

林农间作的光照分布特点与农业意义

刘乃壮

(南京气象学院 南京 210044)

摘要 本文根据田间实测资料,在着重分析林农间作时一天内单棵树木遮荫面积与遮荫强度的时间与空间的变化规律基础上,明确了泡桐间作下农田相对日照总量的分布状况。论述了林农间作三种树行结构类型的遮荫规律及其农业实用价值。指出由于泡桐具有对农作物遮荫胁迫作用较小的优点,桐农间作蕴藏有较大的生产潜力。

关键词 林农间作 光照 结构型

林农间作是我国一种古老的耕作形式,随着科学技术的进步,近年来它被赋予了强大的生命力,成为一些地区提高自然资源利用率和稳产丰收的重要措施。林农间作对农业生产积极影响的根源在于,通过对间作树种的精心选择和树木在农田中的合理配置,能创造有利于作物生长的、获得改善的农田生态环境。林农间作是由多年生木本植物与一年生草本植物组成的复合群体,庞大的树冠有较强的遮荫能力,两类植物的株高比(约5—15)远大于常见两农作物间作的株高比(约1—5),从而产生与纯农作物间作完全不同的群体立体用光新格局,有利于单位土地面积年生物学产量的增高。然而,由于树遮荫对许多作物的生长有抑制作用,怎样认识和减轻树木的遮荫胁迫作用是需要重视的问题。本文着重在分析实测资料的基础上,给出晴天条件下林农间作时树木对农田光照的影响,揭示了树木遮荫的时间、空间分布和照度变化规律,希望能有助于改善栽培技术,促进林农间作生产潜力的更大发挥。

1 单棵树木遮荫影象的时间、空间分布

1.1 一天内树影的移动轨迹

一棵孤立树木遮荫影象的形状、面积与位置,均随着一天内太阳的视运动而呈有规律的变化。树影形状的变化依太阳高度角而异。树冠阴影的变化总呈椭圆形,主要是树影长半轴 a 的伸缩;而影象的短半轴 b 变化不大,可以略去不计。据观测,若以树冠影象轮廓清晰可辨为准,则一天内冠影长度的变化大致介于 $(2a \times 4) \rightarrow 2b \rightarrow (2a \times 4)$ 之间。临近日出、日落时树影模糊不清,影长没有实质上的意义。若将一天内树影的移动区域描绘为轨迹时,形状如图1所示,它是一条有限长度的浅弧带,带的内弧与外弧的弧度不相等,并且随着由季节与纬度决定的太阳视运动而变化。在作物生长季内,纬度增加则弧度加大。内弧度且与树的枝下高有关,外弧度且与树高有关。树冠影象日轨迹的不等宽弧带东西对称,早晨与傍晚时段宽度大,中午时段宽度小。

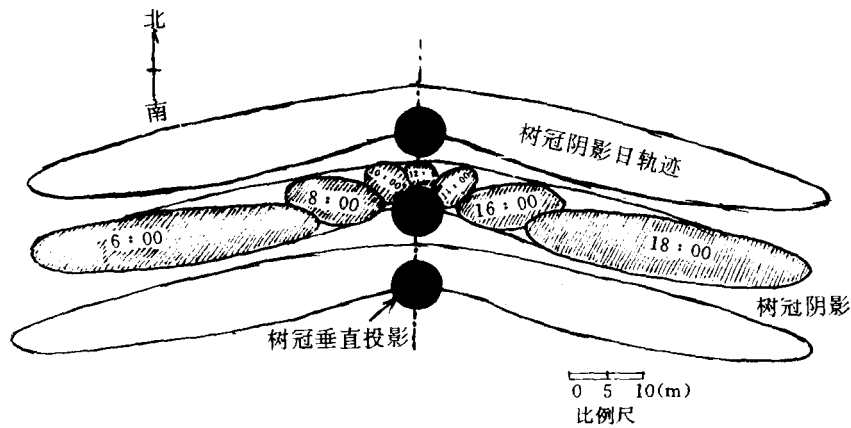


图1 林农间作时树冠阴影移动的日变化轨迹*

Fig. 1 The daily shady outline of a single tree, tree spacing 10m, tree height 11m, canopy diameter 6m, height below canopy 4m (August 15, 1985, Dezhou City).

* 树距 10m, 树高 11m, 树冠横径 6m, 枝下高 4m (1985 年 8 月 15 日, 山东德州).

1.2 树影的光照强度分布

树影的光照强度决定于树木的遮荫能力与入射光强, 以透光率 γ 表示遮荫强度 (树影透光率), 定义为地面某测点受树木荫蔽的光强与未受荫蔽的空旷地上光强 S_0 之比率, γ

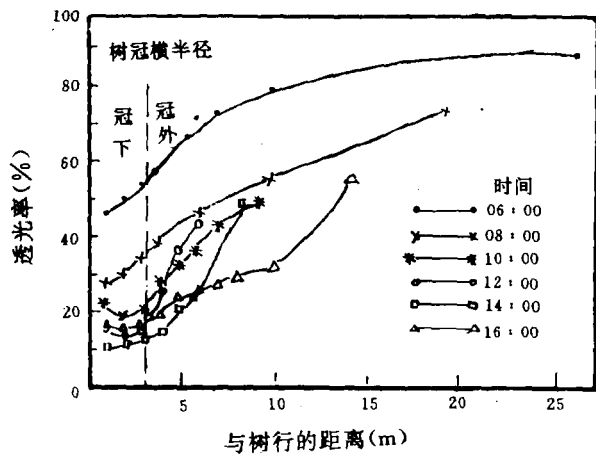


图2 泡桐树冠阴影长度与透光率的日变化*

Fig. 2 The daily changes of the canopy shadow length and light penetration rate

* 各曲线的水平投影为阴影长度 (1985 年 8 月 16 日, 山东德州)

$$= \frac{S}{S_0} \times 100(\%)$$
。影响树影光强主要有两个因子: 一是太阳高度角愈大, 入射光穿透树冠的路径愈长, 受枝叶消光而透光率愈小, 荫蔽愈强。二是由树冠背光面至地面的距离愈大, 则光强受大气散射辐射的影响愈大, 投射点的光强趋于增加。因此, 树影各点的透光率是不相等的。从表 1 与图 2 中可以看出, 影内远树点的透光率总是大于近树点, 同时, 树影透光的日变化又表现为中午影象小, 透光率小, 而象内的 γ 分布梯度大, 早晨与傍晚影象大, 透光率大, 而象内 γ 分布梯度小。再有,

由于中午的太阳辐射远比早、晚强, 故树影的光照度日变化也呈类似的正态分布特征, 仍以中午最强, 且中午前后又是一天内作物光合作用最强和有效产物积累最多的时段, 其树木的遮荫助地作用仍比早、晚大。

表1 不同时刻泡桐树影的光分布特征*

Tab.1 Shadow distribution at different times and different distances from tree trunk.
(August 15,1985)

地方时 local time	影长 (m)		冠影透光率 (%)			光照度 (KLx)	
	shadow length		light penetration rate			light intensity	
	树干 trunk	树冠 canopy	近树点 site near the tree	中点 middle site	远树点 site far away from the tree	影内平均值 average in shady area	影外 outside shady area
6:00	约 8.0	约 39.0	75	88	91	6	8
8:00	5.0	13.0	47	57	73	12	23
9:00	3.0	10.0	23	50	73	13	35
10:00	1.8	7.2	17	36	50	15	46
11:00	0.8	6.0	15	27	42	16	57
12:00	0.5	5.5	15	17	44	17	60

* 1985年8月15日,山东德州。

1.3 一天内树周围地面的日照总量分布

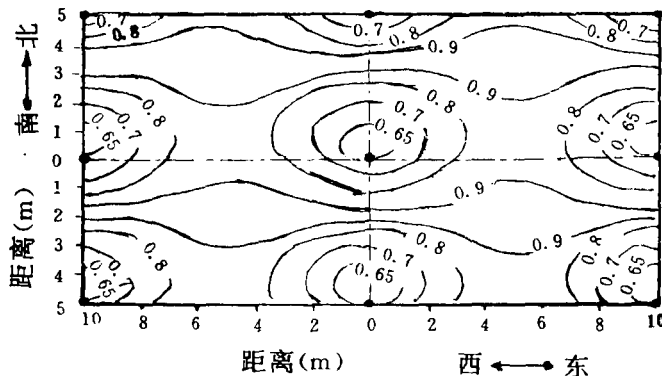


图3 林农间作田内相对日照总量(KST)的水平分布*

Fig.3 Distribution of KST isopleth in the tree intercropping field.

* black points show the positions of each tree, four years old paulownia tree spacing 5m×10m, (Dezhou City)

* 黑点为树位置,4年生泡桐,树距5m×10m(安徽砀山)。

权衡树木的遮荫助地效应最好的方法是计算逐日作物所受荫蔽时间与荫蔽强度的总和。设以田间任意一点一天内逐时光强的总和做为该点当天的日照总量 R_i ,它与相应时段无遮蔽空旷地的日照总量 R_0 之比为相对日照总量(KST),图3显示了对4年生泡桐间作田KST水平分布的计算机模拟。树木四周不同方向与不同距离的KST大不相同:树东侧与西侧KST变化趋势基本相同,北侧KST最小,南侧KST明显大于北侧,尤其在树冠垂

直投影的范围内,因此,林农间作时树北侧的作物生长最差。树周围作物的减产幅度不同,从而形成以每棵树为中心,由里向外的减产区、平产区与丰产区的不等宽环(或带)状分布。在距树较远处,作物的产量表现除与光照有关外,还与上午或下午植株的生理状态和空气的温度、湿度等综合环境条件的差异有关,故树西的作物往往比树东生长略好。

2 林农间作的树行结构对农田光照的影响

因树木株距、行距的不同,林农间作的树行结构可以划分为三种类型:

2.1 疏散型

其特征为农田内的树木以大株距、宽行距相配置,成年树的树冠横径明显小于株距,树行上能保持有较大间隙的树冠间的透光,不会发生同一树行上相邻树木阴影移动日轨迹的重叠。一个田块内树木群体的遮荫区划取决于各棵树遮荫范围的累加,树木群体遮荫区与全天无遮荫区以零散的片状交错分布,如图 1 所示,荫蔽程度轻。这种树行结构对农作物的遮荫胁迫作用小。

2.2 绿篱型

其特征是农田内树木以小株距、宽行距相配置,行内树冠相接,构成一堵绿色篱墙。在树行冠层郁闭的状态下,树木影象移动的日轨迹已与单个树冠的形状无关,而决定于构成绿篱的林带高度与疏透度。据我们已往的研究可知,对于一条绿篱(林带)而言,影响其树影透光率 γ 分布的主要因子为林带的阴影宽度 L 和测点与树行的距离 X 。以 H 表示树木平均高度, $h\theta$ 为太阳高度角, A 为太阳方位角(以正南为零,顺时针读数为正,逆时针读数为负), B 为树行方位角,则

$$L = -H \cdot ctgh\theta \cdot \cos(A - B)$$

条件: $(A - B)$ 在第 I 或第 IV 象限

于是,经进一步拟合,得树行遮荫区的透光率方程为:

$$\gamma = a_0 + a_1 \left(\frac{X}{H}\right) - a_2 \left(\frac{X}{H}\right)^2 - a_3 \left(\frac{X}{H}\right)^3 - a_4 \left(\frac{L}{H}\right) + a_5 \left(\frac{L}{H}\right)^3 - a_6 \left(\frac{L}{H}\right)^4 + a_7 \left(\frac{L}{H}\right)^5$$

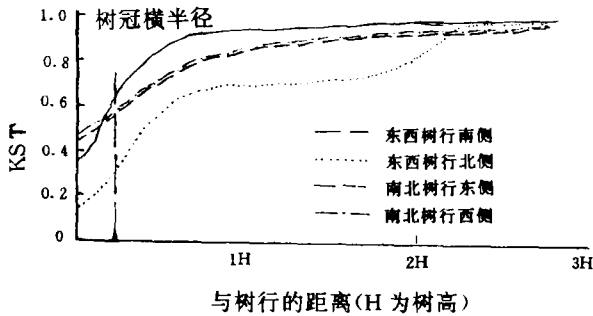


图 4 绿篱型树行不同行向对相对日照总量(KST)分布的影响(1985年5月8日测,山东德州)

Fig. 4 KST distribution affected by different directions of tree row in hedgerow structure patterns

$a_i (i=0, 1, 2 \dots)$ 诸参数因树种和天气类型而异。绿篱型树行附近的 KST 分布呈东西两向的相称,如图 4 所示。该结构的蔽荫包含着相邻树冠阴影的部分重叠,因此透光率比疏散型低,遮荫胁迫作用也比疏散型大,从而,不适于选用高大的树木间作,仅以矮株、窄冠树种为宜,如枣粮间作或白腊条与作物间作。

2.3 紧密型

其特征为农田内树木以小株距、窄行距相配置。在这种条件下,农田的光照不仅取决于一个树行内相邻树木影象的重叠状况,而且当太阳斜射时会产生邻近树行的阴影重叠。该结构型阳光直射地面的概率随着阳光穿透树冠数量(n)的增多而减少;到达地面的透光率受制于直射光穿透 n 层树冠路径的总和。

为了求得这类间作的直射光照达地面的分量(F_p),可以引用 Mann 等人^[4]给出的方程求得:

$$F_p = \mu_n \cdot e \times p(-\delta \cdot \lambda_{n,1}) + (1 - \mu_n) e \times p(-\delta \cdot \lambda_{n,2})$$

该式是根据估算地面上任意点可能受到群体株冠的遮荫概率而设计、推导的。其中, n 为到达树行间地面的光照所穿透的树行数,从日出后 1 小时到日落前 1 小时的遮荫有效时

间内,通常 $1 \leq n \leq 3$ 。 μ_n 表示树行垂直地面投影占农田总面积的比值, $(1 - \mu_n)$ 表示树行间农作物行面积占农田总面积的比值。

无疑,在紧密型林农间作的情况下,地面的受光分量甚低,荫蔽更重。这种遮蔽肋地作用很强的种植方式不利于多数农作物生长。但有意识地选择树木做为某些要求光照较弱和空气湿度较高的下层植被的“遮荫树”时,紧密型结构能显示出有利于提高下层作物产量和品质的很大优越性。例如,可可、茶树、绞股兰、人参和蘑菇、木耳等经济植物在林农间作下均效果较好,关键在于遮荫的适度。

3 林农间作与树木、农作物种类的选配

运用林农间作光照分布特点所获得的经济效益,除了与树木栽植密度有关外,还很大程度地决定于树与作物的种类。成年树的枝下高愈大,冠下的田间利用率愈高,间作期愈长。果树通常多向矮株低冠树形发展,以致果树与农作物间作的作物带窄,间作期短。体形小与透光率大的树冠遮荫肋地作用弱,在这个方面,具有稀疏树冠特征的泡桐,突出地表现了在林农间作中的适用性。据在同等条件下对三种树的树冠影象光照状况测定,如表2所见,柳树与毛白杨树影的透光率分别比泡桐低21%和36%。这是泡桐间作大面积推广的生物学基础。从另一方面看,作物对遮荫的反应亦直接与产量有关。据我们在田间对正处于旺盛生长阶段的大田作物,从株高、长势等方面进行考察比较时,初步发现,对遮荫肋地反应敏感的作物有向日葵、玉米、谷子、棉花、大豆和小麦等,它们随着向树木的靠近,植株生长状况急剧变劣。敏感性较弱的有花生、芝麻、甘薯和马铃薯,它们在树木附近的距离与生长好坏的差异不大明显。无论何种作物,与泡桐间作时生长受遮荫的抑制作用均比防护林带遮荫的危害轻。如表3所列,当以树木位置为零点时,对不同长势玉米带的带宽进行比较,则间作泡桐下生长受抑制的玉米株数少,程度轻;而即使是一条疏透度较好的防护林带遮荫,玉米的生长状况也要差得多。

表2 阴影光照状况与树种的关系*

Tab.2 Comparison of shade condition caused by different tree species.
(Observation time: 9:00—9:30, $S_0 = 30.0 \text{KLx}$, Dezhou City)

树种 tree species	树高(m) tree height	光斑 Light spot		荫蔽斑 shady spot		全影内的平均值 average in shady area	
		面积比 ratio of area	光照度 light intensity	面积比 ratio of area	光照度 light intensity	光照度 light intensity	透光率(%) penetration rate
泡桐 paulownia	11	20%	27000	80%	13000	15800	53
柳树 willow	9	10%	17000	90%	12000	12500	42
毛白杨 white poplar	15	5%	15400	95%	9800	10080	34

* 观测时间:8月17日9:00—9:30,照度单位:Lx,影外照度30000Lx(山东德州)。

表 3 不同树群体遮荫对玉米生长的影响(H) *

Tab. 3 Shady stress by different tree community on growing condition of maize.

受抑制强度 intensity of inhibition	泡桐间作下 intercropping with paulownia	毛白杨林带下 intercropping with white poplar
强	0	0—0.20
中	0—0.18	0.21—0.40
弱	0.19—0.36	0.41—0.80

* 均指树的东西侧。表内数值为不同长势玉米带宽度相当于树高H的倍数。

(Data in the table represent the width growing area of maize at E or W direction which are equaled to the multiples of tree height H)

由上可知,林农间作时遮荫对农田光照的分布具有决定性影响,通常产生不利于作物生长的遮荫胁迫效应。林农间作的可行性除与树木的栽植方式有关外,树种和作物种类的选择得当与否具有重要意义。在黄淮流域地区,泡桐与农作物(尤其是小麦)间作以其特有的结构效应减轻了树木胁迫作用,在一定条件下有利粮林双丰收;在长江中下游地区根据池杉树冠窄、耐水湿的特性引入稻田间作和在华南地区热带气候下的橡胶树园内间种某些耐荫的热带经济作物,均有良好的效果。显然,只要进一步改进栽培技术以适应林农间作的新光照格局,减轻遮荫的不利影响,就可以进一步挖掘林农间作复合群体的生产潜力。

参 考 文 献

- 1 刘乃壮等:农田防护林遮光模式的初步研究,《中国林业气象文集》,北京,气象出版社,1989年第132—141页
- 2 王汉杰:池杉、稻麦间作田光照条件初步分析,《南京林学院学报》,(1)1984
- 3 翁笃鸣:农田日照条件的理论分析,《气象科学》,南京,(1)(2)1982
- 4 Mann, J. E. et al. Light penetration in a row-crop with random plant spacing. *Agro. Jour.* (72)1980:1—131

Light Distribution in Crop—tree Intercropping Area and its Agricultural Value

LIU Nai-zhuang

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract In this paper based on the analysis of the daily temporal and spatial variations of the shady area and the shading intensity of a single tree in intercropping area, the features of the total relative sunlight distribution in crop—Paulownia intercropping field were studied. The shading effects and practical agricultural value of three structural patterns of tree—row were also discussed. It was found that Paulownia as intercropping tree has greater potential for agricultural production because of its small shady stress on crops.

Key words Tree—crop intercropping; Illumination; Structural pattern