

光照强度对白肋烟光合特性及中性致香成分的影响

倪国仕¹, 左梅¹, 王瑞¹, 吴文昊¹, 向必坤¹, 许自成^{2*}

(1.湖北省烟草公司恩施州公司, 湖北恩施 445000; 2.河南农业大学烟草学院, 郑州 450002)

摘要: 以鄂烟6号为供试材料, 在团棵期至成熟期通过人工遮阴, 设置3种透光率水平(100%、80%、60%), 探讨了不同光照强度对白肋烟光合特性和中性致香成分等理化性状的影响。结果表明, 透光率80%处理小区的烟叶单位面积叶源量明显高于对照100%自然光照与60%透光率处理。在遮阴前期, 光照强度起主要控制作用, 遮阴处理的净光合速率较小(100% > 80% > 60%); 而遮阴后期, 遮阴处理小区环境温度较低, 空气湿度与空气中CO₂浓度相对较高, 叶片蒸腾速率与气孔导度增加, 净光合速率高于对照100%自然光照(100% < 80% < 60%), 胞间CO₂浓度降低。烟株对光照变化的适应性较强, 长期遮阴能激发其对弱光的吸收和转化效率, 透光率80%的中性致香成分、感官质量、非特异性过氧化物酶与超氧化物歧化酶活性整体均优于100%自然光照。但100%自然光强更能提高烟叶中水溶性糖含量, 促进烟叶对水溶性氯、钾成分的吸收。总的来看, 80%的光照条件下的烟叶品质更好, 能满足工业企业的配方要求。

关键词: 白肋烟; 光照强度; 光合特性; 叶源量; 中性致香成分; 酶活性

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119(2014)04-0058-06

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2014.04.011

Effects of Light Intensity on Photosynthetic Characteristics and Neutral Aroma Constituents of Burley Tobacco

NI Guoshi¹, ZUO Mei¹, WANG Rui¹, WU Wenhao¹, XIANG Bikun¹, XU Zicheng^{2*}

(1 Enshi Tobacco Company of Hubei Province, Enshi, Hubei 445000, China;

2. Tobacco College of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To identify the effects of light intensity on photosynthesis of burley tobacco leaves during field stages, and explore the distribution differences of main neutral aroma constituents in cured burley tobacco leaves of different light intensities treatment, artificial shade experiment with 3 light transmittance level (100%, 80%, 60%) from rosette stage to maturation stage was carried out by using Eyan 6 as test material. The results indicated that leaf source capacity per unit area of 80% transmittance level was higher than the other two levels. In the early stage of the shade, light intensity was the major controlling factor, net photosynthetic rate under shading treatment were lower than that under full sunlight (100% > 80% > 60%); In the later period, environment temperature under shading treatment was lower, air humidity and CO₂ concentration was relatively high in the air, and stomatal conductance and transpiration rate increased, and net photosynthetic rate was higher than CK(100% transmittance level), but the intercellular CO₂ concentration decreased. Tobacco leaves had a strong adaptability to light, and long-term shade could stimulate its absorption and conversion efficiency of weak light. Neutral aroma constituents, sense quality, activities of peroxidase and superoxide dismutase were better than those of 100% full natural light as a whole. But 100% natural light intensity was more advantageous to the increasing of content of soluble sugar, and absorption of water-soluble chloride and potassium in burley tobacco leaves. Through comprehensive analysis, tobacco leaves in 80% transmittance level have better quality and meet the formula requirements of the industrial enterprises.

Keywords: burley tobacco; light intensity; photosynthetic characteristics; leaf source capacity; neutral aroma constituent; enzyme activity

基金项目: 国家烟草专卖局面上项目“恩施烟区白肋烟品质差异的生态机理及调控技术研究”(027Y 2011-050)

作者简介: 倪国仕, 男, 高级农艺师, 主要从事烟草栽培及管理方面的研究。*通信作者, E-mail: kjzx737@126.com

收稿日期: 2014-01-19

湖北西南部主要为中高山地区,为我国中西部重点开发扶持区域。烟草为当地的主要经济作物,其中白肋烟因种植历史悠久,品质良好而远销东南亚等地区。烟草的主要经济价值来源于成熟后采收的叶片,而烟草其本身在生长发育期主要靠叶片进行光合作用,光照强度作为光合作用的一个主要参数对烟草的产量和品质有着重要的影响^[1-2]。关于光照强度对烟草生长的影响研究多在生长发育、形态、生理指标方面^[3-5],且多为烤烟,对白肋烟大田期的光合作用与致香成分的影响研究较少。本试验通过人工遮光的方式来调节烟叶生长的光环境,旨在揭示大田生长发育期光照强度对白肋烟光合作用的影响,探讨不同光照条件下调制后烟叶的中性致香成分的分布差异,为烟草种植布局规划,有效指导大田生产管理,生产出适合工业企业配方需求的优质烟叶提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

本试验为大田试验,试验点设在恩施州“清江源”现代烟草农业科技园区(海拔 1200 m),土壤类型为黄棕壤,pH 值 5.4,有机质含量为 2.04%,全氮 1.44 g/kg,速效氮 143.26 mg/kg,速效磷 71.72 mg/kg,速效钾 215.97 mg/kg。供试品种为鄂烟 6 号,栽培株距 50 cm,行距 120 cm,团棵期(移栽后第 40 d)开始覆膜。

试验设 3 个处理,3 次重复,处理 1 以自然光强(透光率 100%)为对照,处理 2、3 透光率分别为 80%、60%,通过覆盖不同透光能力的遮阳网(单、双层)达到处理光强。每个处理上方搭长 5.0 m,宽 2.5 m,高 1.8 m 的金属矩形架用于盖网,矩形架顶部及四周分别覆盖相应的网,覆网处理四周下部至地面留出 90 cm,内部南北向相通,以利于通风,使小气候环境尽量保持一致。小区面积为 12.5 m²,每个小区包含呈 4×5 排列的 20 株烟株,处理期间其他田间管理措施完全一致。三个处理南北方向随机排列,各处理间的植株相隔至少 3.0 m,以消除遮阳网之间的相互影响。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶片净光合速率等光合参数的测定 每处理分别选取 3 株有代表性的烟株,在第 8 片叶(从下往上数)进行标记,于处理后 20 d 开始第 1 次测定,在上午 10:00~11:00 利用 Li-6400-02B 型便携式光合仪,选择晴朗无云的天气进行测定。测定时采用开路测定方式,叶室内光合作用有效辐射由内置 6400-02BLED 红蓝光源提供,设置为 1200 μmol/(m² s),气体流量 500 μmol/s,叶室温度设定为 25 °C,相对湿度控制在 50%~60%,每处理重复测定 3 次。叶片净光合速率[Pn, μmol CO₂/(m² s)]、蒸腾速率[Tr, mmol H₂O/(m² s)]、气孔导度[Gs, mmol/(m² s)]、胞间 CO₂ 浓度[Ci, μmol/(m² s)]等光合参数由光合仪直接读出。

叶源量(LSC):指单叶一生同化 CO₂ 的总量,按下列方法计算^[6]:

$$LSC = \sum_{i=1}^m P_n \cdot D \cdot LA \quad (1)$$

P_n 为净光合速率, D 为测定间隔时间, LA 为单叶全展时的面积, m 为测定次数, i=1, 2, …, m。

单位面积叶源量(Per Area Leaf Source Capacity, PALSC):

$$PALSC = LSC/LA \quad (2)$$

1.2.2 晾晒后烟样常规化学成分测定 各小区烟叶在正常采收晾晒后开展常规化学成分测定,主要检测指标包括水溶性总糖、还原糖、总氮、烟碱、K⁺、Cl⁻,测定方法为化学流动分析法。

1.2.3 晾晒后烟样中中性致香物质测定 中性致香物质含量利用 GC/MC 采用内标法定量测定,检测仪器型号为 HP5890-5972 气质联用仪。GC/MS 分析条件:色谱柱:HP-5(60 m×0.25 mm.i.d.×0.25 μm d.f.);载气及流速:He 0.8 mL/min;进样口温度:250 °C;传输线温度:280 °C;离子源温度:177 °C;升温程序:初始温度 50 °C(2 min),以每分钟 2 °C 的速率升至 120 °C(5 min),再以每分钟 2 °C 的速率升至 240 °C(30 min);分流比和进样量分别为 1:15, 2 μL;电离能 70 eV;质量数范围 50~500 amu;MS 谱库 NIST02。

1.2.4 保护酶活性测定 样品采集与保存: 在处理第 20 d 时在各小区选取有代表的烟株 2 株, 取其第 8 和第 9 叶位的叶片, 代表中部叶片, 用于生理生化指标的分析。取新鲜烟叶基部、中部和尾部混合样 0.5 g, 置于液氮罐中冷冻保存, 带回实验室进行各项指标的测定。粗酶液提取: 采用磷酸缓冲液 (pH 7.8) 提取。将样品置于预冷的研钵中, 并加磷酸缓冲液数滴, 将样品研磨成浆, 用磷酸缓冲液将匀浆洗入离心管中, 2000 rpm 离心 20 min 倾出上清液, 加少量磷酸缓冲液同样条件下再次提取, 合并上清液并定容至 10 mL。提取液置于冰箱中 4 °C 低温保存, 用作超氧化物歧化酶 (SOD) 和非特异性过氧化物酶 (POD) 活性的测定, 重复测定 3 次, 最后取平均值。

1.3 数据处理

数据采用 DPS 等软件进行统计分析。

2 结果

2.1 叶片净光合速率与单位面积叶源量

在白肋烟叶片生长发育的整个时期, 各处理叶片净光合速率均表现出逐渐下降的基本趋势, 下降幅度不同 (100% 自然光 > 80% 透光率 > 60% 透光率) (图 1), 说明光照强度对烟叶光合作用影响大小不同。在处理 20 d 至 35 d, 透光率高, 光合速率大, 但随着生育期的推进, 处理达 55 d 时, 出现相反的趋势, 即 60% 透光率的处理光合速率最大, 80% 透光率的处理居中, 100% 自然光强的处理光合速率最小。表明不同的烟叶生长时期, 光照对烟叶的光合作用影响不同, 在烟叶成熟期时适度遮阴, 能增加烟叶的光合速率。

单位面积叶源量 (PALSC) 是指叶片从完全展开至光合完全丧失的整个期间叶片单位面积同化 CO₂ 的总量。如图 2 所示, 不同光照处理的单位面积叶源量差异性较大, 80% 透光率的处理显著高于对照与 60% 透光率处理。表明光照对烟叶同化 CO₂ 的量有较大影响, 适度的遮光能有效促进烟叶的光合功能。

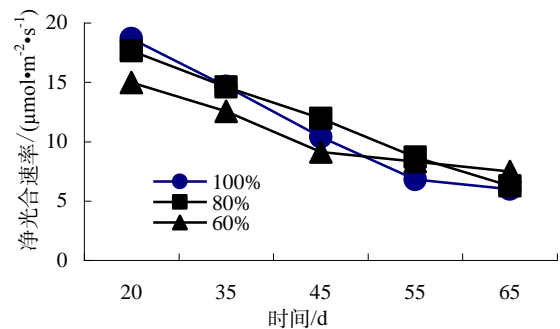
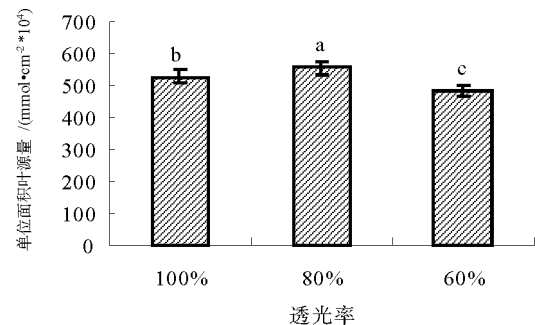


图 1 不同光照强度下白肋烟叶片光合速率的变化
Fig. 1 Variation of photosynthetic rate (Pn) of burley tobacco leaves under different light intensities



注: 小写字母不同表明处理间差异达到 5% 显著水平, 下同。

图 2 不同光照处理对单位面积叶源量的影响

Fig. 2 Effects of different light intensities on leaf source capacity per unit area

2.2 叶片蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度等光合参数值

由表 1 可以看出, 处理后烟叶生长整个过程中叶片的蒸腾速率 (Tr) 与气孔导度 (Gs) 整体均呈下降趋势, 但胞间 CO₂ 浓度 (Ci) 差异不大。处理间, 80% 透光率的蒸腾速率与气孔导度均高于对照与 60% 透光率, 而胞间 CO₂ 浓度均低于其他 2 个处理。整个测量期间, 80% 透光率的蒸腾速率与其他 2 个处理差异性较大, 而气孔导度与胞间 CO₂ 浓度差异性则较小。表明随着烟叶生育期的往后推进, 烟叶叶片的生理活性是逐渐降低的。同时说明在遮阴条件下, 叶片 Gs 的增大有利于 CO₂ 的供应和吸收, 同时加快了植物体内水分的运转速率, 叶肉细胞具有较强的生理活力。

表 1 各光照强度下白肋烟叶片光合参数值 均值 ± 标准差
Table 1 Effects of different light intensities on photosynthetic parameters of burley tobacco leaves

处理天数	光照强度	蒸腾速率	气孔导度	胞间 CO ₂ 浓度
20	100%	6.31b±0.75	0.65a±0.15	287.09b±12.48
	80%	6.94a±0.84	0.76a±0.13	281.84b±6.94
	60%	6.18b±1.42	0.42b±0.18	309.30a±23.91
35	100%	3.59b±1.33	0.33b±0.10	294.18b±18.96
	80%	4.35a±1.46	0.57a±0.22	279.08c±24.66
	60%	3.1b±0.83	0.17c±0.04	298.81a±8.98
45	100%	1.88b±0.34	0.19a±0.07	286.75c±9.37
	80%	2.49a±0.16	0.30a±0.05	289.96b±11.27
	60%	1.86b±0.31	0.20a±0.02	292.35a±12.37
55	100%	1.8b±0.25	0.23a±0.05	287.15b±27.8
	80%	2.05a±0.24	0.25a±0.06	279.89c±15.04
	60%	1.92ab±0.17	0.23a±0.03	296.33a±5.91
65	100%	1.53b±0.3	0.13b±0.05	268.35a±30.84
	80%	1.90a±0.31	0.18a±0.06	259.65c±26.64
	60%	1.62b±0.54	0.15ab±0.03	261.43b±24.69

注: 数字后小写字母不同表示处理间差异达到 5% 显著水平, 下表同。

表 2 不同光照处理对调制后烟样化学成分含量的影响

Table 2 Effects of different light intensities on chemical compositions of tobacco leaves after curing

等级	光照强度	总糖%	还原糖%	总氮%	烟碱%	钾%	水溶性氯%	pH
B2F	100%	1.80a	0.78a	4.21b	5.85b	5.31a	0.62a	6.32b
	80%	1.21b	0.56b	4.55a	5.49c	5.25a	0.42b	6.46a
	60%	1.16b	0.55b	4.61a	6.19a	4.81b	0.40b	6.48a
C3F	100%	1.65a	0.61a	4.08b	5.02c	4.97a	0.40a	6.28b
	80%	0.92b	0.41b	4.36a	5.45b	5.06a	0.34b	6.42a
	60%	0.73c	0.37b	3.94c	6.43a	4.15b	0.27c	6.30b

物、新植二烯含量及香味物质总量均以光强透过率 60% 处理最高, 光强透过率 80% 条件下的烟叶, 其苯丙氨酸降解产物、类胡萝卜素类降解产物和新植二烯含量均最低, 但是其类西柏烷类降解产物和香味物质总量 (不含新植二烯) 最高。说明适度的遮阴能促进烟叶中中性致香物质的合成, 增加烟叶的香气物质含量。

由不同处理调制后中部叶片的感官质量评价结果 (表 4) 可知, 对于不同光强处理的烟叶, 感官评吸质量总分表现为: 透光率 80% > 透光率 60% > 自然光 100%, 且透光率 80% 在丰满程度、浓劲协调、细腻度、刺激性和干净程度等方面的得分均大于透光率 60% 和透光率 100%, 而透光率 60% 则在劲头、浓劲协调方面的得分最低。表明一定程度的遮阴能明显改善烟叶的感官质量, 但过度遮阴会在劲头、浓劲协调方面影响烟叶的感官质量。

2.5 烟叶保护酶活性

处理 20 d 后测定不同透光率小区白肋烟叶片

2.3 调制后烟叶常规化学成分含量

从表 2 可以看出, 无论是中部叶还是上部叶, 100% 自然光照处理的总糖、还原糖与水溶性氯含量均最高, 60% 透光率则最低; 钾的含量也以透光率高的处理较高, 但总氮、烟碱及 pH 以透光率低的处理较高。说明光照强度直接影响烟株体内糖类的合成, 同时光照强度较大时能更好的促进烟株对土壤中水溶性氯、钾成分的吸收。

2.4 晾晒后烟样中性致香物质成分及感官质量

不同光照处理条件下白肋烟中性香味成分的含量见表 3。对于不同光强处理的烟叶, 美拉德反应产物、苯丙氨酸反应产物、类胡萝卜素类降解产

物、新植二烯含量及香味物质总量均以光强透过率 60% 处理最高, 光强透过率 80% 条件下的烟叶, 其苯丙氨酸降解产物、类胡萝卜素类降解产物和新植二烯含量均最低, 但是其类西柏烷类降解产物和香味物质总量 (不含新植二烯) 最高。说明适度的遮阴能促进烟叶中中性致香物质的合成, 增加烟叶的香气物质含量。

鲜样中非特异性过氧化物酶 (POD) 与超氧化物歧化酶 (SOD) 的活性 (图 3), 不难看出, 透光率 80% 的 POD 含量最高, 显著高于对照与透光率 60% 处理小区。SOD 也表现出相似的特征, 所不同的是前者透光率 60% 处理 POD 含量略低于 100% 自然光, 后者则相反。说明适度遮阴能有效防止烟株叶片发生膜脂过氧化, 延缓叶片衰老, 防止植株受到伤害。

3 讨论

烟草如同大多数植物一样, 其生长发育过程受很多环境因素的影响, 其中光照便是很重要的一个因素, 因为它几乎影响着烟草所有的生长发育阶段, 并通过光合作用为其提供能量^[1]。研究表明, 在遮阴前期, 光照起主要控制作用, 遮阴后的处理净光合速率较小; 而遮阴后期, 遮阴处理小区环境温度较低, 空气湿度与空气中 CO₂ 浓度相对较高, 叶片蒸腾速率与气孔导度增加, 因而净光合速率反

表3 不同光照处理对白肋烟主要中性致香成分物质含量的影响 $\mu\text{g/g}$

Table 3 Effects of different light intensities on contents of main neutral aroma constituents $\mu\text{g/g}$

指标	处理		
	100%	80%	60%
糠醛	12.37	14.79	15.89
糠醇	2.84	1.76	2.91
5-甲基糠醛	1.9	1.74	1.49
3,4-二甲基-2,5-呋喃二酮	0.79	0.17	0.76
2-乙酰吡咯	0.23	0.16	0.26
2-乙酰呋喃	0.32	0.33	0.33
美拉德反应产物	18.45	18.96	21.64
苯甲醇	6.79	4.6	6.95
苯甲醛	3.19	1.96	2.93
苯乙醇	12	9.94	22.05
苯乙醛	36.72	25.25	27.02
苯丙氨酸降解产物	58.69	41.74	58.95
茄酮	57.99	158.47	96.13
类西柏烷类降解产物	57.99	158.47	96.13
氧化异佛尔酮	0.1	-	-
6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.71	1.25	1.37
6-甲基-5-庚烯-2-醇	0.93	1.25	0.62
B-二氢大马酮	1.49	1.09	1.15
B-大马酮	18.59	19.49	20.36
香叶基丙酮	4.19	5.26	3.83
B-紫罗兰酮	0.71	0.65	0.46
二氢猕猴桃内酯	1.04	0.61	0.88
巨豆三烯酮1	4.39	3.79	4.8
巨豆三烯酮2	24.52	19.88	25.36
巨豆三烯酮3	3.84	3.04	3.98
3-羟基-B-二氢大马酮	1.62	1.84	1.34
巨豆三烯酮4	22.95	17.24	23.38
法尼基丙酮	9.54	10.03	10.31
螺岩兰草酮	0.36	0.64	0.51
芳樟醇	0.94	0.82	0.76
类胡萝卜素类降解产物	96.93	86.89	99.1
新植二烯	599.84	561.56	720.9
总量	1063.97	1173.68	1272.55
总量(不含新植二烯)	464.13	612.11	551.65

而高于对照 100%自然光照。同时遮荫降低了强光对烟叶的直接光伤害,减轻了其对光合机构的损伤,使光合能力和光合效率提高。本研究结果与秦舒浩

等^[7]所做的遮光处理对西葫芦幼苗形态特征及光合生理特性的影响、刘贤赵等^[8]所做的不同生长阶段遮荫对番茄光合作用影响研究结论相似,但与刘国顺等^[9]所做的光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响研究结果不同,原因可能是与测定光合参数的时间及烟草的品种不同有关^[10-12]。

不同作物、不同品种和不同处理均能导致光合能力的差异,张荣铎等^[6]提倡用叶源量(LSC)表示叶片光合面积、光合速率、光合时间的综合能力,认为它是综合比较和鉴定不同作物、不同品种和不同处理之间光合能力差异的极好指标。本研究兼顾到叶面积的大小不同也是影响叶源量的一个关键因素,因而引入了单位面积叶源量(PALSC)来表征不同光照处理之间光合能力之间的差异。80%透光率处理小区不仅 PALSC 最大,在生长前期(旺长期及之前)净光合速率(P_n)较大,后期(成熟期及以后) P_n 下降较快,有利于前期干物质的积累及后期的烟叶成熟落黄,综合验证了适度的遮荫有利于增强烟叶的光合能力,促进其内部干物质的形成。

本研究显示光照强度直接影响烟株体内糖类的合成和转化,同时光照强度较大时能更好的促进烟株对土壤中水溶性氯、钾成分的吸收。适度的遮荫有利于干物质的积累,提高烟叶生产产量与产值,但不能过度遮荫,否则反而会影响烟叶的产、质量,这与王瑞、秦舒浩等^[7,13]的研究结果相同。本实验还研究了不同光照对烟叶中性致香成分及感官质量的影响,表明采取遮荫的两个处理(透光率 80%、60%)均优于对照 100%自然光照,其原因可能是适度的遮荫改善了烟叶生长的微环境,而

表4 不同处理烟叶感官质量评价结果

Table 4 Sensory quality evaluation results of tobacco leaves in different treatment plots

处理	香气特性			烟气特性				口感特性			总分(90)
	香气特征(9)	丰满程度(9)	杂气(9)	浓度(9)	劲头(9)	浓劲协调(9)	细腻度(9)	刺激性(9)	干燥感(9)	干净程度(9)	
100%	6.2	5.9	6.0	6.4	6.7	6.6	6.3	6.2	6.3	6.2	62.5
80%	6.3	6.0	6.2	6.4	6.4	6.8	6.6	6.4	6.5	6.5	63.9
60%	6.3	5.9	6.2	6.3	6.4	6.5	6.4	6.2	6.5	6.3	62.7

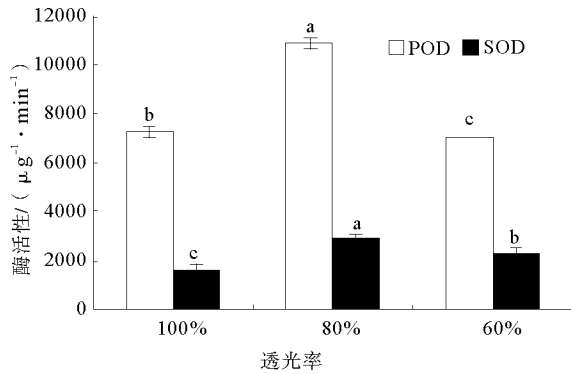


图3 不同光照对保护酶含量的影响

Fig. 3 Effects of different light intensities. on contents of protective enzymes

前人的研究也表明不同的生态环境与烟叶中中性致香成分、化学成分含量密切相关^[14]。

遮阴处理能提高烟株叶片中非特异性过氧化物酶与超氧化物歧化酶的含量,本实验中透光率80%处理上述二者的酶活性显著高于透光率60%与100%自然光照,说明对照对烟叶叶片已造成强光胁迫,而80%透光率有效减轻了这一胁迫,一定程度上防止了烟株叶片发生膜脂过氧化,延缓叶片衰老,防止植株受到伤害,这与张黎萍等^[15]在小麦上的研究结果相似。说明烟株本身对弱光胁迫具有一定的调节和适应能力,适度遮阴能提高烟叶对弱光的利用能力。但不能过度遮阴,否则也会影响烟叶的正常生长。

4 结 论

本研究结果表明,适度的光照能改善白肋烟的光合生理特性,在大田生长中前期提高其叶片的光合速率,有效增加烟叶的光合功能及提高叶片中保护酶含量。同时,在适度的光照条件下,烟叶中大部分中性致香成分含量更高,感官质量较好,部分化学成分指标相对较为协调。综合本研究分析结果,80%的光照条件下的烟叶品质更加良好,满足工业企业的配方要求。

参考文献

[1] 左天觉. 烟草的生产生理和生物化学[J]. 上海:上海远东出版社, 1993.
[2] 戴冕. 光环境对烟草叶片的若干生理生态影响[J]. 中

国烟草, 1985(1): 5-8.
[3] 肖金香, 王燕, 李晖, 何宽信, 等. 遮阳网覆盖对烤烟生长及产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 157-159.
[4] 杨兴有, 崔树毅, 刘国顺, 等. 弱光环境对烟草生长、生理特性和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 635-639.
[5] 江力, 曹树青, 戴新宾, 等. 光强对烟草光合作用的影响[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(4): 17-20.
[6] 张荣铤, 刘晓忠, 宣亚南, 等. 小麦叶片展开后光合碳同化能力—叶源量的估算[J]. 中国农业科学, 1997, 30(1): 84-91.
[7] 秦舒浩, 李玲玲. 遮光处理对西葫芦幼苗形态特征及光合生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 653-656.
[8] 刘贤赵, 康绍忠. 不同生长阶段遮荫对番茄光合作用、干物质分配与叶 N、P、K 的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2264-2271.
[9] 刘国顺, 乔新荣, 王芳, 等. 光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(9): 1833-1837.
[10] 刘国顺, 赵献章, 韦凤杰, 等. 旺长期遮光及光照转换对不同烟草品种光合效率的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2368-2377.
[11] 李潮海, 栾丽敏, 王群, 等. 苗期遮光及光照转换对不同玉米杂交种光合效率的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(3): 381-385.
[12] 顾少龙, 史宏志, 张国显, 等. 平顶山烟区主要种植烤烟品种光合生理特性研究[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 37-41.
[13] 王瑞, 刘国顺, 陈国华, 等. 光强对苗期烤烟光合作用及干物质生产的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2072-2077.
[14] 李东霞, 杨兴有, 刘国顺, 等. 遮阴对烤烟叶片结构和中性致香物质含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8449-8450, 8483.
[15] 张黎萍, 荆奇, 戴廷波, 等. 温度和光照强度对不同品质类型小麦旗叶光合特性和衰老的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 311-316.