

文章编号: 1001-1498(2000) 02-0197-06

# 我国农林系统小气候研究概述

范兴海, 黄寿波

(浙江大学生命科学院, 浙江杭州 310029)

**摘要:** 综述了我国自 1990 年以来农林系统小气候研究概况及进展。农林系统的小气候特征是: (1) 热量平衡的各分量白天为正值, 夜间为负值。热量平衡的各分量中, 潜热通量占净辐射的比值最大, 湍流通量和土壤热通量均较小。(2) 在农林系统中, 随着植物覆盖度的增加, 其净辐射、光照强度、温度日较差和风速随之减小, 但空气湿度增加。(3) 在农林系统中, 随着土壤深度的增加, 土温变化的振幅按几何级数减小, 位相按等差级数落后。土温梯度变化特点与土温变化相似。了解农林系统小气候特征有助于合理选择植物覆盖度、树木高度和树冠结构, 保持组合的动态平衡, 提高综合经济生态效益。

**关键词:** 农林系统; 小气候; 种植模式

**中图分类号:** S716.3      **文献标识码:** A

农林系统(Agroforestry Systems) 又称混农林业或农林间作, 是农林协调发展, 互相促进, 充分利用地力及光、热、水资源, 在同一土地上取得最大经济效益和良好生态效益的一种生产技术或土地经营方式。我国是推行农林系统最早的国家之一<sup>[1-3]</sup>, 早在汉朝(公元前 206 ~ 公元 220 年) 不少农村已推行农林间作或混作<sup>[3]</sup>。目前全国有农林复合种植面积约 666.7 万  $\text{hm}^2$ , 是世界上农林间作面积最大的国家。主要种植模式有: 林-粮(粮食作物)、林-经(经济作物)、林-油(油料作物)、林-糖(糖料作物)、林-菜(蔬菜)、林-果(果树, 有时果树作为经济林与其它作物间作)、林-菌(食用菌)、林-牧(牧草或饲料作物及家禽、家畜养殖)、林-茶(茶树)、林-桑(桑树)、林-渔(渔业)、林-药(药用作物)等<sup>[4]</sup>。

实践证明, 发展农林系统具有显著的经济、生态和社会效益<sup>[5-7]</sup>。大力发展农林人工复合生态系统, 对缓和当前人类面临的人口压力、耕地缩减、粮食短缺、能源匮乏和生态环境恶化等问题, 具有十分重要的意义。本文介绍了我国近 10 a 来农林系统小气候研究概况及进展。

## 1 农林系统小气候研究的特点

我国对农林系统小气候进行较为广泛、系统的研究, 是从 20 世纪 80 年代开始的。加拿大国际发展研究中心(IDRC) 与中国林业科学研究院(CAF) 联合编辑出版的《Agroforestry Systems in China》(1991)<sup>[8-13]</sup>, 中国林学会林业气象专业委员会等编的《中国林业气象文集》(1989)<sup>[14-16]</sup>, 以及有关学术刊物上发表了很多关于农林系统小气候的论文<sup>[17-21]</sup>。近 10 a 来, 有关这方面的论文逐渐增多, 据不完全统计, 在省级以上学术刊物上发表的论文超过了 100

收稿日期: 1999-07-26

基金项目: 加拿大国际发展研究中心(IDRC) 资助项目“中国农用林业系统综合研究/亚热带丘陵坡地农用林业模式研究”的部分内容

作者简介: 范兴海(1964-), 男, 浙江绍兴人, 讲师, 硕士。

篇。从这些论文可以看出,我国农林系统小气候的研究有下列特点:

### 1.1 研究目的比较明确

农林系统小气候研究结合农林生产实际,努力为国民经济建设服务。例如贾玉彬等<sup>[22]</sup>研究杨-粮间作模式中光照的时空分布特征,提出了杨树(*Populus sp.*)的合理间距。周允华等<sup>[23]</sup>研究树冠遮荫对作物籽粒产量的影响,提出合理控制树冠来提高作物产量。刘建栋等<sup>[24]</sup>提出适当修剪杨树枝条改善光质,可以提高油菜(*Brassica campestris L.*)产量。傅金和等<sup>[25]</sup>提出控制合理的林木树冠遮荫度以提高夏茶(*Camellia sp.*)品质。

### 1.2 研究内容相当广泛

研究的栽培模式包括林-粮<sup>[26-31]</sup>、果-粮<sup>[32-35]</sup>、林-茶<sup>[36-47]</sup>、林-油<sup>[24,48]</sup>等。研究的小气候要素包括光照<sup>[32,33]</sup>、辐射<sup>[49]</sup>、光谱<sup>[48]</sup>、辐射平衡<sup>[16]</sup>、热量平衡<sup>[15,39]</sup>、气温<sup>[25,36]</sup>、空气湿度<sup>[41,42]</sup>、土壤温度<sup>[34,41]</sup>、风速<sup>[36]</sup>、人体舒适度与劳动生产率<sup>[37,38]</sup>等。

### 1.3 观测手段有了改进

除应用常规小气候仪器外,还广泛应用遥感、遥测技术。例如用点状或线状量子传感器<sup>[32]</sup>测定光合有效辐射。用红外测温仪<sup>[34]</sup>测定地表平均温度。用 Li-1800 便携式辐射分光光谱仪<sup>[49]</sup>进行光谱成分分析,用 Licor-188B 辐射量子强度仪<sup>[24]</sup>测定各辐射分量强度等。

### 1.4 研究深度有一定提高

除揭示各种农林系统小气候时空分布外,还对各小气候要素进行了理论分析和数学模拟<sup>[32-34,49,50]</sup>。例如,对农林系统内林高与光照的关系,太阳辐射的动态分布,太阳光谱的变化,地温的变化,及其与作物产量的关系,均建立了数学模型。

## 2 农林系统小气候研究内容

### 2.1 辐射与光照

要使农业和林业增产增效,合理控制辐射与光照是关键。在农林系统小气候研究中,有关辐射与光照的论文约占二分之一。这些论文大多从树冠辐射传输方程入手,引进大量树冠几何学特征参数和光学参数,得出光照、辐射、透光率、光合有效辐射的数学计算式<sup>[32,33,49,50]</sup>,并测定了人工林内的太阳辐射光谱<sup>[49]</sup>。如周允华<sup>[32]</sup>在河北省栾城县用量子传感器对桃(*Amygdalus persica L.*)、梨(*Pyrus sp.*)和苹果(*Malus sp.*)树冠层的透光率作了测量,得出晴天树冠透光率 $\tau$ 的日变化呈U字形,日平均透光率 $\tau_0$ 与树种和树龄的关系不大;正常年份,展叶后符合关系式 $\tau_0 = 7.85N^{-0.88}$ , $N$ 为从4月1日起计算的天数。另刘建栋等<sup>[49]</sup>在安徽省怀宁县利用 Li-1800 辐射分光光谱仪测定杨树-油菜复合生态系统中晴天的光谱,揭示一天之中油菜上方太阳总辐射光谱中紫外线百分比变动范围在 1.5% ~ 6.2%,早晚较大,其余时间较小;兰紫光变动在 12.5% ~ 24.0%,变化基本趋势与紫外线相同;绿光的变化范围是 18.0% ~ 21.6%,早晨、中午、傍晚值较小,上午、下午值较大;红橙光变动在 11.4% ~ 18.3%,下午值较小,傍晚值较大;红外线变动在 34.7% ~ 54.4%,早晚值较小,中午最大;并指出光合有效辐射早晨、上午、中午、下午和傍晚分别为总辐射的 56.1%、51.0%、41.7%、45.0%和 55.6%,也存在明显的日变化。

### 2.2 辐射平衡与热量平衡

这方面的论文不多。高素华等<sup>[15,16]</sup>在 80 年代对林-粮间作园进行过辐射平衡和热量平衡

研究。范兴海等<sup>[39]</sup> 1992 夏季在安徽省黄山市对杉(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)-茶间作园进行了微气象梯度观测,得到在晴天条件下热量平衡各分量值一般白天为正,夜间为负,日值的日较差杉-茶间作园比纯茶园小,且杉-茶间作园最大、最小值出现的时间较纯茶园滞后;热量平衡各分量中,潜热通量占净辐射的比值最大(约 1/3 ~ 1/2 或更多),湍流热通量值除短时间偶而较大外一般较小,土壤热通量约占净辐射的 1/6。

### 2.3 温度和湿度

有关这方面的论文较多。在小气候论文<sup>[28,29,36]</sup>中探讨多种栽培模式,如林-粮、林-果、林-茶、果-粮、林-油、林-草等模式中气温、土壤温度、空气湿度的时空分布特征。如周允华等<sup>[34]</sup>在河北省栾城县用红外测温仪对果树树冠遮荫引起的地表温度变化作了测量,结果表明地表温度的降低值  $\Delta T$  ( ) 主要取决于树冠透光率  $\tau$  和太阳的光合有效量子通量密度  $U_0$  ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),它们之间满足关系式  $\Delta T = 0.0113U_0(1 - \tau)$ 。又黄寿波等<sup>[41]</sup>研究了桃茶人工复合系统和普通茶园土温的振幅和位相随深度变化的特征和土温铅直变化的类型。

### 2.4 人体舒适度和劳动生产率

农林间作后,由于引起农林系统内小气候变化,必然引起林下从事农事操作的劳动者的感觉不同,从而影响劳动生产率。傅懋毅等<sup>[37]</sup>曾在夏季对桃-茶间作园和普通茶园进行了小气候测定和采茶试验,结果表明在桃-茶间作园内采茶工人的人体舒适度和劳动生产率均有一定程度的提高。此外,也对农林系统内的风速进行过测定<sup>[36-38]</sup>,结果认为系统内的风速小于单作和裸地,且风速随系统内植被覆盖度增大而减小。

## 3 我国农林小气候研究动向和建议

近 10 a 来,与以往比较,我国农林系统小气候研究,有林业、农业、气象、地理和生态工作者等参加,出现多学科交叉研究,除研究农林系统小气候特征外,还研究小气候对林木、作物产量及品质的影响,小气候与人类活动、劳动效率的相互关系等,研究领域有所拓宽。同时研究农林系统小气候分布规律及小气候与作物产量之间的关系时广泛地采用数值模拟<sup>[32-34,49,50]</sup>,进行量化分析,提高了研究质量。另外,重视以农业和林业兼顾的观点来研究气象问题,协调农林业的关系,以求合理利用小气候资源,提高综合效率。根据国际上小气候学的发展趋势和相关学科的研究进展,对今后我国农林系统小气候研究提出以下建议:

(1) 改进观测手段。由于小气候的可塑性很强,为获得农林系统内的小气候规律,往往要进行大量的长时间观测,消耗大量的人力、物力,且还有可能造成人为误差。因此广泛采用先进的探测仪器,利用遥测、遥感技术尤为迫切。同时,建立自动的小气候观测记录站也是行之有效的。在条件允许的情况下,应建立人工小气候室进行模拟实验及进行计算机模拟。

(2) 开展多学科合作研究。进行农林系统内的小气候研究,要同研究农林系统内农作物及树木生长的生理生化特征结合起来,这是今后要重点加强的。只有这样才能更直接地阐明小气候特征与作物生长的关系,更好地调控和利用小气候资源。

(3) 以提高综合经济生态效益为最终目的。在农林系统研究中,研究和改造小气候,不仅要使农林业优质高产,更重要的是要综合考虑人力、物力的投入产出比,以达到最大的经济生态效益。

## 参考文献:

- [ 1 ] 李文华, 赖世登. 中国农林复合经营[ M ]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [ 2 ] 贺明荣, 冷寿慈, 李增嘉, 等. 粮果间作种植模式的资源利用与管理[ J ]. 生态学杂志, 1994, 13( 6 ): 7 ~ 10.
- [ 3 ] Zhu Zhaohua, Fu Maoyi, Sastry C B. Agroforestry in China——An Overview [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 2 ~ 7.
- [ 4 ] 裘福庚, 方嘉兴. 农林复合经营系统及其实践[ J ]. 林业科学研究, 1996, 9( 3 ): 318 ~ 322.
- [ 5 ] 杨宗利, 刘贵波. 果粮间作效益及光、肥、水效应研究[ J ]. 华北农学报, 1991, ( 6 ): 83 ~ 88.
- [ 6 ] Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991.
- [ 7 ] 施拱生, 黎章矩, 王伟. 茶树与乌桕混交效益的研究[ A ]. 见: 王宏志. 中国南方混交林研究[ C ]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 279 ~ 285.
- [ 8 ] Liu Naizhang. Light distribution in tree intercropping area and its agricultural value [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 14 ~ 23.
- [ 9 ] Song Zhaomin, Wei Ling. The correlation between windbreak influenced climate and crop yield [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 44 ~ 49.
- [ 10 ] Huang Shoubo, Pan Genshen, Gao Renjun. Physiological and biochemical characteristics of tea plants interplanted with trees [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 162 ~ 166.
- [ 11 ] Huang Shoubo, Huang Furui. Study on the effects of shelter forests in citrus orchards [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 167 ~ 173.
- [ 12 ] Gao Suhua. Assessment of the ecological conditions of a tropical agroforestry system [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 197 ~ 203.
- [ 13 ] Jiang Ailiang, Hao Yonglu, Wang Peizheng. Study on the intercropping in rubber plantations in China [ A ]. In: Zhu Zhaohua, Cai Mantang, Wang Shiji, et al. Agroforestry Systems in China [ C ]. Singapore: CAFPRC and IDRCC, 1991. 207 ~ 209.
- [ 14 ] 徐文波, 王广钦. 农桐间作的小气候效应与空间分布[ A ]. 见: 宋兆民. 中国林业气象文集[ C ]. 北京: 气象出版社, 1989. 90 ~ 97.
- [ 15 ] 高素华, 庄应伟, 宋兆民, 等. 复合农田防护林热量平衡的研究[ A ]. 见: 宋兆民. 中国林业气象文集[ C ]. 北京: 气象出版社, 1989. 98 ~ 102.
- [ 16 ] 高素华, 庄应伟, 宋兆民, 等. 复合农田防护林辐射平衡的研究[ A ]. 见: 宋兆民. 中国林业气象文集[ C ]. 北京: 气象出版社, 1989. 121 ~ 124.
- [ 17 ] 李树人, 蒋建平, 李发, 等. 农桐间作人工栽培群落的光照研究[ J ]. 河南农学院学报, 1980, ( 1 ): 11 ~ 24.
- [ 18 ] 孟平, 宋兆民, 张劲松, 等. 农林复合系统水分效应研究[ J ]. 林业科学研究, 1996, 9( 5 ): 443 ~ 448.
- [ 19 ] 马友鑫. 胶茶人工群落胶带内增热效应的研究[ J ]. 生态学报, 1994, 14( 1 ): 9 ~ 15.
- [ 20 ] 曾士余, 朱劲伟, 冯宗炜, 等. 杉木人工林辐射状况的初步分析[ J ]. 生态学杂志, 1985, 4( 5 ): 19 ~ 23.
- [ 21 ] 朱劲伟, 曾士余, 朱廷耀. 论杉木人工林中直射光的透过[ J ]. 林业科学, 1986, 22( 2 ): 123 ~ 134.
- [ 22 ] 贾玉彬, 裴保华, 王德艺, 等. 杨粮间作的光照效应[ J ]. 中国农业气象, 1998, 19( 6 ): 1 ~ 7.
- [ 23 ] 周允华, 周智泉, 张晓杰. 农果复合系统光热资源有效利用 IV. 作物生产模式[ J ]. 中国农业气象, 1997, 18( 2 ): 10 ~ 13.
- [ 24 ] 刘建栋, 傅抱璞, 祝尔康. 林农复合生态系统中油菜光能利用状况的研究[ J ]. 中国农业气象, 1999, 20( 2 ): 39 ~ 41.
- [ 25 ] 傅金和, 傅懋毅, 黄寿波, 等. 桃茶人工复合生态系统小气候特征研究[ J ]. 浙江农业大学学报, 1995, 21( 3 ): 293 ~ 298.
- [ 26 ] 刘乃壮, 熊勤学. 农桐间作农田太阳辐射分布的计算模拟[ J ]. 泡桐与农用林业, 1990, ( 2 ): 18 ~ 29.
- [ 27 ] 王汉杰. 混农林生态系统内部的光能分布[ J ]. 生态学杂志, 1991, 10( 1 ): 27 ~ 32.
- [ 28 ] 曹效珍. 农桐间作下小气候变化的研究[ J ]. 泡桐与农用林业, 1990, ( 2 ): 25 ~ 29.
- [ 29 ] 熊勤学. 农桐间作区的小气候分布特点[ J ]. 泡桐与农用林业, 1990, ( 2 ): 30 ~ 35.

- [30] 卢琦, 阳含熙, 慈龙骏, 等. 农桐间作系统辐射传输对农作物产量和品质的影响[J]. 生态学报, 1997, 17(1): 36~44.
- [31] 张斌, 张桃林. 低丘红壤区农林间作系统的水分生态特征及生产力[J]. 生态学杂志, 1997, 16(4): 1~5.
- [32] 周允华, 张秋英, 张晓杰, 等. 农果复合系统光热资源的有效利用 . 树冠透光率的测量和估算[J]. 中国农业气象, 1996, 17(6): 1~4.
- [33] 周允华, 周智泉, 张晓杰. 农果复合系统光热资源有效利用 . 行栽果树条件下农田光照图象[J]. 中国农业气象, 1997, 18(1): 1~4.
- [34] 周允华, 居会良, 张晓杰, 等. 农果复合系统光热资源有效利用 . 树冠遮荫对地表温度的影响[J]. 中国农业气象, 1997, 18(2): 6~9.
- [35] 刘延杰. 寒地果农间作小气候特点初探[J]. 生态农业研究, 1997, 4(2): 69~72.
- [36] 黄寿波, 范兴海, 傅懋毅, 等. 不同林-茶栽培模式小气候特征研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(1): 93~100.
- [37] 傅懋毅, 傅金和, 黄寿波. 农林复合生态系统中人体舒适度及劳动效率研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(4): 447~454.
- [38] 黄寿波, 傅懋毅, 傅金和, 等. 农林人工复合生态系统与人体舒适度关系研究[J]. 湖北气象, 1996, (1): 41~44.
- [39] 范兴海, 黄寿波, 傅懋毅, 等. 杉-茶间作热量平衡的研究[J]. 林业科学研究, 1996, 9(2): 170~175.
- [40] 黄寿波, 范兴海, 傅懋毅, 等. 板栗茶间作园人工复合生态系统微气象效应及效益研究[A]. 见: 中国农业技术推广协会果树专业委员会. 全国板栗学术研讨会论文集[C]. 1997, 48~52.
- [41] 黄寿波, 周子康, 傅懋毅, 等. 桃茶人工复合系统土温变化特征分析[J]. 林业科学研究, 1998, 11(2): 147~151.
- [42] 黄晓澜, 丁瑞兴. 亚热带丘陵区茶林复合系统小气候特征的研究[J]. 生态学报, 1991, 11(1): 7~12.
- [43] 丁瑞兴, 黄晓澜, 周亚军. 茶园间作乌桕的气候生态效应[J]. 应用生态学报, 1992, 3(2): 131~133.
- [44] 马友鑫. 胶茶人工群落胶带内增热效应的研究[J]. 生态学报, 1994, 14(1): 9~15.
- [45] 周志翔. 林茶间作下的光照条件与茶树生理生态研究综述[J]. 生态学杂志, 1995, 14(3): 59~63.
- [46] 魏国雄. 果茶人工群落的生态效应及经济效益评价[J]. 生态学杂志, 1994, 13(1): 13~16.
- [47] 郭素英, 段建真. 茶果复合园的光特性研究[J]. 应用生态学报, 1996, 7(4): 359~363.
- [48] 沈兴儒. 泡桐-茶树人工混交林效益初探[J]. 茶业通报, 1986, (2): 19~21.
- [49] 刘建栋, 傅抱璞, 卢其尧, 等. 林农复合生态系统晴天光谱特征分析[J]. 中国农业气象, 1997, 18(3): 8~11.
- [50] 刘建栋, 傅抱璞, 卢其尧, 等. 人工林内太阳总辐射动态模拟的研究[J]. 中国农业气象, 1996, 17(5): 28~31.
- [51] 张福春. 枣粮间作中林带方向对间作地遮荫的影响[A]. 见: 中国农业气象研究会农业小气候专业委员会. 中国农业小气候研究进展[C]. 北京: 气象出版社, 1993. 156~162.

# The Investigation on Microclimatology of Agroforestry System in China

*FAN Xing-hai, H UANG Shou-bo*

(College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China)

**Abstract:** Agroforestry system or farm forestry is a production technique or method that combines agriculture and forestry to fully utilising the natural resources of sunlight, temperature and water. The investigation on the survey of the agroforestry systems microclimate in China since 1990s was summarized. The characteristics of agroforestry systems microclimate are: (1) Component values of heat balance are positive in day time but negative at night. Among all component values of heat balance, the latent heat flux occupies the highest proportion from net radiation, both turbulence heat flux and soil heat flux occupy lower. (2) With the increase of plant coverage in agroforestry ecosystem, the net radiation, the relative intensity of illumination, temperature differentiation between day and night, and wind speed decrease, but air humidity increases. (3) With the increase of soil depth in the agroforestry ecosystem, the amplitude of temperature decreases in accordance with geometric series and the phase of temperature trailed in accordance with isogap series. The temperature gradient variation of soil are similar as the variety character of soil temperature. Knowledge on the characteristics of microclimate in the agroforestry systems is help ful for rational selecting plant coverage, tree height and canopy structure of trees in agroforestry systems. The study is favourable for maintaining the dynamic balance and increasing the comprehensive benefits of the systems.

**Key words:** agroforestry systems; microclimate; cultivation model