

# 论单层同龄林分系统的耗散结构特性

杨永祥

**摘要** 林分系统的演变,必定是通过净生长量和死亡量的涨落,改变旧的(株数—蓄积量)结构,形成新的转化功能,再发生新的涨落,策动着将来的(株数—蓄积量)演变,这种生长运动导致林分的进化、发展,维持着非平衡态结构的稳定、有序。

林分系统的时、空演变是多样化的,而坐标 $(x(\text{株数}), y(\text{蓄积量}))$ 在“能级谱”上运动的方向和速度,既表现了林分(株数—蓄积量)结构的变化,又反映着能量演变的频率和动量产生的波长,说明演变具有波、粒二象性的特性。

**关键词** 单层同龄林分系统、耗散结构、能级谱、云南松

1969年比利时统计物理学家普里戈金创立耗散结构论<sup>[1]</sup>,阐述非平衡态开放系统与外界进行物质、能量交换产生的负熵流和熵,提出负熵流和熵的涨落是造成系统演变的关键因素。只要由物质、能量交换所获得的新物质(负熵流)大于耗散掉的物质(熵),就将产生新的时、空有序结构和新功能。涨落受到系统内部结构和外界能量条件的制约,因此涨落的巨、微是随机的,通过涨落而出现新结构、产生新功能,所以说耗散结构的结构、功能、涨落三者相互联系又相互制约。

单层同龄林分系统的开放性、非平衡态结构、净生长量和死亡量的涨落,都与耗散结构论所阐明的非平衡、非线性、自组织、涨落理论<sup>[2]</sup>相一致,因此应用耗散结构论的新观点、新方法去研究林分生长运动,将可能更深刻地揭示出林分系统的演变规律。

近20a来,耗散结构论作为犀利的理论工具,解决了许多领域的重大课题,在生态系统的研究领域中的应用已相当深入,但是林分系统中的应用尚不多见。

## 1 研究方法

分别在云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)、思茅松(*P. kesiya* Royle ex Gord. var. *langbianensis* (A. Chev.) Gaussen)、华山松(*P. armandi* Franch.)、直干蓝桉(*Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* (F. Muell.) Kirkpatr.)林分,进行了30a和5~7a的连续观测<sup>[3]</sup>。研究工作着重于林分系统结构的整体演变行为,通过统计分析,认识了单层同龄林分系统乃是内、外部条件的阈限范围内,通过林分株数递减和林分蓄积量递增,驱使林分系统不断向新的非平衡态,稳定、有序的饱和状态演变。

## 2 单层同龄林分系统的非平衡态结构及外界环境

所有单层同龄林分都包含有径级株数序列和树高层序列的特征:即处于林分平均直径以上的林木占全林株数的30%~40%,平均直径以下的占70%~60%;全林蓄积量则有60%

1994-01-14 收稿。

杨永祥高级工程师(云南省林业科学研究院 昆明 650204)。

~70%分布在上层林木(优良木)中,其余40%~30%分布于下层林木(被压木)中,形成株数与蓄积量的非平衡态结构。

曾经实测到80%~100%的净生长量产生于上层林木,而下层林木只占0%~20%,这就说明林分转化功能,不是均匀地分布在全体林木中。密度越大,下层木的死亡量越高而生长量越趋近于零,上层木的净生长量亦相对下降。林分系统的死亡木总是在下层林木中产生,而由上层林木产生新蓄积量,造成林分株数递减和林分蓄积量递增的非线性反馈机制,也就是耗散较少旧物质,同时生成更多新物质,不断改变林分系统的(株数—蓄积量)结构。新结构形成又蕴藏着新的转化功能,再发生净生长量和死亡量的涨落,从而推动林分系统的进化、发展。林分系统结构的演变还包含着与环境协调的作用。

当外界能量不能满足全体林木生长的需要,林分系统就自发减少林木,增加营养面积,表现为上层林木不断成长分化,下层林木则不断死亡,但总是使上、下层林木的株数结构比例稳定在30%~40%和70%~60%,这种比例不会随时间推移而显著改变,只会随林木直径、树高、树冠的长大而保持稳定,这就是林分系统的非平衡态、稳定、有序现象。

### 3 描述林分株数递减的函数( $\bar{D}-N$ )和林分蓄积量递增的函数( $\bar{D}-V$ )

曾经在云南松林分中观测到:9年生时,饱和林分具有31 000~18 500株/hm<sup>2</sup>林木,其中处于平均直径以下的占59.7%~68.0%,通过不同强度间伐后,20年生时再次进入饱和状态,这时全林株数为10 425~7 020株/hm<sup>2</sup>,其中平均直径以下的占59.5%~68.2%,再次间伐,到35年生时,全林株数为2 050~1 350株/hm<sup>2</sup>,其中平均直径以下的占57.8%~66.3%,40年生时的饱和林分,全林株数为1 425~1 000株/hm<sup>2</sup>,其中平均直径以下的林木占55.4%~65.0%。观测表明,间伐后的林分系统,总是趋向饱和状态,再次形成(株数—蓄积量)的平衡态结构,保持转化功能在上、下层林木中的非均匀分布。

用实测资料导算( $\bar{D}-N$ )函数方程式,得到斜率( $B$ 值)为1.901的“最大密度曲线”。应用模式林分生长过程表的数值导算“最大密度曲线”,云南松I~IV地位级的“最大密度曲线”斜率变动于1.618~1.727间,思茅松I~V地位级的最大密度曲线斜率变动于1.737~7.765间。连续实测和随机抽样得到的最大密度曲线斜率都较近似,且与Reineke 1933年的论点<sup>[4]</sup>相吻合:“任何树种组成的单层、同龄林分的最大密度曲线的斜率几乎是相同的。最大密度曲线的方程式为 $\log N = -1.605 \log D + K$ ”。曲线斜率近似使“最大密度曲线”绘在双对数图上几乎是一些平行线,但曲线的 $K$ 值( $\log A$ )不同则使曲线在图上的高度不同,反映出不同地位级上的饱和林分是各自沿着环境容许的自然限量进行株数递减。

林分株数结构不同则蕴藏不同的转化功能,产生不同的净生长量和死亡量,才驱使不同地位级上的饱和林分各有不同的演变过程。必须剖析净生长量和死亡量的涨落与林分株数结构的关系,或者说必须剖析全林蓄积量随林分平均直径增加而上升的函数关系( $\bar{D}-V$ ),才能揭示出林分系统的整体演变规律。用云南松林分的实测资料导算“最大蓄积量曲线”,曲线斜率为1.028,又导算模式林分I<sub>0</sub>~IV地位级的“最大蓄积量曲线”,其斜率变动于0.940~1.043间。曲线的斜率也近似,但曲线的 $K$ 值( $\log A$ )也随地位级不同而不同,说明饱和林分的蓄积

量也是按照环境容许的自然限量进行递增。

饱和林分系统把外界能量转化成相应的株数、蓄积量,并表现为斜率相似而  $K$  值不同的“最大密度曲线”和“最大蓄积量曲线”,则说明函数  $(\bar{D}-N)$  和函数  $(\bar{D}-V)$  是林分系统整体演变过程的两个侧面。

只剖析饱和林分系统的株数、蓄积量演变规律,尚不能表述出非饱和林分系统的演变过程。也就是说,要揭示非饱和林分系统的转化功能,还必须观测不同密度林分的(株数—蓄积量)结构的演变。为此,曾在 I<sub>0</sub> 地位级的云南松饱和林分中间伐 IV、V 级木或间伐 III、IV、V 级木,探讨不同密度林分的株数递减和蓄积量递增规律。从表 1、2 的数学模型中可以看出:( $N-V$ ) 结构动态方程式中的  $B$  值随起始密度增加而增加,  $A$  值则随起始密度的增加而下降,显示出林分系统的结构量动态是一种随起始密度的大、小而出现的斜率有序现象。

表 1 云南松 I<sub>0</sub> 地位级 ( $N-V$ ) 结构方程式的斜率有序性分析

标准 地号	分析 项目	9~20 a 林分结构量演变方程(以 $\bar{D}$ 为序)							幂函数曲线
		3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	
0	$N^{\text{①}}$	37 342	25 239	18 625	14 531	11 779	9 821		$V=4.193 17^8 N^{-1.287 95}$
	$V^{\text{②}}$	54.2	89.7	124.0	182.7	239.4	302.6		
7	$N$		17 391	14 355	12 272	10 749	9 583	8 660	$V=2.796 54^{14} N^{-3.006 88}$
	$V$		49.7	88.5	141.8	211.2	298.3	404.5	
6	$N$		14 964	12 907	11 437	10 326	9 451	8 741	$V=3.335 97^{19} N^{-4.295 24}$
	$V$		38.9	73.5	123.5	191.6	280.3	392.0	
10	$N$			11 418	10 435	9 670	9 054	8 542	$V=7.133 03^{25} N^{-5.933 36}$
	$V$			60.0	102.3	160.8	237.6	335.7	
5	$N$			9 896	9 207	8 662	8 216	7 842	$V=2.548 38^{32} N^{-7.684 11}$
	$V$			50.7	88.2	141.0	211.6	302.7	
9 <sub>a</sub>	$N$			9 569	9 306	9 089	8 905	8 746	$V=9.927 69^{84} N^{-20.922 05}$
	$V$			51.2	91.7	150.2	230.3	335.8	

① $N$ =全林株数(株/hm<sup>2</sup>);② $V$ =全林蓄积量(m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)。

表 2 云南松 I<sub>0</sub> 地位级 ( $N-V$ ) 结构方程式的斜率有序性分析

标准 地号	分析 项目	20~39 a 林分结构量演变过程(以 $\bar{D}$ 为序)													幂函数曲线	
		7.5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20
0	$N$	10 757	9 205	6 927	5 371	4 267	3 459	2 951	2 384	2 018	1 727	1 492	1 300	1 141		$V=660.518 N^{-0.086 31}$
	$V$	296.1	300.1	307.6	314.4	320.8	326.6	332.3	337.3	342.2	346.8	351.3	355.5	359.5		
9 <sub>a</sub>	$N$		6 434	5 028	4 022	3 281	2 720	2 287	1 946	1 673	1 452	1 270			$V=987.7 N^{-0.149 57}$	
	$V$		266.0	276.0	285.4	294.2	302.6	310.6	318.2	325.4	332.4	339.1				
7	$N$			3 942	3 280	2 769	2 367	2 046	1 785	1 570	1 391	1 241	1 113		$V=2 426.572 N^{-0.253 06}$	
	$V$			298.6	312.8	326.5	339.7	352.5	364.8	376.9	388.6	400.0	411.2			
6	$N$				2 541	2 228	1 972	1 759	1 580	1 428	1 298	1 185		$V=18 517.897 N^{-0.531 76}$		
	$V$				286.4	307.1	327.7	348.2	368.7	389.1	409.3	429.6				
5	$N$				2 275	2 077	1 909	1 765	1 640	1 531	1 434	1 349	1 272		$V=12 092 148.24 N^{-1.430 37}$	
	$V$				190.9	217.4	245.3	274.4	304.8	336.3	369.4	403.1	438.5			
10	$N$				1 912	1 831	1 759	1 695	1 637	1 584	1 536	1 492	1 451		$V=5.302 733 515^{16} N^{-4.439 27}$	
	$V$				143.6	174.0	207.9	245.1	286.1	331.1	379.5	431.8	488.6			

在外界能量相似的空间里,不同密度结构的林分系统都趋向环境阈限值,但走的路线各不相同:饱和林分经历净生长量和死亡量的涨落,沿着环境容许的饱和(株数—蓄积量)结构演变;非饱和林分则经历各不相同的净生长量和死亡量的涨落,由不饱和的(株数—蓄积量)起

点,用不同时间进入饱和(株数—蓄积量)结构。

#### 4 单层同龄林分系统的耗散结构特性

单层同龄林分系统的演变有两个显著特征:一是在外界能量相同的条件下,无论饱和林分或非饱和林分,总物质产量相近似,但年度净生长量受密度影响而各不相同;二是已经形成的物质质量不可能全部保存下来,其中必有一部分死亡耗散,但耗散速度受密度影响而各不相同。换言之,演变过程都遵循着热力学第一定律——当量定律<sup>[5]</sup>:“把相似的外界能量转化成相似的总生长量”,同时又遵循着:“不可能把能量完全转变为功而不引起其它变化”的热力学第二定律<sup>[5]</sup>,把总生长量再分解成“活立木蓄积量——转变为功的能量”和“死亡木蓄积量”(见表3,4)。

表3 云南松林分系统的(结构—功能)现象

标准地号	0	9.	7	6	5	10	0	9.	7	6	5	10	
林分 年龄 (a)	间伐 时间	通过涨落导致林分结构稳定、有序											
		株数结构 (株/hm <sup>2</sup> )						蓄积量结构 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )					
9	间伐前	31 000	23 113	24 220	22 700	18 590	21 350	71.7	58.2	88.7	75.2	71.5	79.2
	间伐后		9 475	14 425	12 425	9 725	11 538		44.9	67.0	65.0	60.8	56.9
12	间伐前	21 475	9 450	14 350	12 425	9 725	11 425	101.7	79.2	107.9	105.3	80.2	94.3
	间伐后	19 100	9 450	13 825	12 125	9 725	11 400	121.2	98.5	124.9	123.2	103.5	103.4
13	间伐前					8 275	9 425					99.6	96.5
	间伐后	17 925	9 450	13 475	12 100	8 275	9 425	134.1	108.1	140.4	142.5	102.6	103.5
14	间伐前	10 425	8 600	8 500	8 400	7 875	9 050	308.1	298.8	350.4	356.1	319.5	298.6
	间伐后		5 950	3 525	2 450	2 025	1 775		276.0	273.2	243.8	174.0	150.1
20	间伐前	5 400	5 225	3 525	2 450	2 025	1 775	318.8	277.1	312.2	294.4	223.3	205.1
	间伐后	2 725	3 100	2 800	2 150	1 925	1 725	329.2	308.0	372.7	375.4	310.5	292.8
25	间伐前	1 800	1 775	1 350	1 300	1 275	1 475	339.4	349.7	386.3	430.7	381.4	423.9
	间伐后	1 325	1 325	1 075	1 000	1 175	1 350	377.7	334.6	388.6	384.8	424.0	441.7

演变既表现出净生长量被纳入产生它的蓄积量之中,又表现出原有的株数、蓄积量因死亡而耗散。通过涨落改变旧的(株数—蓄积量)结构,产生新的转化功能,再发生涨落而策动着将来的(株数—蓄积量)演变。这是一种具有放大作用的非线性反馈机制,它导致林分系统的进化、发展,维持着非平衡结构的稳定、有序。

#### 5 衡量单层同龄林分(结构与功能)的尺度——能级谱

曾经用9~40年生云南松林分的实测数值推算林分平均直径与株数、蓄积量的函数关系,得到4~20 cm区间的等直径线。每一条等直径线上都有一组{N、V}集合,集合中的(株数—蓄积量)结构成为坐标点{x(株数),y(蓄积量)},坐标点由一条等直径线跃上另一条等直径线,表现了一个林分系统的演变过程。各个坐标点的“运动步伐”并不相同,但都会在等直径条件下组成另一条等直径线(另一个{N、V}集合)。等直径线在双对数图上显示出近乎于平行的态势,线间距离都随平均直径增加而缩短,则说明众多林分的整体演变是一种“波动现象”。点运动和波动是林分系统由内、外部条件制约而产生的整体演变行为,反映了林分系统的物质积累和物质耗散(见图1)。

表 4 云南松林分系统的(结构—功能)现象

标准地号		0	9 <sub>a</sub>	7	6	5	10	0	9 <sub>a</sub>	7	6	5	10
林分 年龄 (a)	间伐前	净生长量						死亡量					
	间伐后	净生长量						死亡量					
9	间伐前							1.2	5.6				
	间伐后	0	0	0	0	0	0	(7.6)	(21.7)	(10.2)	(10.7)	(22.3)	
12	间伐前	40.7	34.9	40.9	40.3	19.4	37.4	6.3	0.6	0.1			
	间伐后	22.2	19.3	18.0	18.5	23.2	9.2	2.7		1.0	0.6		0.1
13	间伐前												
	间伐后											(6.0)	(7.0)
14	间伐前	14.4	9.6	16.6	19.5	5.1	7.1	1.6		1.1	0.1		
20	间伐前	199.8	197.3	248.9	234.8	220.1	197.7	25.8	6.6	39.0	21.4	3.2	2.5
	间伐后							(27.5)	(86.4)	(117.1)	(142.7)	(154.4)	
25	间伐前	51.8	20.3	48.2	55.5	46.6	60.8	41.1	14.5				
30	间伐前	70.7	88.9	96.0	98.5	91.1	89.5	60.2	58.0	30.1	17.5	4.0	1.8
35	间伐前	102.2	103.2	124.6	119.5	120.0	151.0	91.9	61.5	111.0	64.2	49.0	19.9
39	间伐前	46.8	39.3	67.3	36.6	54.3	49.7	8.5	54.4	64.9	82.5	11.7	31.9
		通过涨落导致功能稳定						(趋向阈值)					
合计		548.6	512.8	655.1	623.2	579.8	602.4	239.3	236.3	355.3	313.6	227.3	239.9
总生长量		621.5	571.0	743.8	698.4	651.6	681.6						

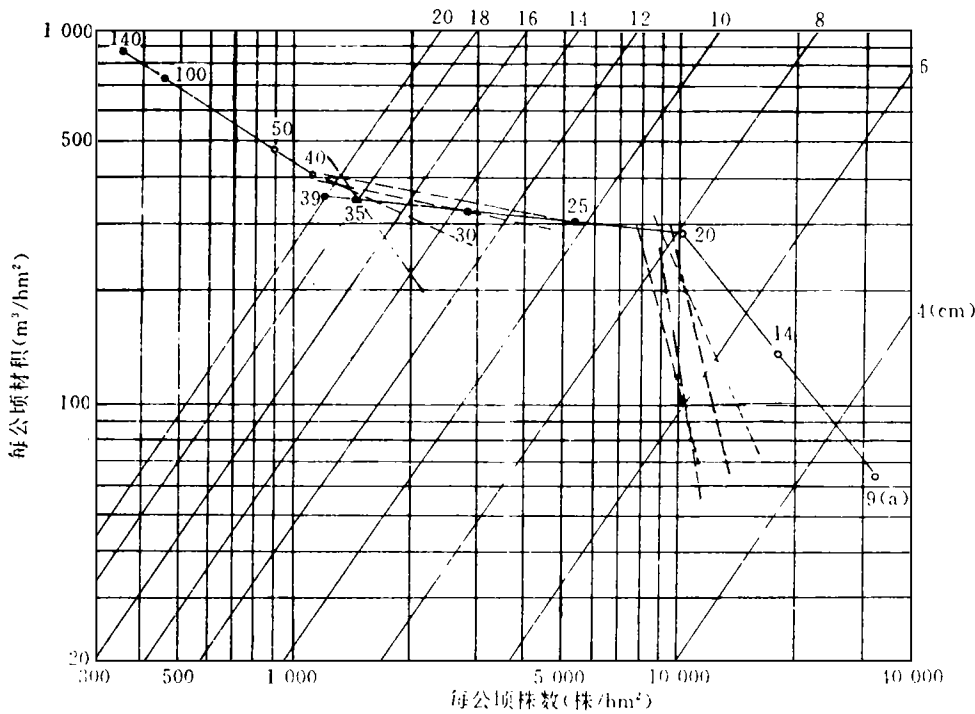


图 1 云南松林分能级谱(等直径线)

——饱和林分生长线;-----非饱和林分生长线

进一步导算思茅松、欧洲松的等直径线,都表现出近乎于平行的态势,而且三个树种的“等直径线”的线间距离几乎具有相同的“尺寸”,这相同的“步长”很可能是林分系统与外界进行物质、能量交换时的能量与动量关系的反映。

“等直径线”与“等树高线”是一种互补尺度,衡量着林分系统的能量与能级,所以称为“能级谱”。

在“能级谱”上,林分系统的坐标 $\{x(\text{株数}), y(\text{蓄积量})\}$ 由一个能级跃上另一个能级,显示出林分(株数—蓄积量)结构发生的演变,也隐含着结构中产生了能量差,这个能量差就是由动量——净生长量和死亡量的涨落造成的。

用云南松实测数值在“能级谱”上验证,误差为2.2%,又用116增随机样地资料验证,误差分别为:4.6%(I。地位级—77增);5.6%(II—31增);6.5%(IV—8增),这也说明“能级谱”可能表达了林分系统的(结构—功能)关系,从而具有较高精度。

## 6 小结

(1)任何树种组成的单层同龄林分系统都会产生净生长量和死亡量。净生长量和死亡量的涨落导致林分系统(株数—蓄积量)结构的演变。无论树种、地位级、密度如何变化,都可用 $(N-V)$ 结构方程式的斜率变动来表达林分系统的演变过程。

(2)同树种组成的,生长在同地位级上的单层同龄林分,其(株数—蓄积量)的演变都有一条斜率稳定的阈值曲线和多条向阈值驱进的、斜率有序的 $(N-V)$ 结构量曲线来表达它的整体演变行为。

(3)单层同龄林分系统的时、空演变,都遵循着热力学第一、第二定律:当净生长量大于死亡量时,林分系统向前发展;当净生长量小于死亡量时,则发生衰退;当净生长量等于死亡量时,林分系统则在停滞中保持非平衡态结构。

(4)一个树种(林分)在变化的外界能量条件下进行物质、能量交换,总是要产生相应于外界能量水平的物质质量,同时耗散相应的物质质量。当外界能量相似,林分系统的总生长量相似、净生长量和死亡量也相似,当减少下层林木,林分系统的年度净生长量增加而死亡量则下降,但总生长量无显著变化。所以在林分系统的演变过程中,时间与空间的本质联系是具有相对性:密度空间是相对的,转化功能是相对的,时间也是相对的。“能级谱”可能反映了这种时、空演变的本质,或者说揭示了林分系统的(结构—功能)<sup>[1]</sup>、(能量—动量)关系。

(5)结构、功能、涨落三者互相联系又互相制约,所以对于立地条件不同、系统结构不同的单层同龄林分,必须采用不同的时、空量度来衡量其多样化的 $(N-V)$ 结构量动态。分别树种编制的能级谱,则能够衡量多种斜率的 $(N-V)$ 演变过程,成为较精确的尺度。

## 参 考 文 献

- 1 陈敏豪.人类生态学.上海:上海交通大学出版社,1986.
- 2 伊普里戈金,伊·斯唐热(曾庆宏,沈小峰译).从混沌到有序.上海:上海译文出版社,1987.
- 3 杨永祥,战铁铮,白沙林.云南松林分系统的形成与演变.林业科学,1991,27(3):199~209.
- 4 丹尼尔,海勒姆斯,贝克(赵克绳,王业遽,宫连成,等译).森林经营学原理.北京:中国林业出版社,1987.
- 5 陈光旨,俞雪珍,李洁和.统计物理学.北京:高等教育出版社,1985.

# Study on the Dissipation Structure of Identical Age and Single-storied Forest

Yang Yongxiang

**Abstract** A stand system change in the (number — volume) structure would be through going up and coming down of the growth increment and death volume, it will take a new convert function, which may instigate evolution (number — volume) of stands in future. This (structure — function) keeps to form an unbalance state, stable and in order advancing stands system better than that of the past.

Time—and—space evolution of stands system is changeable, which shows different diversity, its  $\{x(N), y(V)\}$  evolution on the “Power Class Table” that react on its ratio of energy change and wavelength. This indicates that there is the characteristics of wave and particle change in the production of matter and energy of stands system.

**Key words** identical age single-storied forest, dissipation structure, power class table, *Pinus yunnanensis*

Yang Yongxiang, Senoir Engineer (Yunnan Provincial Forestry Academy Kunmin 650204).

## 欢迎订阅 1995《植物医生》

《植物医生》杂志,是经国家科委批准,由农业部主管、西南农业大学等单位主办的公开发行人物。国内统一刊号 CN51—1459/S,广告经营许可证:渝工商广字 940188 号。本刊融科学性、实用性、技术性、指导性于一体,结合生产实际传播植物保护基础知识和实用技术。内容丰富、翔实、通俗易懂。主要刊载农林牧、园艺、中药材生产及产品储运中病、虫、草、鼠害的发生及防治等方面内容的文章;介绍农药及药械的性能、特点和使用方法;反映国内外植物保护科技发展动态、发布产品信息;颂扬植保站、植物医院、植保科教部门个人和单位的先进事迹。

本刊主要读者为农林牧、园艺、中药材生产及其产品储运部门的植物保护工作者;基层农技工作者;农药及药械产销人员;农林牧化工大中专院校师生和从事种植业的专业户和农村知识青年。

《植物医生》杂志系双月刊,16 开、48 页,每册定价 1.50 元(包括平寄邮费),全年定价 9.00 元。订阅款经邮局汇到:重庆北碚西南农业大学《植物医生》杂志社,请在汇款单简言栏注明份数;经银行汇款到:工商银行重庆北碚朝阳分理处,帐号:281—014452496—120,并注明订阅刊名、份数。本刊备有订单,函索即寄。

本刊联系地址:重庆北碚西南农业大学《植物医生》编辑部

邮政编码:630716 联系人:陈文龙

电话:(0811)8864992 转 3231