

# 农桐间作的生态特点与行距优化\*

殷云龙

(江苏省植物研究所, 南京 210014)

蔡天麒 姜志林

(南京林业大学林学系, 南京 210037)

**摘要** 本文以河南省封丘县鲁冈乡境内的泡桐-小麦-玉米(*paulownia-wheat-maize*)间作为研究对象,对农桐间作系统的土壤养分与小气候,林木与农作物的生物生产力等进行了系统测定;分析了林带间环境因子与农作物产量之间的相互关系;运用 Logistic 曲线拟合林带内农作物产量,设计了农桐间作的最优行距,为探讨农林复合系统的结构优化提出了新方法。

**关键词** 农桐间作;逻辑斯蒂方程;行距优化;农林复合系统

**The ecological characteristics of interplanting system of *Paulownia elongata* S. Y. Hu with crops and row distance optimizing** Yin Yun-Long (Jiangsu Institute of Botany, Nanjing 210014), Chai Tian-Qi and Jiang Zhi-Lin (Nanjing Forestry University, Nanjing 210037), *J. Plant Resour. & Environ.* 1992, 1(2):31~36

The interplanting system of paulownia with crops is a main model of agroforestry management in Huanghuaihai plain of China. A seven-year-old complex system of paulownia (*Paulownia elongata* S. Y. Hu) interplanted with wheat and maize in Fengchiu Testing Area was comprehensively researched. Compared with the monocropping system, the complex system had higher productivity, more stable microclimate condition, and higher level of nutrient content of soil. It was found that solar radiation was the dominant factor influencing the crop yield in the complex system. Logistic equation was used to estimate the crop yield in the complex system as follows:  $F=K/(1+AE^{-BX})$  for wheat and  $F=K/(1+EA^2+BX+C)$  for maize,  $X(m)$ , distance from shelterbelt;  $Y(kg/m^2)$ , crop yield. By integrating the imitated logistic equation, we could estimate the total crop yield in various structures of complex systems. Moreover, by establishing a equation group, we could calculate the optimized row distance, it was 55 meters at which the interplanting system would acquire highest economic, ecological and social benefits.

**Key words** interplanting system of paulownia with crops; logistic equation; optimizing row distance; agroforestry

生物资源短缺和环境恶化是目前世界上面临的严峻现实,发展中国家正在探索一种新型的农林复合经营方式,以克服传统农业所面临的肥力下降、土壤侵蚀、木材和燃料匮乏等一系列生态和资源问题。我国黄淮海平原农区早在本世纪六十年代初就开创了以农桐间作为主体的农林复合经营的先例,并逐步取得了巨大的生态、经济和社会效益。但是目前农桐间作结构尚不合理,林农矛盾较为突出,为此,结构优化问题就成为农桐间作研究的重点课题。前人关

于农桐间作结构的优化问题中仍然缺乏定量化的方法。

## 材料与方 法

### 1. 试验地概况

封丘县地处我国黄河以北的豫北平原,为中国科学院封丘农业示范区,地理位置东经114.4°,北纬35°,属半湿润暖温带气候区,气候温和,光热资源充足,能满足作物二年三熟或一年两熟的要求;年平均气温13.9℃,无霜期214天,年平均降雨量615.1 mm,约三分之二集中在6~9月,由于雨热分配基本同步,与植物生长盛期相吻合,有利于作物的光合作用和获得高额的生物产量。小麦和玉米为该地区主要农作物。该地区土壤为发育于黄河沉积的潮土,亦有部分沙土和盐碱土,土壤肥力普遍低下。人均耕地约1.5亩,人口增长与耕地锐减的矛盾十分突出。

试验样地位于封丘县鲁冈乡郭产角村以南的桐粮间作(株距×行距:5×40 m)万亩试区内。样地面积为40×50 m<sup>2</sup>,林带走向为南北向。样地内东、西林带的林木平均胸径、平均树高、平均冠幅相似(见图1)。林龄为7年生,间作期为5年,林木最近一年的平均胸径25.0 cm,平均树高10.4 m。在邻近鲁冈乡的潘店乡境内,选择面积为40×40 m<sup>2</sup>的无林地作为非间作对照样地,土壤类型和经营管理措施与农桐间作地一致。

### 2. 研究方法

(1) 林木生长动态调查 分别于林木生长季前后(1990年初春和秋末)调查样地内所有林木的胸径、树高和南北、东西向冠幅以及枝下高。根据冠幅调查绘制样地内林冠投影图,并采用方格纸法计算样地内林冠投影面积。

(2) 林木材积量调查 按照分段法实测伐倒木材积建立以下回归方程<sup>(2)</sup>。

$$V=0.05022(D^2H)^{0.9821}\dots\dots\dots(1)$$

根据方程(1)推算林木材积。

(3) 农作物调查 收获季节分别在林带西、东侧0.0H、0.25H、0.5H、1.0H、1.5H和2.0H的距离处设小样方(0.5×0.5 m<sup>2</sup>)调查单位面积产量。林带内农作物单位面积平均产量采用加权平均法计算<sup>(5)</sup>。

(4) 生态环境因子调查 土壤调查:小麦冬季施肥前,分别在农桐间作地和非间作地内采集耕作层(0~30 cm)土样,带回室内分析<sup>(4)</sup>。小气候测定:采用阿斯慢、地温表和辐射计在小麦灌浆期(隔5天1次)测定林内外小气候要素。

## 农桐间作系统的生态特点

### 1. 土壤与气候效应

根据5月5日的观测,农桐间作地白天8~16时的空气温度比非间作地低1.0℃,地温低5.3℃,空气相对湿度高9%,这对于防止干热风等不利气象条件,保障农作物丰产丰收有积极作用。实行农桐间作,丰富了农田生物物质循环,提高了土壤肥力,也是促进农作物增产的有利因素(见表1)。

表1 农桐间作对耕作层(0~30 cm)土壤养分的影响  
Tab 1 The nutrient content of soil at the layer of 0~30 cm

立地名称 Land name	有机质(%) Organic matter(%)	全氮(%) Total N(%)	速效磷(ppm) Quick-acting P(ppm)	速效钾(ppm) Quick-acting K(ppm)
间作地 Interplanted land	0.9240	0.0531	3.6140	81.6300
非间作地 Uninterplanted land	0.7785	0.0532	2.0100	73.5175

2. 胁地效应

胁地效应是指林木对农作物的生长和发育的不利影响,见图1。林带边缘的小麦产量皆低于对照地,林带中间的产量比对照地高,胁地范围在林带东侧冠幅范围内和林带西侧1倍树高范围内,即东侧的胁地范围比西侧小。

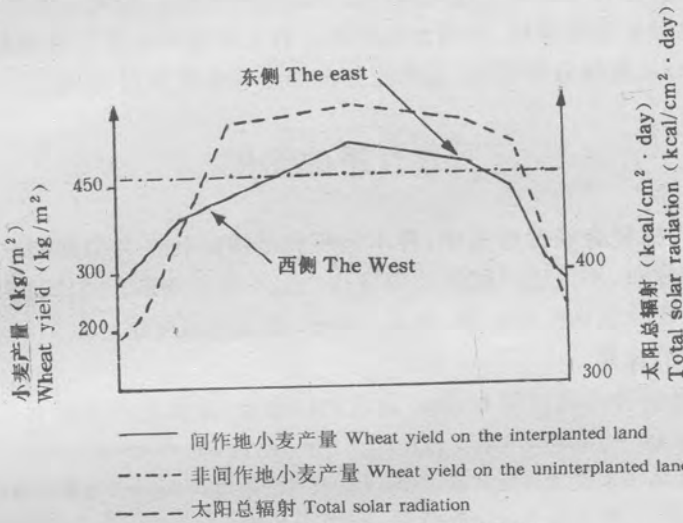


图1 林内太阳辐射和小麦产量分布  
Fig 1 The distribution of solar radiation and wheat yield in stand

(1) 胁地主因子的确定 寻找主要矛盾是解决复杂问题的关键,为了研究间作系统内影响农作物产量的主因子,运用灰色理论中的关联分析方法是一种有效手段,其运算步骤如下<sup>(1)</sup>;

1) 列出原始数据矩阵 A

	0.0H	0.5H	1.0H	2.0H	Compared sample
X <sub>1j</sub>	0.0752	0.0757	0.0711	0.0774	0.0532
X <sub>2j</sub>	4.9600	6.7967	2.9400	4.5330	5.0444
X <sub>3j</sub>	89.4133	100.5400	67.1700	67.7133	59.8608
X <sub>4j</sub>	11.5500	14.8800	16.1000	13.9700	15.4000
X <sub>5j</sub>	340.4794	501.4886	536.4546	548.7895	487.5000
X <sub>6j</sub>	0.2855	0.4501	0.4961	0.5201	0.4521

- X<sub>1j</sub>.....耕作层(0~30 cm)土壤全 N(%)
- X<sub>2j</sub>.....耕作层(0~30 cm)土壤速效 P(ppm)
- X<sub>3j</sub>.....耕作层(0~30 cm)土壤速效 K(ppm)
- X<sub>4j</sub>.....0~100 cm 深度土壤含水量(%)
- X<sub>5j</sub>.....太阳日总辐射(cal/cm²·day)
- X<sub>6j</sub>.....小麦单位面积产量(kg/m²)

2) 计算得到关联度矩阵 B

$$B = \begin{matrix} R_{\theta(1)} \\ R_{\theta(2)} \\ R_{\theta(3)} \\ R_{\theta(4)} \\ R_{\theta(5)} \end{matrix} = \begin{matrix} 0.368210 \\ 0.3278756 \\ 0.1855955 \\ 0.7167728 \\ 0.8330900 \end{matrix}$$

$R_{\theta(1)} \sim R_{\theta(5)}$  表示  $X_{\theta j}$  与  $X_{1j} \sim X_{5j}$  之间的关联度。

3) 排出关联序  $R_{\theta(5)} > R_{\theta(4)} > R_{\theta(1)} > R_{\theta(2)} > R_{\theta(3)}$

可见太阳总辐射与小麦产量之间的关联度最大,土壤水分次之,土壤养分最小。因此该地区林带使太阳辐射的减少是产生胁地的主因子,即所谓的光胁地。

(2) 林内光分配与农作物产量分布的关系 由于林冠层对太阳光的反射和吸收作用,以及太阳高度角的变化,使得太阳辐射进入林内时分配格局发生了变化。由图 1 可见,由林冠下至林带间,太阳日总辐射逐渐递增。林内太阳总辐射的分布规律决定了林内农作物产量的分布方式,即表现出 Logistic 曲线分布特征(玉米的分布特点与小麦相同,图略)。

### 间作行距的优化

实践证明:在农桐复合经营过程中,并不是所有结构的间作类型都能取得良好的生态效益,经济效益和社会效益,不合理的间作结构往往产生不良的效果。间作结构的优化主要是间作行距的优化,为了优化农桐间作行距,引入 Logistic 曲线可以使这一复杂问题简单化。

#### 1. Logistic 方程的运用

林内农作物产量的分布可以用 Logistic 曲线加以拟合,方程表达式如下:

$$F = K / (1 + AE^{-BX}) \dots \dots \dots (2) \quad F = K / (1 + E^{AX^2 + BX + C}) \dots \dots \dots (3)$$

式中 K 为 F 最大值, A、B、C 均为待定系数; X(m) 为距林带的距离; F(kg/m<sup>2</sup>) 为农作物产量。

方程(2)为常见的生物生长 Logistic 模型,适用于小麦;方程(3)为改进形式,后者比前者具有较大的回旋性,适用于玉米。

表 2 小麦、玉米产量的拟合方程

Tab 2 The imitated equations of wheat and maize yield

作物种类 Crop species	方程式 Equation	K 值 K value	拟合方程 Imitated equation	拟合方程系数 Imitated equation coefficient
小麦 Wheat	F = K / (1 + AE <sup>-BX</sup> )	0.5330	FW(1)*	A = 1.0 B = 0.1794683 R = -0.9963794**
			FW(2)*	A = 1.0 B = 0.206961 R = -0.9801358**
玉米 Maize	F = K / (1 + E <sup>AX<sup>2</sup> + BX + C</sup> )	0.1252	FM(1)*	A = -0.02266 B = 0 C = 0.30704 R = -1.0**
			FM(2)*	同 FM(1) The same as FM(1)

\* 1 表示林带西侧, 2 表示林带东侧 1 and 2 express the west and east of shelterbelt respectively  
 \*\* 相关系数 R 极显著。 R (correlate coefficient) is extremely distinct.

(1) 拟合方程的建立 采用黄金分割法对方程各常数进行迭代优化求解,可得到拟合方

程(见表2)。

(2) 产量模拟 间作系统内的农作物产量可通过拟合方程积分后求得：

$$AV = \left[ \int_0^{L/2} F(1)dx + \int_0^{L/2} F(2)dx \right] / L \dots\dots\dots (4)$$

式中 L(m)为间作行距, AV(kg/m<sup>2</sup>)为间作地产量。

### 2. 农桐间作行距优化指标的确定和优化

行距优化的目的是使当地的农桐间作建立在最好的生态、经济、社会效益的基础上,因此,宜确定以下的评价指标体系。

(1) 林木覆盖率(U(J)) 参照林业部平原绿化县标准和封丘地区的实际情况,为了确保水土保持和防风固沙等生态效能,要求样地林木覆盖率达到10%以上。

(2) 经济增长率(GWC(J)) 间作地与对照相比较的经济增长率,要求 GWC(J)达到最大。

(3) 小麦产量增长率(C(J)) 间作地与对照相比较的小麦产量增长率,要求 C(J) ≥ 0。

(4) 木材生产量(WOOD(J)) 间作地单位时间单位面积木材生产量。发展中国家人均用材年消耗量为 0.128 m<sup>3</sup>[3],据调查封丘地区农村中用材的 90%必须由农桐间作提供,则可计算出在人均耕地 1.5 亩情况下,农桐间作应提供的最低木材量为 1.152 m<sup>3</sup>/ha · annual,要求: WOOD(J) ≥ 1.152 m<sup>3</sup>/ha · annual

根据以上建立的评价指标,可建立以下约束方程组:

$$U(J) = S / (D \times J) \times 100\% \geq 10\% \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Max}(GWC(J)) = \text{Max}[(WOOD(J) \times Pd + C'(J) \times Pw + L'(J) \times Pc] / (Co \times Pw + Lo \times Pc) \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

$$C(J) \geq 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$WOOD(J) = R \times 10\,000 / 5J \geq 1.152 \dots\dots\dots (8)$$

(5)式中: J 为行距, J 取 10, 15, 20.....70(m); D(m)为样地长度, D=45 m; S(m<sup>2</sup>)为样地内树冠投影面积, S=254.16 m<sup>2</sup>。

(6)式中: C'(J), L'(J)为间作地与非间作地相比的小麦和玉米增产量; Co, Lo 为对照地小麦和玉米产量; Pd, Pw, Pc 为木材、小麦、玉米之价格。

(8)式中: R 为单株年材积增量。R=0.0472 m<sup>3</sup>/annual

计算得到最优行距为 J=55 m,采用该行距结构,预计可比原来 40 m 行距结构的经济增长率提高 3.93%,小麦增产 5.24%,粮食总产提高 6.97%。

## 结 论

研究表明:晴天(5月5日8~16时)间作地的气温比非间作地低1℃,地温低5.3℃。相对湿度高9%,土壤肥力较非间作地高,间作具有良好的增产效应,同时间作系统内也存在明显的胁地作用,太阳总辐射是当地林木胁地的主因子,采用适当的措施,调节林内光照条件,是减轻林木胁地作用,协调林农关系的重要途径。

运用 Logistic 曲线可以精确地拟合林内农作物产量。产量模拟与评价指标相结合,建立约束方程组,计算得到株距为 5 m 时封丘地区农桐间作的最优行距为 55 m。

## 参 考 文 献

- 1 邓聚龙著. 1987: 灰色系统基本方法, 华中理工大学出版社, 武汉. 10~20.
- 2 东北林学院主编. 1981: 森林生态学, 中国林业出版社, 北京. 40~53.
- 3 关百钧编. 1990: 世界林业, 中国林业出版社, 北京. 24~27.
- 4 南京土壤研究所编. 1978: 土壤理化分析, 科学出版社, 北京. 62~132.
- 5 曹新孙, 朱廷曜, 朱劲伟等编. 1983: 农田防护林学, 中国林业出版社, 北京. 230~285.
- 6 傅积平主编. 1986: 潘店万亩示范区综合治理研究(1983~1985). 科学出版社, 北京. 5~20.

## “拯救百山祖冷杉研讨会”在浙江庆元召开

1992年3月10日, 邮电部发行了一枚百山祖冷杉特种纪念邮票, 并在百山祖冷杉的原产地浙江庆元举行百山祖冷杉特种纪念邮票首发式, 与此同时, 庆元县人民政府、庆元县林业局、庆元县百山祖自然保护区等单位在林业部、浙江省林业厅和丽水市林业局的指导下, 在庆元县召开了“拯救百山祖冷杉研讨会”。来自北京、上海、云南、江苏和浙江等地的30余名代表以及百山祖冷杉的发现者吴鸣翔, 特种邮票设计者曾孝谦同志参加了会议。学部委员吴征镒教授、中国林科院吴中伦教授作了书面发言。代表们就如何拯救百山祖冷杉提出了具体措施。认为保护百山祖冷

杉首先必须保护其生境, 而不仅仅是保护少数个体, 要形成适当面积的禁伐区, 使其有天然下种并形成幼株的可能条件。当前应开展繁殖生物学研究和繁殖技术研究, 以解决繁殖能力微弱的问题。

百山祖冷杉(*Abies beshanzuensis* M. H. Wu)是我国特有的珍稀濒危保护植物。目前, 自然生长的只剩下4株。1987年2月, 被国际物种保护委员会(SSC)列为世界最濒危的12种保护植物之一。保护百山祖冷杉在理论研究和生产实践上都有重要价值。

(朱瑞良、毛小荣)