

36-44

19617(6)

第17卷第1期  
1997年1月生态学报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 17, No. 1  
Jan., 1997

# 农桐间作系统辐射传输对农作物产量和品质的影响

卢琦<sup>1</sup> 阳含熙<sup>2</sup> 慈龙骏<sup>1</sup> 竺肇华<sup>1</sup> 吴运英<sup>3</sup> 景元书<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>中国林业科学院, 北京, 100091) (<sup>2</sup>中国人与生物圈国家委员会, 北京, 100864)

(<sup>3</sup>Silsoe College, Bedford 45 4DT, England) (<sup>4</sup>南京气象学院应用气象系, 南京, 210044)

A

**摘要** 农桐间作系统中泡桐对小麦产量的影响主要是千粒重, 对其它产量组分影响不大。小麦产量的变化趋势为: 距树行越近, 产量越低; 与对照相比, 5 m 处减产 2.1%, 2.0 m 处减产 3.7%, 树行处减产 15.6%; 在严重遮荫期, 当 PAR 减少率大于 17.0% 和 4.0% 时, 分别开始影响小麦产量和千粒重。泡桐对小麦产量的显著影响范围在距树行 5 m 以内, 对千粒重的显著影响范围则延伸到距树行 10 m 以内。农桐间作不同结构对夏作物(小麦)产量的影响表现为密度越大(5 m×10 m, 5 m×15 m), 距树行不同位置的产量变化幅度越小, 田间的相对产量较低; 密度愈小(5 m×20 m, 5 m×30 m, 5 m×40 m), 形成的增产带和减产带越明显; 5 m×20 m 的株行距增产带占带宽的 45%, 而 5 m×30 m, 5 m×40 m 的增产带占带宽的 60%~80%。秋作物产量随间作年数的增加而下降; 特别是间作 6 a 以后, 减产幅度达 10% 以上(玉米 11%~28%, 棉花 21%~33%)。农桐间作的小麦品质各项指标变化的总趋势是蛋白质和粗脂肪含量明显提高, 淀粉含量下降, 灰分含量略有提高。间作以后玉米品质的变化主要表现为千粒重, 粗脂肪和淀粉含量的提高, 灰分和粗纤维的降低; 总的趋势是产量大幅度降低, 品质微量性提高, 间作后棉花纤维品质中细度有所降低, 其它品质特性稍有增强, 总体品质大致与对照地持平。

**关键词:** 农林间作, 辐射传输, 光合有效辐射, 农作物, 产量, 品质。

## EFFECT OF RADIATION TRANSMISSION ON CROP YIELD AND QUALITY

Lu Qi<sup>1</sup> Yang Hanxi<sup>2</sup> Ci Longjun<sup>1</sup> Zhu Zhaohua<sup>1</sup> Wu Yunying<sup>3</sup> Jing Yuanshu<sup>4</sup>

(<sup>1</sup> Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, China, 100091) (<sup>2</sup> Chinese National MAB Committee, Beijing, China, 100864) (<sup>3</sup> RLU<sup>1</sup>, Silsoe College, Cranfield University, Bedford MK 45 4DT, England)

(<sup>4</sup> Department of Applied Meteorology, Nanjing Meteorological College, Nanjing, China, 210044)

• 本研究由英国海外发展局(ODA)《林业与农用林业战略研究》项目提供部分野外观测设备和资助。博士学位论文《农林间作系统辐射传输的动态仿真模型》的一部分。

收稿日期: 1995-11-27, 修改稿收到日期: 1996-02-26。

**Abstract** The arrangement form of trees in agrisilvicultural system is defined by varied tree spacing as intercropping, alley cropping and hedgerow. Shading each other among trees and between rows alters distinctly with the age, spacing and biological periodism of trees and sea son change all year round. *RTS* and *PAR* variances throughout the year can be roughly divid-ed into three periods of no-shading effect (*RTS* over 80%), light-shading effect (*RTS* be-tween 40% and 80%) and thick-shading effect (*RTS* below 40%), and three belts between rows during thick-shading period are defined as slight shading (*PAR* over 90%, 10~20 m space from tree row), intermediate shading (*PAR* among 60%~90%, 5m~10 m space from row) and dense shading (*PAR* below 60%, 0 m~5 m space under tree crown). In thick-shading effect period, wheat yield in the 0 m~5 m zone from row and 1000-grain weight in the 0 m~10 m zone from row will be affected remarkably if *PAR* reduction ratio is more than 17.0% and 4.0%, respectively; the yield of autumn crops is inversely proportional to inter-cropped tree age, especially after six-year intercropping, maize yield is decreased by 11%~28% and cot ton by 21%~33%.

General change trend of wheat quality in many indexes is that the content of protein and fat is increased notably, ash content increased slightly and amylase content decreased. Maize quality is improved insignificantly. Cotton qualities including fibre intensity, fibre length and mature coefficient are commensurate with the control.

**Key words:** Agrisilvicultural system, radiation transmission (*RTS*), Photosynthetically active radiation (*PAR*), crop yield and quality

农林间作是把农作物与林木按照一定的排列方式种植于同一土地单元,从而形成长期共生、互助的农林复合生态系统。按间作树种、农作物种类、排列方式及经营目的之异同可以划分出多种组合类型;其中农桐间作是目前推广面积最大、最受群众欢迎的类型之一。多年的研究和实践表明,农桐间作不仅产品更加多样化,而且有难以估量的间接效益;对其进行研究具有重要的现实意义。

桐麦间作,构成了桐麦双层受光结构。这种结构一方面提高了光能利用率,同时又因泡桐树冠遮荫,对小麦的光合作用产生了一定的影响。本文以农桐间作系统中的关键因子——光合有效辐射(*PAR*)为焦点,分析树冠遮荫对林下辐射传输 *PAR* 和间作小麦产量的影响,以探讨农桐间作系统中的光能利用规律。

### 1 小麦品质研究评述

迄今为止,各国农业科学家围绕着如何提高小麦品质的研究工作已开展 100 多年。大量研究结果业已证明,小麦籽粒品质不仅受基因型控制,还同时受生态环境的影响。关于小麦品质生态的研究,国际上始于 1914 年。加拿大、澳大利亚、美国、英国、苏联等国开展了较长期深入的研究<sup>[1]</sup>。我国的研究起步较晚。1951 年,庄巧生率先研究并论述了小麦品质与环境条件的关系<sup>[3]</sup>;80 年代中期,北京、河南、河北、陕西、新疆、江苏、山西等省市相继开展小麦品质生态研究,获得了一大批富有价值的成果<sup>[2~6]</sup>。

1.1 环境因素对小麦品质的综合影响 国内外许多研究资料在评价小麦品质时,常以蛋

白质含量高低作为重要指标。小麦科学家在世界各地的众多研究表明<sup>[7~9]</sup>, 环境因素对小麦籽粒蛋白质含量起着重要影响作用<sup>[10~20]</sup>。同一品种生长在不同环境下的小麦籽粒蛋白质含量可以相差两倍多<sup>[13]</sup>; 环境对蛋白质含量变异的影响比遗传变异的影响大 5.6 倍<sup>[14]</sup>; 环境间的小麦蛋白质含量变异是品种间变异的 19 倍<sup>[15]</sup>; 小麦籽粒蛋白质含量依赖生长条件的程度比依赖品种的程度高 4 倍以上<sup>[16]</sup>。在小麦蛋白质含量的总变异中, 5% 属遗传变异; 同一品种的小麦, 因环境条件不同, 其籽粒蛋白质含量变异为 8%~18%<sup>[17]</sup>。

Lawrence 曾观察到, 育种家早期培育的赖氨酸含量较高的小麦品种, 往往在不同地点或不同年份种植后, 赖氨酸含量有所下降, 说明环境因素起着重要作用<sup>[18]</sup>。Fowler 的研究发现, 环境对小麦蛋白质含量的直接影响是通过一种基质诱导相对稳定的酶——调节植物氮吸收的硝酸还原酶而起作用<sup>[19]</sup>。

**1.2 光照对小麦品质的影响** 光照辐射强度与小麦籽粒蛋白质含量一般呈负相关<sup>[20]</sup>。Benzian 的结论是<sup>[21]</sup>: 光照辐射强度每增加  $10^6 \text{ J/m}^2 \cdot \text{d}$ , 籽粒含 N 量下降 0.03%。据 Partridge 报道<sup>[22]</sup>, 光强为  $10.47 \text{ J/cm}^2$  的小麦蛋白质含量明显高于  $20.93 \text{ J/cm}^2$ 。Sofield 等人认为<sup>[23]</sup>, 减少籽粒发育期的光强度可使籽粒氮素积累增多; 而 Kontturi 则得出了相反的结论<sup>[24]</sup>; 他发现在  $800 \times 10^6 \sim 1000 \times 10^6 \text{ J/m}^2$  光照辐射强度下, 小麦从出苗到抽穗阶段, 光照强度越大, 籽粒蛋白质含量越高; 原因是高辐射强度能促使小麦吸收多量的氮素。由于二者所针对的生育阶段不同, 因此缺乏可比性。

一般认为, 抽穗至乳熟期的日照时数与小麦籽粒蛋白质含量呈正相关。Fredrik 试验证明<sup>[25]</sup>, 延长抽穗期光周期可明显提高籽粒蛋白质含量; 长日照处理的小麦蛋白质含量平均值为 22%, 明显高于短日照处理, 而其蛋白质中所含的缬氨酸、赖氨酸、苏氨酸又低于短日照植株, 含有更多的则是盐溶性蛋白质和碱溶性蛋白质。我国的多数研究结论恰恰与此相反: 开花至成熟期总日照时数与蛋白质含量呈负相关<sup>[6]</sup>; 光照与蛋白质、赖氨酸、面筋含量的相关系数分别为  $-0.856$ ,  $-0.554$  和  $-0.848$ <sup>[27~28]</sup>。张国泰<sup>[29]</sup>在分析黑河、西宁、银川等地光照充足而小麦蛋白质含量较低的原因时指出, 光照有利于叶片光合作用的增强和对水分及  $\text{CO}_2$  利用率的提高, 更多地形成了碳水化合物。针对这一论点, 陈光斗<sup>[30]</sup>持不同看法, 认为小麦乳熟期和腊熟期的充足光照有利于提高小麦品质。由此可见, 有关光照与籽粒蛋白质含量的关系尚待进一步深入研究。

关于气候条件的综合影响, 国内外研究一致认为, 在籽粒形成阶段, 高于常年平均气温、低于常年降雨量的气候条件均可提高蛋白质含量; 这些都体现出气候的综合影响。目前, 国内外的研究重点已开始转向气候条件对小麦加工品质多项指标影响的研究, 随着研究手段的不断改进和受控人工模拟气候室的逐步采用, 预期在理论上会有较大进展。

## 2 研究地区概况

成武县位于鲁西南东南部, 地理坐标为:  $34^{\circ}39' \sim 35^{\circ}10' \text{ N}$ ,  $115^{\circ}44' \sim 116^{\circ}11' \text{ E}$ , 试验站坐标为:  $34^{\circ}57' \text{ N}$ ,  $115^{\circ}58' \text{ E}$ 。海拔高度在 38~46m 之间, 坡降为 1/5000, 属黄泛冲积平原; 土类仅有潮土 1 个大类, 2 个土属(潮土和盐化潮土), 56 个土种。土壤总体养分水平可概括为: 有机质偏低、普遍缺氮、严重缺磷、部分缺钾, 且氮、磷比例失调。

成武县属暖温带半湿润大陆性季风气候, 四季分明、雨热同季。年平均气温  $13.9^{\circ}\text{C}$ ; 7 月平均气温  $27.1^{\circ}\text{C}$ , 1 月平均气温  $-1.2^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温达  $4624^{\circ}\text{C}$ ; 多年平均降水量为 611 mm, 但年际变化较大, 年内分配不均且干、湿季分明; 春、夏、秋、冬四季降水分别占全

年的 15.5%、59.8%、20.4% 和 4.3%。全年日照时数约 2377 h, 日照百分率为 69.8%; 年总辐射量  $4.91 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$ 。作物生长季节, 气温  $\geq 0^\circ\text{C}$  的日照时数为 2011.3 h, 生理辐射  $2.12 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$ , 占全年 88%;  $\geq 10^\circ\text{C}$  的日照时数可占全年日照时数的 64%, 生理辐射占全年的 70%。灾害性天气主要有春旱、夏涝、干热风、霜冻、大风等。

按中国植被区划<sup>[26]</sup>, 成武县属暖温带落叶阔叶林区域。长期的过度开发和农业生产, 天然植被已荡然无存, 现有植物资源多为乡土种和引种栽培的外来种。作物品种主要有小麦、玉米、大豆、棉花、花生、谷子、高粱、黄麻、烟叶等; 另有枸杞、地黄、白蒺藜、车前子、生姜、红麻等药用和经济植物。试验地泡桐品种为兰考泡桐 (*Paulownia elongata* Hu), 1986 年栽植, 树行南北向; 植距分别为 5 m $\times$ 10 m、5 m $\times$ 15 m、5 m $\times$ 20 m、5 m $\times$ 30 m 和 5 m $\times$ 40 m 等 5 种模式。

### 3 研究方法

**3.1 太阳辐射和光合有效辐射 (PAR) 的测定** 采用法国 CIMEL ELECTRONIQUE 公司生产的自动气象站 (Automatic Weather Station) 系列中的太阳辐射站 (Solar Radiation Station ENERCO CE 296) 测定太阳总辐射和反射辐射; 用英国 Abingdon Instrument Co. Ltd 生产的光合有效辐射计 (PAR DIDCOTDRI 02) 测定每天的 PAR 累积值; 用北京师范大学光电仪器厂研制的光合有效辐射计 FGH-1 测定各测点每日整时的瞬时值。

**3.2 林木和农作物测定** 林木测定每年 2 次 (5 月和 11 月), 每次逐株测量林木胸径 (DBH)、树高 (H)、枝下高 (Hs)、冠幅 (东、西、南、北 4 个方向) 和叶面积指数 (LAI); 定时测量单株 (孤立木) 和树行树影随时间变化的运动轨迹。每年首次和最后一次测量时按林木径阶分布选取标准木进行树干解析。

间作田农作物测定是在每个仪器定位点分别选取 5 株小麦 (夏) 或玉米、棉花 (秋), 定时测定其株高、叶长、叶面积指数; 在作物收获季节, 按仪器点设置 1 m $\times$ 1 m 样方进行作物测产。

### 4 辐射传输对农作物产量的影响

**4.1 农桐间作系统辐射传输的变化规律** 农桐间作系统的 PAR, 因距树行的距离和泡桐生长季节不同而异。泡桐各生长期对小麦的遮荫影响, 按树冠透光率的变化分为无遮荫影响 (11 月上旬到次年 4 月上旬, 树冠透光率大于 80% 以上)、轻微遮荫影响 (4 月上旬至 5 月中旬, 树冠透光率为 40%~80%) 和严重遮荫影响 (5 月下旬到 10 月下旬) 3 个时期; 而在严重遮荫影响期内, 根据树行不同距离处 PAR 减少率的变化, 又可将泡桐对间作地的遮荫影响分成 3 个带: 无显著遮荫带 (在小麦生育期内 PAR 减少率不超过 10%, 其范围约距树行 10~20 m)、轻微遮荫带 (减少率为 10%~30%, 其范围在距树行 5~10 m 处) 和严重遮荫带 (减少率大于 30% 以上, 即树冠下 0~5 m 的范围)。从不同生长期和距树行不同距离处的小麦 PAR 日均减少率变化可见, 在泡桐各生长期, 小麦日均 PAR 减少率曲线的最大值出现在树行处, 距树行越远, 减少率越小。

**4.2 对夏作物产量影响** 根据竺肇华等人多年定位观测研究得出的结论<sup>[31]</sup>, 泡桐间作对小麦的影响是一个动态的过程, 产量反应与泡桐密度和年龄有密切的关系。由于农桐间作的前 2~3 a, 泡桐树小, 对下垫面小麦生长的抑制作用不明显, 可以忽略不计; 间作进入第 4 年以后随着时间的延续, 小麦的减产幅度日益加大。对农桐间作不同距离小麦千粒重、有效穗数和穗粒数年内及年际动态的分析发现 (表 1、2), 离树行越近, 小麦千粒重越小,

且各测点之间小麦千粒重有显著性差异；而小麦有效穗数和穗粒数无规律性变化，各测点间也无显著性差异。这说明，泡桐对小麦产量的影响主要是千粒重，对其它产量组分影响不大。小麦产量的变化趋势为距树行越近，产量则越低；与对照相比，5 m 处减产 2.1%，2.0 m 处减产 3.7%，0 m 处（即树行株间）减产 15.6%（表 3）。

表 1 农桐间作系统小麦产量组分分析

Table 1 Wheat yield components analysis in wheat-paulownia intercropping system

测点 Sampling	东 20 m 20m from west row	东 10 m 10 m from west row	东 5.0 m 5 m from west row	东 2.0 m 2m from west row	东 0.0 m In line under tree	西 2.0 m 2 m from east row	西 5.0 m 5 m from east row	西 10 m 10 m from east row	西 20 m 20 m from east row	对照 Control
千粒重(g) 1000 grains weight	33.7	33.0	31.1	33.2	30.5	32.2	32.2	33.2	34.2	34.9
有效穗数 Fertile heads (穗/hm <sup>2</sup> )	4447.5	4213.5	4158.0	4281.0	4261.5	4114.5	4393.5	4129.5	4012.5	4147.5
穗粒数 Grains/head	28.8	28.9	29.0	27.7	26.9	28.7	27.9	29.9	27.6	28.1

方差分析表明(表 4)，距树行 0 m 处的小麦产量与距树行 20 m 处有极显著性差异，与距树行 10 m 处、对照和距树行 5 m 处则有显著性差异，而其它各处间都无显著性差异。

表 2 农桐间作对小麦产量组分的年际影响(5 m × 30 m)

Table 2 The inter-year effects of wheat-paulownia intercropping on wheat yield components

1993						1994					
株高 Plant height		穗粒数 Grains/head		千粒重 1000 grains weight		株高 Plant height		穗粒数 Grains/head		千粒重 1000 grains weight	
(cm)	%	(粒/穗)	%	(g)	%	(cm)	%	(粒/穗)	%	(g)	%
63.1*	100*	28.6*	100*	34.7	100*	65.6*	100*	26.8*	100*	41.3*	100*
61.2	97	29.7	103.8	34.5	99.4	64.8	99	22.2	83	30.1	73
62.5	99	27.0	94.4	36.6	105.5	63.8	97	23.9	89	31.5	76
63.7	101	26.6	93.0	38.3	110.4	65.6	100	27.7	103	40.0	97
62.5	99	28.2	98.6	39.3	113.3	63.9	97	27.0	101	37.8	92
60.6	96	29.6	103.5	40.8	117.6	64.2	98	28.3	106	38.7	94

\* 对照值(Control value)

表 3 农桐间作区小麦产量测定

Table 3 Wheat yield in wheat-paulownia intercropping area

测点 Sampling	东 20 m 20 m from west row	东 10 m 10 m from west row	东 5.0 m 5 m from west row	东 2.0 m 2 m from west row	0.0 m In line under tree	西 2.0 m 2 m from east row	西 5.0 m 5 m from east row	西 10 m 10 m from east row	西 20 m 20 m from east row	对照 Control
平均产量 Mean yield(kg/hm <sup>2</sup> )	4330.5	3994.5	3850.5	3850.5	3346.9	3784.5	3910.5	4078.5	4015.0	3964.3

表 4 小麦产量差异性多重比较

Table 4 Multiple comparison of wheat yield difference in wheat-paulownia intercropping

序号 No.	测点 Sampling	产量水平 Yield(kg/hm <sup>2</sup> )	X <sub>i-6</sub>	X <sub>i-5</sub>	X <sub>i-4</sub>	X <sub>i-3</sub>	X <sub>i-2</sub>
1	距树行 20 m 20 m from tree row	4172.8	725.9	255.4	193.0	108.5	236.5
2	距树行 10 m 10 m from tree row	4036.5	689.4	218.9	156.5	70.0	
3	对照 Control	3964.3	617.4	146.9	84.5		
4	距树行 5.0 m, 5 m from tree row	3880.5	532.9	62.4			
5	距树行 2.0 m 2.0 m from tree row	3817.5	470.5				
6	距树行 0.0 m In line under tree	3346.9					

4.3 农桐间作系统 PAR 与小麦产量的相关性 通过对小麦灌浆期 PAR 与产量和千粒重的相关性分析, 得出小麦产量与 PAR 相关性方程:

$$Y = -12.46 + 0.752\bar{X}$$

式中,  $Y$  为小麦减产率(%),  $X$  为 PAR 减少率(%); 小麦千粒重与 PAR 的相关性方程为:

$$Y = -14.50 + 0.752X$$

式中,  $Y$  为小麦千粒重减少率(%),  $X$  为 PAR 减少率(%).

上述二者的相关性都是一次线性函数, 且仅在 PAR 减少率的起点值上有差异, 即在 PAR 减少率小于 17.0% 时不会影响小麦产量, 小于 4.0% 时不会影响千粒重。据此, 可把 17.0% 和 4.0% 的 PAR 减少率值分别称为小麦产量和千粒重的影响临界值, 并由此得出结论: 南北行向的桐麦间作, 在距树行不同距离处小麦的有效穗数和穗粒数之间没有显著性差异, 而小麦产量和千粒重差异显著; 泡桐对小麦产量的影响范围为距树行 5 m 以内, 对千粒重的影响范围为距树行 10 m 以内。上述结论支持类似的研究结果<sup>[32]</sup>。

4.4 对秋作物产量的影响 农桐间作大田试验中林下配置的秋作物玉米和棉花都是喜光作物, 其主要生长期 6~10 月又适逢泡桐生长的旺盛时期, 叶密度峰值期势必造成泡桐对林下农作物更大的遮荫影响。表 5 列出了泡桐栽植后 5~8 a 间秋作物相对产量动态, 从中可以看出: (1) 秋作物的产量随间作年数的增加而下降; (2) 5 m×10 m 和 5 m×15 m 两个处理减产十分明显, 特别是间作 6 a 以后; 因此, 大密度下应改种耐阴品种(象生姜、药材等)以提高单位土地面积的收入。(3) 5 m×30 m、5 m×40 m 间作的前几年虽稍有增产或平产, 从间作第 6 a 也进入了减产期; 随着年龄的增加和树密度的增加, 秋作物的减产幅度已超过 10% (玉米为 11%~28%, 棉花为 21%~33%)。减产的主要原因仍然归咎于泡桐树冠遮荫对农作物光合作用的强烈抑制作用<sup>[33~35]</sup>。

表 5 农桐间作不同结构对秋作物产量的影响(相对产量%)

Table 5 The effects of different structure on autumn crop yield in crop-paulownia intercropping(Relative yield, %)

树龄 Tree age	5 m×10 m		5 m×15 m		5 m×20 m		5 m×30 m		5 m×40 m	
	玉米 Maize	棉花 Cotton	玉米 Maize	棉花 Cotton	玉米 Maize	棉花 Cotton	玉米 Maize	棉花 Cotton	玉米 Maize	棉花 Cotton
	5	88	87	90	95	100	81	80	98	102
6	63	81	72	87	89	55	62	79	95	102
7	54	69	68	87	90	—	71	89	94	96
8	65	74	72	92	92	62	67	89	86	93

## 5 辐射传输对农作物品质的影响

**5.1 对小麦品质的影响** 从小麦品质的分析结果(表6)来看,小麦千粒重以5 m×30 m间作的中间点最高,除5 m×10 m处理减少外,其他各点均比对照有不同程度的增加,普遍存在着显著差异,说明农桐间作后有利于小麦蛋白质和粗脂肪的积累。粗纤维的含量,间作地和对照地无明显差别,也不存在明显的规律性。粗蛋白含量规律最明显,凡间作地内小麦都高于对照地,而且以5 m×10 m的林内和5 m×30 m的冠下和林缘处为最高,平均含量为23.4%,比对照高87%;其次是5 m×40 m的树冠下和林缘处平均含量为22.12%;而以5 m×30 m和5 m×40 m的中间点为最低,平均含量为15.74%,仅比对照提高了23.9%。总糖的含量,间作地和对照地大致相等,无明显规律性差别。淀粉含量除5 m×40 m的林缘处和中间点比对照分别提高6.75%和1.6%以外,其它都小于对照地含量。

**5.2 对玉米品质的影响** 玉米品质样本集中在5 m×30 m按离树不同距离以及5 m×20 m的中间点,包括对照共采集21个样本。分析结果如下(表7):千粒重间作地内各点均超过对照区,以5 m×30 m的中间点为最高(224 g),比对照高27.7%,其次是林缘和冠下,间作地内玉米灰分比对照均略有下降。粗脂肪含量,间作地内大部分点高于对照,以5 m

表6 小麦品质特性分析结果

Table 6 Wheat quality characteristic analysis in wheat-paulownia intercropping

泡桐密度 Spacing	间作区 Intercropped areas									对照区 Control
	5 m×10 m			5 m×30 m			5 m×40 m			
	林冠下 <sup>1)</sup>	林缘 <sup>2)</sup>	中间点 <sup>3)</sup>	林冠下	林缘	中间点	林冠下	林缘	中间点	
<sup>4)</sup> 千粒重 1000(g)	28	28	36	36	38	43	40	38	37	42
<sup>5)</sup> 水分(%)	14.40	14.05	13.75	13.74	13.28	13.69	13.30	13.47	13.42	13.69
<sup>6)</sup> 粗脂肪(%)	1.64	2.29	1.91	2.42	2.11	1.90	2.98	2.14	2.75	1.83
<sup>7)</sup> 粗纤维(%)	3.03	3.06	4.03	3.42	3.00	2.60	3.40	2.83	3.62	3.37
<sup>8)</sup> 粗蛋白(%)	23.27	23.05	23.57	24.66	24.14	15.76	21.37	22.87	15.72	12.70
<sup>9)</sup> 灰分(%)	1.25	1.32	1.11	0.97	1.02	0.86	0.91	1.14	0.68	0.81
<sup>10)</sup> 总糖(%)	4.50	4.21	4.09	4.08	4.15	4.84	4.30	3.87	4.27	4.10
<sup>11)</sup> 淀粉(%)	78.10	69.04	71.71	74.22	79.61	70.62	79.80	88.71	84.43	83.10

1) Under tree 2) Under crown edge 3) Mid interrow 4) Grains weight 5) Moisture content 6) Crude fat 7) Coarse fiber 8) Crude protein 9) Ash content 10) Total sugar 11) Starch content

表7 农桐间作田内玉米品质分析结果

Table 7 Maize quality analysis in crop-paulownia intercropping

离东树行的距离 Distances from east row(m)	间作区 Intercropped areas						对照区 Control
	5 m×30 m				5 m×20 m		
	2	7.5	15	22.5	28	10	
千粒重 1000 grains weight(g)	212	221	244	211	209	207	191
水分 Moisture content(%)	7.66	7.98	7.85	7.87	7.84	7.76	7.79
灰分 Ash content(%)	1.63	1.47	1.44	1.71	1.72	1.64	1.84
粗脂肪 Crude fat(%)	4.21	4.01	4.15	3.79	3.56	4.41	3.91
粗纤维 Coarse fibre(%)	4.81	4.59	4.87	4.80	4.62	4.95	5.13
淀粉 Starch content(%)	91.06	86.25	85.93	89.24	81.11	87.84	81.98

×20 m 和 5 m×30 m 的中间点为最高, 分别为 4.41% 和 4.15%, 分别比对照高 12.8% 和 6.1%。粗纤维含量, 间作地内的玉米均低于对照地, 但差异不大, 幅度为 5%~10%。淀粉含量与纤维含量相反, 间作地内的玉米基本上高于对照地, 变幅为 1%~11%。由此可见, 农桐间作以后玉米品质的变化主要表现为千粒重、粗脂肪和淀粉含量的提高, 灰分和粗纤维的降低; 总体趋势是产量大幅度降低, 品质微量性提高。

**5.3 对棉花品质的影响** 8年生泡桐 5 m×30 m 处理的农桐间作地内不同测点的棉花品质变异情况(表 8)如下: 纤维细度, 间作均低于对照; 冠下、林缘、中间点的细度(m/g)分别为: 6060、5987 和 6190, 对照比间作各点分别高 10.7%、11.8% 和 8.8%。纤维强度(g)对照地均低于间作地, 间作平均比对照高 11.8%; 而间作地各点间则无明显差别。断裂长度(km)和成熟系数与强度变化相似, 对照地均低于间作地各点, 幅度分别为 1.6%~11.4% 和 6.7%~30.8%。光电仪主体长度(mm), 以树西冠下为最低, 为 27.07 mm, 略低于对照地(28.30 mm), 其他各点均高于对照, 其中以中间点为最高, 为 29.07 mm。灰分各样本间无明显差别, 分别为 35%~36% 左右。由此得出结论: 同对照相比, 间作后棉花纤维品质中细度有所降低, 其它品质特性(如强度、断裂长度、成熟系数、光电仪主体长度等)稍有增加, 总体品质大致与对照地持平。

表 8 农桐间作田内棉花纤维品质分析

Table 8 Cotton fibre quality analysis in crop-paulownia intercropping

离东树行的距离 Distances from east row(m)	间作区 Intercropped areas						对照区 Control
	5 m×30 m			5 m×20 m			
	2	7.5	15	22.5	28	10	
品级 Quality grade	3	2	2	2	2	3	3
长度 Length (mm)	29	27	29	27	29	29	29
细度 Fineness (m/g)	6060	5987	6190	5990	5917	6245	6785
强度 Strength (g)	3.35	3.14	3.33	3.17	3.23	3.11	2.72
断裂强度 Breaking strength (km)	20.30	18.80	20.60	19.00	19.10	19.40	18.50
成熟系数 Mature coefficient	1.53	1.47	1.42	1.49	1.74	1.46	1.33
光电仪主体长度 Optoelectronic scanning length (mm)	27.07	27.30	29.10	28.27	29.10	29.23	28.30
灰分 Ash content (%)	35	36	36	36	37	36	35

## 参 考 文 献

- 1 王绍中等. 环境生态条件对小麦品质的影响研究进展. 华北农学报, 1994, 9(增刊): 141~144
- 2 金善宝. 小麦生态研究. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990
- 3 金善宝. 中国小麦生态. 北京: 科学出版社, 1990
- 4 金善宝. 小麦生态理论与应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992
- 5 林作樾等. 馒头品质与小麦品质性状关系的研究. 华北农学报, 1991, 6(增刊): 1~5
- 6 曹广才, 王绍中. 小麦品质生态. 北京: 中国科学技术出版社, 1994
- 7 Schoener T W. Field experiments on interspecific competition. *American Naturalist*, 1983, 122: 240~285
- 8 Smika D E, et al. Protein content of winter wheat grain as related to soil and climatic factors in the semiarid central great plains. *Agron J.*, 1973, 65: 433~436



- 9 Toft C A. Communities of species with parasitic lifestyles. *Community ecology*. New York, Harper & Row, 1986, 445~463
- 10 Schoener T W. Field experiments on interspecific competition. *American Naturalist*, 1983, 122: 240~285
- 11 Sosulski F W. *et al.* Effect of moisture, temperature and nitrogen on yield and protein quality of thatched wheat. *Agron. J.*, 1986, 46: 583~588
- 12 Park T. Beetles, competition and populations. *Science*, 1962, 138: 1369~1375
- 13 Lausk A. Statistical character of light extinction in plant communities In: Solar Radiation Regime in Plant Canopy. Tartu (ESSR): Inst. Phys. and Astron. Acad. Sci. 1968, 81~111
- 14 Fox B J. Niche parameters and species richness. *Ecology*, 1981, 62(6): 1415~1425
- 15 Stepler H A. & Raintree J B. The ICRAF research strategy in relation to lant science research in agroforestry. *Plant research and agroforestry*, ICRAF, 1983
- 16 Blumental C S. *et al.* Seasonal change in wheat — grain quality associated with high temperatures during grain filling. *Aust J. Agric Res*, 1991, 42: 21~30
- 17 Jahake L S. *et al.* Influence of photosynthetic crown structure on potential productivity of vegetation based primarily on mathematical models. *Ecology*, 1965, 46: 319~326
- 18 Lang A R G. *et al.* Crop structure and the penetration of direct sunlight. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1985, 35: 83~101
- 19 Benzian B. *et al.* Protein concentration of grain in relation to some weather and soil factors during 17 years of English winter-wheat experiment. *J. Sci. Food Agric*, 1986, 37: 435~444
- 20 Sosulski F W. *et al.* Effect of moisture, temperature and nitrogen on yield and protein quality of thatched wheat. *Agron. J.*, 1986, 46: 583~588
- 21 Betters D R. Planning optimal economic strategies for agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 1988, 7: 17~31
- 22 Passioura J B. The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. Symposium on drought resistance in crops with emphasis on rice. *International Rice Research Institute*, 1982, 71~82
- 23 Stirling *et al.* The effect of timing of shade on development, dry matter production and light use efficiency in groundout under field conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1990, 41: 633~644
- 24 Kessel C van & Roskoski J P. Row spacing effects on N-2-fixation, N-yield and soil N uptake of intercropped cowpea and maize. *Plant and Soil*, 1988, 3: 17~23
- 25 Fairs M A. *et al.* Yield stability in intercropping studies of sorghum or maize with cowpea or common beans under different fertility levels in northern Brazil. *Canadian Journal of Plant Science*, 1983, 63: 789~799
- 26 吴征镒主编. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980
- 27 曹广才等. 温光条件对小麦籽粒蛋白质含量的影响. 小麦生态研究(金善宝主编). 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990
- 28 新华芬. 生态条件与小麦籽粒品质的关系. 小麦生态理论与应用(金善宝主编). 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992
- 29 张国泰等. 小麦籽粒蛋白质含量的变异. 中国小麦生态(金善宝主编). 北京: 科学出版社, 1991
- 30 张纪林等. 农桐间作对小麦产量效应的评价方法探讨. 泡桐, 1987, 2: 12~17
- 31 竺肇华等. 不同农桐间作结构对农产品质量影响的研究. 泡桐与农用林业, 1991, 1: 20~24
- 32 蒋建平等. 桐麦间作系统中小麦产量与光合有效辐射条件的相关变化. 华北农学报, 1994, 9(增刊): 133~137
- 33 吴运英, 熊勤学. 桐麦间作地能量平衡和水分利用状况及其与产量的关系. 林业科学, 1991, 27(4): 410~416
- 34 曹效珍, 杨素秋. 农桐间作下小气候变化的研究. 泡桐与农用林业, 1990, 2: 39~47
- 35 吴运英. 农桐间作条件下小麦生长及产量的模拟. 泡桐与农用林业, 1993, 1: 10~14