

彩色遮阳网覆盖对菜心生长及光合特性的影响

闫秋艳^{1,2} 宋世威¹ 刘厚诚¹ 董飞² 孙光闻¹ 陈日远¹

1. 华南农业大学园艺学院, 广州 510642; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008

摘要 采用盆栽试验, 设红网(遮光率 45.0%)、蓝网(遮光率 51.1%)、银灰网(遮光率 47.2%)、黑网(遮光率 47.3%)等 4 种彩色遮阳网覆盖处理, 以不覆盖作为对照, 探讨彩色遮阳网覆盖对菜心生长及光合特性的影响。结果表明: 与对照不覆盖相比, 红网覆盖显著提高了菜心的株高、茎粗、全株鲜质量和叶面积, 蓝网、银灰网和黑网覆盖则降低了菜心的生长性状。4 种遮阳网覆盖均显著降低了菜心叶片的比叶质量, 但增加了叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素及类胡萝卜素含量, 其中黑网>红网>银灰网>蓝网>对照, 叶绿素 a/b 值均减小。在光照强度 0~2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 范围内, 菜心叶片的净光合速率(Pn)随光照强度的增加而升高, 各处理间表现为对照 \approx 红网>蓝网>银灰网>黑网。红网覆盖处理菜心的表观量子效率(AQY)较对照增加 1.1%, 蓝网、银灰网及黑网覆盖处理分别比对照降低 30.4%、44.0%和 54.2%。红网覆盖通过提高菜心的光合性能显著促进植株生长, 适合在生产上推广应用。

关键词 菜心; 彩色遮阳网; 生长; 光合特性

中图分类号 S 635.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)01-0044-05

南方地区夏季光照强、温度高、暴雨多, 露地种植叶菜类蔬菜较困难, 常采用遮阳网覆盖进行生产。现在生产中常用的遮阳网为黑色和银灰色 2 种。研究表明适度遮荫可提高蔬菜作物的产量和光合速率^[1-2]且能有效促进观赏植物生长及光合性能的提高^[3]。

近年, 一种新型的覆盖材料——彩色遮阳网(红色、蓝色、黄色、绿色等), 在国外的科研和生产上都得到了应用^[4]。彩色遮阳网除了具有普通遮阳网的功能外, 可特定地改变辐射光谱以提高作物的光合特性, 并且增加散射光而改善作物冠层的光照条件, 从而调节作物的生长发育。对光谱成分的研究表明, 红色网对波长 590 nm 以上的橙红、红光透射率较高, 蓝色网在蓝绿光区(波长 400~540 nm)出现透射高峰, 而吸收紫外光、红光以及远红光, 银灰网和黑网对各种波长的光谱透射率较均匀^[5]。选用适宜的彩色遮阳网覆盖, 可以延长作物的收获期、提高产量和产品品质, 从而提高经济效益^[6]。不同颜色遮阳网覆盖的作用效果不同, 例如与铝箔、蓝色和黑色遮阳网相比, 红色和珍珠色遮阳网覆盖显著提高了生菜和罗勒的产量; 与黑色遮阳网相比, 红色、黄

色和珍珠色遮阳网覆盖都显著提高了甜椒的产量^[7]。但不同颜色遮阳网覆盖如何影响作物的光合特性和形态特征, 以及这种影响是否会导致作物生长发育的差异, 还未见报道。

菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *Chinensis* (L.) var. *utilis* Tsen et Lee)又名菜薹, 是华南地区特产蔬菜, 其品质柔嫩、风味可口, 一年四季均可栽培, 在蔬菜生产和周年供应中占有重要地位。目前对于彩色遮阳网的研究主要集中在观赏植物上, 对蔬菜特别是叶菜类作物的研究较少^[4, 6-7]。笔者所在课题组已报道了彩色遮阳网覆盖的环境效应及其对菜心品质的影响^[8], 现进一步研究其对菜心生长状况及光合特性的影响, 以期从生理上揭示彩色遮阳网的性能及应用价值。

1 材料与方法

1.1 试验材料

红色、蓝色和银灰色遮阳网, 由以色列 Polysack 公司出品, 黑色遮阳网由市场购买。晴天中午 12:00 时多点实测, 在不覆盖、平均光照强度 1 329

收稿日期: 2010-03-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BADA6B07)、科技部星火计划项目(2008GA781001)、广东高校科技成果转化重大项目(cgzhzd0809)

闫秋艳, 硕士, 研究方向: 蔬菜生理生态. E-mail: yqy1983-1013@163.com

通讯作者: 陈日远, 教授, 博士生导师, 研究方向: 蔬菜生理生态与分子生物学. E-mail: rychen@scau.edu.cn

$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的情况下, 4 种遮阳网的遮光率为红网 45.0%、蓝网 51.1%、银灰网 47.2%、黑网 47.3%, 基本一致; 另外 4 种遮阳网覆盖下的温度和空气湿度也基本一致。以色列学者对同一公司生产的遮阳网光谱分析表明, 红色遮阳网主要透过大于 650 nm 的红光(包括透射光和散射光), 蓝色遮阳网主要透过 470 nm 左右的蓝光, 而银灰遮阳网和黑色遮阳网不改变可见光的波长^[9]。

1.2 试验方法

试验在华南农业大学蔬菜试验地进行, 采用盆栽方式进行。供试菜心品种为“油青 12 号早菜心”。2009 年 7 月 6 日育苗, 幼苗 3 叶 1 心时定植。每盆栽装 4 kg 水稻土, 定植 3 株, 定植后覆盖不同颜色遮阳网。试验设 5 个处理: 覆盖红网、蓝网、银灰网和黑网, 以不覆盖为对照。遮阳网做成 5 m × 1 m × 1 m 的箱体加以覆盖, 每处理间隔 1.2 m 以避免相互遮光。每 6 盆菜心放在一起作为 1 个重复, 每处理重复 3 次, 共计 18 盆。菜心的栽培管理按常规方法进行。

1.3 指标测定

当菜心达到齐口花标准时取样。用直尺测定株高, 用游标卡尺测定第 3~4 片真叶间的茎粗, 用 Li-3000A 型叶面积仪测定植株的总叶面积, 叶片的叶绿素含量采用丙酮乙醇混合液提取法测定^[10], 叶片的比叶质量(SLW)采用打孔叶圆片烘干的方法测定。

8 月 10 日晴朗无云, 在上午 9:00—12:00, 采用

Li-6400 便携式光合仪测定菜心的光合特性。选择 3 株长势一致、有代表性的菜心植株, 测定第 3 片功能叶的净光合速率(Pn)。用缓冲瓶控制 CO_2 摩尔分数约为 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, 叶室温度设定为 $(25 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 用仪器配备红蓝光源(Li6400-LED), 设定光合有效辐射强度(PAR)由高到低依次为 2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、800、600、400、200、150、100、50、20、10、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。用直线回归法求出 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光强以内的 Pn-PAR 响应曲线的初始斜率, 即为表观量子效率(AQY)。

2 结果与分析

2.1 彩色遮阳网覆盖对菜心生长的影响

与对照相比, 红网覆盖提高菜心株高 29.9% ($P < 0.05$)、茎粗 9.4% ($P < 0.05$) 及全株鲜质量 8.5%, 但未增加植株叶面积(表 1); 而银灰网、蓝网和黑网覆盖均使菜心株高、茎粗、全株鲜质量及叶面积显著降低, 其中银灰网降低程度最小, 蓝网次之, 黑网最大。说明夏季利用遮光率 50% 左右的银灰网、蓝网和黑网覆盖, 遮光强度过大, 不利于菜心生长; 而相同遮光率的红网覆盖则促进了菜心生长。

对照处理菜心叶片的比叶质量显著高于 4 个遮阳网覆盖的处理(表 1), 红网、蓝网、银灰网及黑网覆盖的比叶质量分别比对照降低 20.2%、25.0%、29.1% 和 38.7%, 红网、银灰网和蓝网处理间差异不显著, 但都显著高于黑网处理。

表 1 彩色遮阳网覆盖处理菜心的生长性状¹⁾

Table 1 Growth characteristics of flowering Chinese cabbage under color shading-nets treatments

| 处理 Treatment | 株高/cm Plant height | 茎粗/mm Stem diameter | 全株鲜质量/g Total fresh mass | 叶面积/cm ² Leaf area | 比叶质量/(mg/cm ²) Specific leaf mass |
|-----------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|
| 对照 Control | 21.1 ± 1.29 b | 9.57 ± 0.03 b | 28.1 ± 1.41 ab | 57.8 ± 2.97 a | 12.34 ± 0.03 a |
| 红网 Red-net | 27.4 ± 1.38 a | 10.47 ± 0.03 a | 30.5 ± 1.20 a | 59.2 ± 2.54 a | 9.85 ± 0.03 b |
| 蓝网 Blue-net | 14.1 ± 0.85 c | 7.30 ± 0.01 cd | 12.7 ± 0.77 c | 32.2 ± 2.36 c | 9.25 ± 0.01 b |
| 银灰网 Grey-net | 18.8 ± 0.95 b | 7.93 ± 0.02 c | 18.2 ± 1.00 bc | 46.1 ± 2.98 b | 8.75 ± 0.02 bc |
| 黑网 Black-net | 14.9 ± 1.15 c | 6.64 ± 0.02 d | 10.8 ± 0.50 c | 35.8 ± 0.94 c | 7.56 ± 0.01 c |

1) 表中同列数据不同字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著。Different letters in the column show significant difference at 0.05 level.

2.2 彩色遮阳网覆盖对菜心叶片色素含量的影响

遮阳网覆盖条件下, 菜心叶片的叶绿素含量均显著高于对照(图 1), 其中黑网覆盖显著高于其他 3 个处理, 红网、银灰网及蓝网覆盖处理间差异不显著。与对照相比, 4 种遮阳网覆盖处理菜心叶片的叶绿素 a/b 值都显著减小 ($P < 0.05$)。遮阳网覆盖对菜心叶片类胡萝卜素的影响与叶绿素一致。

2.3 彩色遮阳网覆盖对菜心光合特性的影响

在 PAR 0~2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的范围内, 各处理菜心叶片的 Pn 均随着 PAR 的增加而逐渐上

升(图 2)。在 PAR 小于 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的情况下, 各处理菜心的 Pn 相差不大, 当 PAR 大于 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 各处理菜心的 Pn 差异明显, 其中在 200~1 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 范围内, Pn 表现为对照 > 红网 > 蓝网 > 银灰网 > 黑网, 大于 1 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时红网覆盖的 Pn 开始高于对照, 但两者仍都明显高于其他 3 个处理。

对照处理菜心的光饱和点(LSP)为 1 740 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 红网为 1 675 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 银灰网为 1 670 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 蓝网为 1 575 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 黑

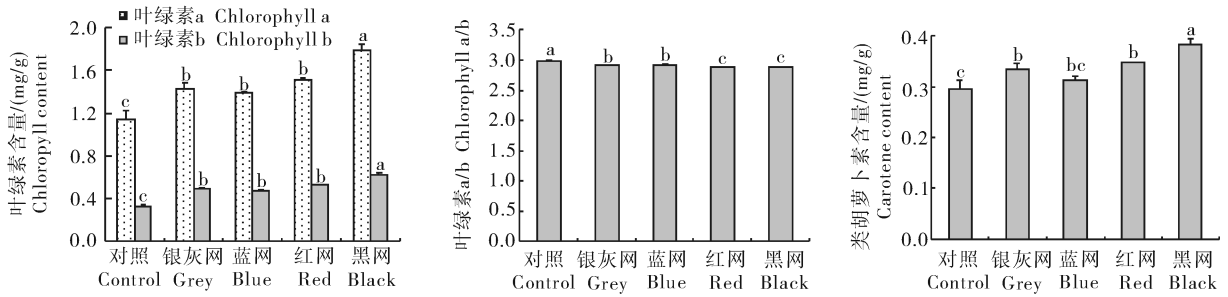


图 1 彩色遮阳网覆盖处理菜心叶片的色素含量

Fig. 1 Leaf pigment content of flowering Chinese cabbage under color shading-nets treatments

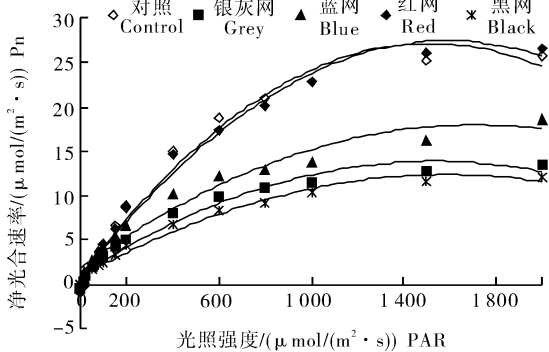


图 2 彩色遮阳网覆盖下菜心的 Pn

Fig. 2 Pn of flowering Chinese cabbage under color shading-nets

表 2 彩色遮阳网覆盖处理菜心的 Pn-PAR 及 AQY 拟合方程

Table 2 Pn-PAR and AQY fitting equation of flowering Chinese cabbage under color shading-nets treatments

| 处理 Treatment | Pn-PAR 拟合 Pn-PAR fitting | | AQY 拟合 AQY fitting | |
|-----------------|--|---------------------|------------------------|---------------------|
| | 方程 Equation | 决定系数 R ² | 方程 Equation | 决定系数 R ² |
| 对照 Control | $y = -1 \times 10^{-5} x^2 + 0.0348x + 0.8181$ | 0.9846 | $Y = 0.0461X - 0.2771$ | 0.9866 |
| 红网 Red-net | $y = -1 \times 10^{-5} x^2 + 0.0335x + 0.7878$ | 0.9874 | $Y = 0.0466X - 0.3744$ | 0.9940 |
| 蓝网 Blue-net | $y = -6 \times 10^{-6} x^2 + 0.0189x + 1.7774$ | 0.9615 | $Y = 0.0321X + 0.9477$ | 0.9477 |
| 银灰网 Grey-net | $y = -5 \times 10^{-6} x^2 + 0.0167x + 1.0828$ | 0.9697 | $Y = 0.0258X + 0.2811$ | 0.9540 |
| 黑网 Black-net | $y = -5 \times 10^{-6} x^2 + 0.0145x + 0.8518$ | 0.9823 | $Y = 0.0211X + 0.2699$ | 0.9839 |

3 讨论

与对照不覆盖相比,蓝网、银灰网及黑网覆盖都显著抑制了菜心的生长,表现为降低了植株的株高、茎粗、叶面积和全株鲜质量(表 1);并明显抑制了菜心的光合性能,表现为降低了植株的 Pn、LSP 和 AQY(图 2,表 2)。表明本试验中蓝色、银灰色及黑色遮阳网覆盖强度过大,对菜心造成了一定的弱光逆境,从而影响其正常的光合生理和生长发育。这与前人在罗布麻^[11]和辣椒^[12]上的研究结果一致。许多研究表明适度遮荫可提高蔬菜作物的光合性能和产量^[1-2]。本试验中的蓝网、银灰网及黑网覆盖生产菜心,需要降低其遮光强度,才会发挥其性能。

网只有 $1450 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。这表明几种颜色遮阳网覆盖都降低了菜心的光饱和点。

红网覆盖菜心的 AQY 较对照增加 1.1%,而蓝网、银灰网及黑网覆盖分别比对照降低 30.4%、44.0%和 54.2%(表 2)。这表明与其他 3 种颜色的遮阳网相比,红网覆盖显著提高了菜心对外界光强降低的适应能力,从而提高菜心 Pn。银灰网、蓝网和黑网覆盖使菜心叶片 AQY 明显低于红网处理,并且拟合方程的常数项为正值,表明这 3 种颜色遮阳网覆盖对菜心生长造成了一定的弱光逆境,使其对光能的利用能力大大降低。

与对照不覆盖相比,红色遮阳网覆盖促进了菜心的生长,表现为显著提高了菜心的株高和茎粗,叶面积和全株鲜质量也略有增加(表 1);其 Pn、LSP 和 AQY 等光合特性与对照处理基本相同(图 2,表 2)。相比其他颜色的遮阳网来说,红色遮阳网透过红橙光的比例大^[4]。由于红橙光具有高光合效能,在红色遮阳网遮光 45%的情况下,菜心仍能保持与不覆盖处理相同的 Pn 和 AQY,并显著高于其他 3 种颜色遮阳网覆盖处理。日光温室内补充红光(与蓝光相比)的黄瓜叶片光合速率较高,促进了其光合产物的积累^[13]。相对于黑色遮阳网来说,红色、黄色和珍珠色遮阳网覆盖显著提高甜椒的产量,推测是由于彩色遮阳网改变了光质或者增加了散射

光比例的原因^[4]。

本研究表明,相对于其他 3 种遮阳网来说,菜心在红色遮阳网覆盖下是通过提高光合性能来促进生长的。红色遮阳网具有良好的光利用效率和生产性能,值得在生产中推广应用。继续开展不同遮光率的红色遮阳网覆盖对菜心等作物光合特性和生长性状等的影响,可深入了解其性能并拓展其应用范围。

我们前期的研究^[8]表明,遮阳网覆盖降低了菜心的品质,如可溶性糖、可溶性蛋白和维生素 C 含量,是由于遮阳网覆盖的弱光环境影响了植株光合产物的积累和氮素代谢;但相比其他 3 种遮阳网,红网覆盖下菜心品质的降低程度最小,表现出一定的优势。

本试验 4 种遮阳网覆盖,均提高了菜心产品的硝酸盐含量(数据未列出),与前人在白菜上的结果相同^[14-15]。相比其他 3 种遮阳网,红网覆盖下菜心的硝酸盐含量最低,表现出较高的氮素同化能力而具有较高的应用价值。与此类似,菠菜在红光处理下(与白光相比)显著地降低硝酸盐和草酸含量,而提高产品品质^[16]。红光处理提高了作物对氮素的同化效率,可能是降低作物硝酸盐积累的生理机制。

比叶质量是判断叶片厚度的重要指标之一^[17]。本试验中遮阳网覆盖均使菜心叶片比叶质量降低,即叶片变薄,这与前人在节瓜^[2]、辣椒^[12]和番茄^[18]等作物上的研究结果一致。弱光下植株将有限的同化产物用于维持叶面积的正常大小,以保证吸收足够的光能进行正常的光合作用,从而降低了叶片厚度。4 种遮阳网覆盖都显著提高了菜心的叶绿素含量,且叶绿素 b 比叶绿素 a 更加明显(图 1),这与杨晓益等^[17]的结果一致。遮荫环境下菜心叶片中叶绿素含量的增加,特别是叶绿素 b 含量的增加,有利于提高叶绿体的捕光能力,增强其对弱光的利用率。4 个覆盖处理中,除黑色遮阳网覆盖下菜心的叶绿素含量最高、比叶质量最小外,其他 3 个处理下菜心的叶绿素含量和比叶质量没有差异。说明红色遮阳网处理下菜心保持高的光合性能,不是由于提高了叶片的叶绿素含量或改变了叶片结构的原因。但蓝色、银灰色和黑色遮阳网覆盖下,是否破坏了菜心叶片的叶绿体结构,进而影响其光合性能,还需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] 陈银华,蒋健箴.光照强度对辣椒光合特性与生长发育的影响[J].上海农业学报,1998,14(3):46-50.
- [2] 刘厚诚,雷雨,陈日远.遮光处理对节瓜光合作用特性的影响[J].植物资源与环境学报,2005,14(3):33-36.
- [3] 王瑞,丁爱萍,杜林峰,等.遮荫对 12 种阴生园林植物光合特性的影响[J].华中农业大学学报,2010,29(3):369-374.
- [4] SHAHAK Y, GAL E, OFFIR Y, et al. Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops[J]. Acta Horticulturae, 2008, 797: 75-80.
- [5] RAJAPAKSE N C, SHAHAK Y. Light quality manipulation by horticulture industry [G]// WHITELAM G, HALLIDAY K. Light and plant development. UK: Blackwell Publishing, 2007: 290-312.
- [6] SHAHAK Y, GUSSAKOVSKY E E, GAL E, et al. Color nets: crop protection and light-quality manipulation in one technology [J]. Acta Horticulturae, 2004, 659: 143-151.
- [7] SHAHAK Y. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops: a review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel [J]. Acta Horticulturae, 2008, 770: 161-168.
- [8] YAN Q Y, LIU H C, CHEN R Y, et al. Effects of different shading-net on growth and quality of flowering Chinese cabbage [C]// International Society for Horticultural Science. The 6th International Symposium on Light in Horticulture. Tsukuba, Japan: [s. n.], 2009.
- [9] OREN-SHAMIR M, GUSSAKOVSKY E E, SHPIEGEL E, et al. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum* [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2001, 76 (3): 353-361.
- [10] 张宪政.植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J].辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [11] 张永霞,李国旗,张琦,等.不同遮荫条件下罗布麻光合特性的初步研究[J].西北植物学报,2007,27(12):2555-2558.
- [12] 睦晓蕾,张宝玺,张振贤,等.弱光条件下不同基因型辣椒幼苗光合与生长的差异[J].农业工程学报,2005,21(s2):41-44.
- [13] 王绍辉,孔云,程继鸿,等.补充单色光对日光温室黄瓜光合特性及光合产物分配的影响[J].农业工程学报,2008,24(9):203-206.
- [14] 高丽红,凌丽娟,刘京琳,等.遮阳网覆盖对夏白菜产量与品质的影响[J].中国蔬菜,1996(6):11-15.
- [15] 牟建梅,储海苹,刘凤军,等.遮阳网覆盖对夏白菜产量和硝酸盐含量的影响[J].江苏农业科学,2009(5):167-168.
- [16] 齐连东,刘世琦,许莉,等.光质对菠菜草酸,单宁及硝酸盐积累效应的影响[J].农业工程学报,2007,23(4):201-205.
- [17] 杨晓益,杨伟红,郭晋平,等.遮荫对温室盆栽茶梅光合特性及

生长发育的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 640-643. [18] 侯兴亮, 李景富. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(2): 123-127.

Effects of color shading-nets on the growth and photosynthetic characteristics of flowering Chinese cabbage

YAN Qiu-yan¹ SONG Shi-wei¹ LIU Hou-cheng¹
DONG Fei² SUN Guang-wen¹ CHEN Ri-yuan¹

1. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Abstract The effects of 4 color shading-nets (red: shading rate 45.0%, blue: shading rate 51.1%, grey: shading rate 47.2%, black: shading rate 47.3%) on plant growth and photosynthetic characteristics of flowering Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* (L.) var. *utilis* Tsen et Lee) were studied. The results showed that red-net covering increased plant height, stem diameter, total plant fresh mass and leaf area of flowering Chinese cabbage significantly, while blue, grey and black net covering decreased plant growth characteristics comparing with the control (no shading). The 4 shading nets covering significantly reduced plant specific leaf mass, while the contents of chlorophyll a, b, total chlorophyll and carotene were increased with the tendency black net > red net > grey net > blue net > control. The ratio of chlorophyll a/b was decreased by shading treatments compared with the control. In the light density range of 0-2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, net photosynthetic rate (Pn) of flowering Chinese cabbage leaf increased steadily with the increase of light density, and the Pn value among treatments showed control \approx red net > blue net > grey net > black net. Apparent quantum yield (AQY) of flowering Chinese cabbage in red-net shading treatment increased by 1.1%, compared with the control, but decreased by 30.3%, 44.0% and 54.2% in blue, grey and black net shading treatments, respectively. Red-net shading could promote plant growth of flowering Chinese cabbage significantly by improving its photosynthetic performance, indicating that it was suitable for popularization and application.

Key words flowering Chinese cabbage; color shading-nets; growth; photosynthetic characteristics

(责任编辑: 张志钰)