 1.7 倍,主要养分含量:N:1.4 倍, $P_2O_5$ :2.9 倍, $K_2O$ :1.7 倍。速生期增加幅度大于后期。生物量积累因器官不同而有差异,但年与年之间分配顺序无差异,其顺序为干 > 枝 > 侧根 > 主根 > 干皮 > 主根皮,叶随年生长递减。同样养分积累亦有差异,速生期顺序趋于侧根 > 枝 > 干 > 干皮 > 主根 > 主根皮;后期为枝 > 干 > 侧根 > 干皮 > 主根 > 主根皮,叶逐年递减。从表 5 可知速生期各年养分分配顺序都相同<sup>[12-15]</sup>,年平均养分分配顺序是:N(35.06%) > Ca(22.85%) > K(8.69%) > Mg(3.89%) > P(1.12%),后期是 Ca(33.48%) > N(21.87%) > K(7.49%) > Mg(5.27%) > P(0.86%)。不同器官养分分配不同(表 6):N:枝 > 干 > 叶 > 侧根 > 干皮 > 主根, $P_2O_5$ :枝 > 干 > 侧根 > 叶 > 干皮 > 主根,K:枝 > 侧根 > 干 > 叶 > 干皮 > 主根,Ca:枝 > 干皮 > 干 > 叶 > 侧根 > 主根,Mg:干 > 侧根 > 枝 > 干皮 > 叶 > 主根。生物养分量的积累随林龄增加而增加。但分配的比例不同,如:干生物量占总生物量的 46%,而干养分量(含 N、P、K)仅占总养分量 4.48%;叶生物量仅占总生物量的 3.2%,但叶养分量却占总养分量的 2.69%。不同器官主要养分含量不同:N、P、K 分配顺序:叶 > 侧根 > 干皮 > 枝 > 主根 > 干;Ca:叶 > 干皮 > 主根 > 侧根 > 枝 > 干;Mg:侧根 > 干皮 > 叶 > 干 > 枝 > 主根。同一器官主要养分含量亦不同,就吸收营养物质的根而言,不同径级的养分量不同。如表 7 所示,侧根各种养分分配均是细根大于粗根,前期大于后期。可见林木生物量及主要养分含量分配不同是由于不同器官吸收养分的生理活性所致。总之,林木生物量及主要养分含量的积累与分配的动态平衡进程反映了 I-69 杨人工林首个轮伐期内养分循环的特性。

表 4 首个轮伐期内 I-69 杨人工林生物量及主要养分含量与分布

$t \cdot \text{hm}^{-2}$

林龄/a	生物量	养分量	不同器官生物量及主要养分含量													
			叶		干		干皮		枝条		主根		主根皮		侧根	
			生物量	养分	生物量	养分	生物量	养分	生物量	养分	生物量	养分	生物量	养分	生物量	养分
1	4.70	0.093	0.93	0.029	1.73	0.005	0.27	0.007	0.47	0.005	0.50	0.031	0.23	0.005	0.533	0.010
2	12.62	0.184	0.90	0.035	4.83	0.021	0.90	0.021	2.10	0.028	1.70	0.09	0.13	0.007	2.066	0.059
3	37.65	0.527	2.25	0.09	17.42	0.098	2.80	0.075	8.38	0.128	3.18	0.023	0.49	0.015	3.813	0.088
4	70.11	0.974	4.64	0.204	33.58	0.131	4.17	0.109	13.17	0.218	4.80	0.023	0.60	0.015	9.152	0.283
8	120.60	1.993	4.64	0.237	57.25	0.237	7.59	0.283	34.22	0.649	6.85	0.053	0.79	0.023	9.270	0.290

注:表中养分包括:N、P、K、Ca 和 Mg

表5 首个轮伐期内 I-69 杨人工林主要养分积累状况

kg · hm<sup>-2</sup>

林龄/a	养分积累量	N	P	K	Ca	Mg
1	92.55	45.67	1.46	10.27	31.03	4.12
2	184.14	86.32	3.36	26.14	61.24	7.08
3	526.83	271.00	9.39	68.94	130.60	46.90
4	973.84	469.45	10.90	99.97	349.55	43.97
8	1 993.06	659.59	32.12	172.73	913.44	215.18

表6 首个轮伐期内 I-69 杨不同器官生物量及主要养分含量与分布

不同部位	生物量		N			P			K			Ca			Mg		
	(t · hm <sup>-2</sup> )	%	含量 /%	(kg · hm <sup>-2</sup> )	占总量 /%	含量 /%	(kg · hm <sup>-2</sup> )	占总量 /%	含量 /%	(kg · hm <sup>-2</sup> )	占总量 /%	含量 /%	(kg · hm <sup>-2</sup> )	占总量 /%	含量 /%	(kg · hm <sup>-2</sup> )	占总量 /%
叶	3.79	3.16	2.49	94.32	14.30	0.08	3.15	9.82	0.60	22.82	13.21	3.32	125.66	13.90	0.20	7.8	3.62
干	53.97	45.03	0.29	166.93	25.32	0.02	6.82	21.23	0.50	23.92	13.85	0.29	143.88	15.92	0.16	90.39	42.01
干皮	7.03	5.87	0.87	59.99	9.10	0.04	2.35	7.31	0.24	16.95	9.81	1.87	163.52	17.04	0.40	28.2	13.11
枝条	39.48	32.94	0.72	227.31	34.66	0.05	14.67	45.66	0.20	75.16	43.51	0.93	319.23	35.31	0.12	34.79	16.17
侧根	8.94	7.46	0.97	75.99	11.52	0.05	4.03	12.56	0.39	29.52	17.09	1.57	118.09	13.06	0.40	47.20	21.93
主根	6.66	5.56	0.59	35.00	5.30	0.03	1.10	3.42	0.16	4.13	2.53	1.61	43.07	4.76	0.10	6.80	3.16
合计	119.86	100.00		659.59	100.00		32.12	100.00		172.18	100.00		913.45	100.00		214.98	100.0

表6 中的数据表明:树龄8年的杨树,每公顷的生物量可达到119.86 t,需要N 659.59 kg、P 32.12 kg、K 172.18 kg、Ca 913.45 kg和Mg 214.98 kg,也

就是说:树龄8年的杨树,每生长1t生物量,需要N 5.50 kg、P 0.27 kg、K 1.44 kg、Ca 7.62 kg、Mg 1.79 kg。

表7 首个轮伐期内 I-69 杨人工林不同年、不同径级的侧根养分比较

%

径级	N		P		K		Ca		Mg	
	2	10	2	10	2	10	2	10	2	10
>2~3 cm	0.65	0.32	0.09	0.01	0.43	0.15	0.69	0.38	0.19	0.06
<2 cm	1.21	0.59	0.13	0.02	0.66	0.37	1.78	1.11	1.26	1.11

### 3.3 I-69 杨人工林养分循环及动态平衡

I-69 杨人工林生态系统内养分循环按通常采用的林木养分吸收量 = 存留量(积累量) + 归还量来表示。8年生 I-69 杨林木对主要养分吸收量为1 993.06 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,其中:N:659.59 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,P:32.12 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,K:172.73 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,Ca:913.44 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,Mg:215.18 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>;归还量(计叶、侧根)为529.39 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,其中:N:170.31 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,P:7.19 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,K:52.34 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,Ca:243.96 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,Mg:55.60 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>;存留量为1 464.69 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,其中:N:489.28 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,P:24.93 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,K:120.40 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,Ca:669.70 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>,Mg:160.18 kg · hm<sup>-2</sup> · a<sup>-1</sup>。各种养分的循环速率(归还量/吸收量):N:0.26,P:0.22,K:0.30,Ca:0.27,Mg:0.26。

不同生长期养分循环速率不同:前期平均为

0.47,后期为0.28,其养分利用率(每生产1t有机物需要的养分量)也不同,生长前期平均:N:7.6 kg,Ca:4.97 kg,K:1.89 kg,Mg:0.84 kg,P:0.26 kg;而后期平均:N:4.3 kg,Ca:6.39 kg,K:1.39 kg,Mg:1.14 kg,P:0.18 kg。

在林木中,不同养分积累量占土壤相应速效养分量:N:49.61%,P:66%,K:28.37%。人工林采伐后的移走部分干、枝及主根等支出的养分量:N:489.26 kg · hm<sup>-2</sup>,P:24.93 kg · hm<sup>-2</sup>,K:120.13 kg · hm<sup>-2</sup>,Ca:669.70 kg · hm<sup>-2</sup>,Mg:160.18 kg · hm<sup>-2</sup>。人工林采伐后移走的N、P和K养分量,分别占土壤相应速效养分量的比例:36.8%、52.78%、19.72%,土壤养分支出较大,但是由于土壤养分供给水准较高,林木生长对养分的需求及土壤养分的供给处在动态平衡的态势。可见林木与土壤的养分循环起着主导和协调林木体内养分循环的作用;两者互动共同构建了该立地森林生态系统的生物养分循环并良性发展。

## 4 结论与建议

(1) 8年生 I-69 杨人工林生长平均胸径 27.00 cm, 平均树高 25.25 m, 材积  $196.16 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ , 前4年为速生期, 经济系数为 51%。反映了林木速生的生物学特性。

(2) 通过生物养分量的积累与分配的变化过程及其叶片养分年、月动态变异规律, 集中反映了林木体内养分循环的特点。

(3) 通过 I-69 杨人工林养分循环的定位研究, 表明了该立地森林生态系统中的林木土壤养分循环处在动态平衡的态势, 并起着主导协调林木体内养分循环, 两者互动共同完成了首个轮伐期内的良性养分循环。

(4) 首轮栽培中土壤养分支出较大, 若要连栽必须在杨树集约栽培中对林木土壤养分进行监测, 采用营养诊断方法关注林木养分的变化协调和稳定林木土壤养分循环的进程, 改善和促进以森林环境为主体的森林生态系统的良性发展, 提高杨树生产力和可持续发展。

(5) 对 I-69 杨人工林养分循环的定位研究发现, 该树种在生长过程中, 对 N、Ca 的需求量较大, 因此及时增施 N 肥和 Ca 肥, 是很有必要的。

### 参考文献:

[1] 刘爱琴, 范少辉, 林开敏, 等. 不同栽植代数杉木林养分循环的比

较研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(2): 273-278

- [2] 余常斌, 罗治建, 陈卫文, 等. 幼龄杨树养分含量及其积累季节变化研究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 181-186
- [3] 杨承栋. 论合理保护开发利用中国森林土壤资源[J]. 世界林业研究, 2011, 24(1): 19-27
- [4] 王少元. 合理施用化学肥料提高杨树生长量的效应及其作用机理[M]//中国主要造林树种土壤质量演化与调控机理. 北京: 科学技术出版社, 2009: 408-416
- [5] 祝燕, 刘勇, 李国雷, 等. 氮素营养对长白落叶松移植苗生长及养分状况的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(9): 168-172
- [6] 王延平, 王华田, 姜岳忠, 等. 氮磷亏缺条件下杨树幼苗根系分泌芬酸的动态[J]. 林业科学, 2011, 47(11): 74-79
- [7] Bowen G D, Nambiar E K S. Nutrition of Platanon Forests[M]. London: Academic Press, 1989: 53-79
- [8] 李哈铨, 陈章水. 黄淮海及长江中游平原土壤与杨树生长关系的初步研究[J]. 林业科学, 1983, 19(1): 1-13
- [9] 杨世桦, 徐清彦. I-69 杨人工林生长规律与营养特性的研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(1): 38-43
- [10] 张颖, 孙向阳, 曲天竹, 等. 三倍体毛白杨不同无性系叶片养分含量研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 64-68
- [11] 王保平, 李素艳, 孙向阳, 等. 泡桐生长季节中叶片养分吸收变化规律的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 120-124
- [12] 项文化, 田大伦, 闫文德, 等. 第2代杉木林速生阶段营养元素的空间分布特征和生物循环[J]. 林业科学, 2002, 38(2): 2-8
- [13] 秦武明, 何斌, 覃世赢, 等. 厚荚相思人工林营养元素生物循环的研究[J]. 林业科学, 2007, 21(4): 103-107
- [14] 何斌, 秦武明, 余浩光, 等. 不同年龄阶段马占相思人工林营养元素的生物循环[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5158-5167
- [15] 李淑仪, 钟继洪, 漠晓勇, 等. 桉树土壤与营养研究[M]. 广东科技出版社, 2007