

不同颜色透光膜对杨梅光合特性和果实品质的影响

梁森苗, 朱婷婷, 张淑文, 郑锡良, 戚行江*

(浙江省农业科学院园艺研究所, 杭州 310021)

摘要:【目的】探究不同颜色透光膜对杨梅叶片光合特性和果实品质的影响。【方法】以‘东魁’杨梅为试验材料, 设置覆盖红色、蓝色、黄色、绿色、白色等透光膜以及露地栽培等6种处理, 测定透光膜的光谱透射比、棚内与露地杨梅叶片光合特性和果实品质等相关指标, 利用主成分分析法对不同颜色透光膜的作用进行综合评价。【结果】绿膜和黄膜处理的净光合速率显著高于对照, 红膜处理的叶片中N、P、K含量以及果实中多酚含量最高, 蓝膜处理的果实单果质量、纵径和横径最大, 果实可滴定酸含量最低, 黄膜处理的可溶性固形物含量、可溶性糖含量、糖酸比最高, 绿膜处理的黄酮含量最高。同时根据主成分分析法得出不同处理的排名顺序为: 蓝色、红色、绿色、黄色、对照、白色透光膜。【结论】蓝色和红色透光膜覆盖有利于提高叶片对矿质元素的吸收以及果实品质的提升, 适合运用在杨梅的设施栽培中, 同时为优质高效生产提供可靠的技术支撑。

关键词:杨梅; 透光膜; 光合特性; 品质; 综合评价

中图分类号:S667.6

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2019)08-1049-09

Effects of transparent film of different colors on photosynthetic characteristics and fruit quality in Chinese bayberry

LIANG Senmiao, ZHU Tingting, ZHANG Shuwen, ZHENG Xiliang, QI Xingjiang*

(Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang, China)

Abstract:【Objective】Light affects many processes of plants including morphogenesis, growth and development, metabolism and nutritional quality of fruit. Construction of transparent film shed above fruit trees can affect mineral absorption and fruit quality through its effects on light quality and the temperature and humidity within the shed. This experiment explored the effects of transparent films of different colors on the photosynthetic characteristics and fruit quality of Chinese bayberry. Comprehensive evaluation was carried out by calculating the comprehensive score of the main components in order to find out the film suitable for high-quality production of Chinese bayberry.【Methods】Six treatments including red, blue, yellow, green and white transparent filming and open-field (CK) groups were set up, and the spectral transmittance, photosynthetic characteristics of leaves and fruit quality of Chinese bayberry were measured. The data of seventeen related parameters such as light intensity, net photosynthetic rate, intercellular CO₂, transpiration rate, water content, N, P, K, single fruit weight, length, width, soluble solids, soluble sugars, titratable acids, sugar-acid ratio, contents of flavonoids and polyphenols were standardized, and the effects of different color transparent films were evaluated by principal component analysis.【Results】The spectral transmittance of different color transparent films varied greatly from 380 to 780 nm. The visible light transmittance of white film was the highest, while that of red film the lowest. The light intensity in the film shed decreased significantly after covering with colored transpar-

收稿日期:2019-01-30

接受日期:2019-04-17

基金项目:浙江省重点研发计划项目(2018C02011);浙江省农业(果品)新品种选育重大科技专项(2016C02052-2);浙江省农业重大技术协同推广计划(2018XTTGSG02)

作者简介:梁森苗,男,硕士,研究员,从事杨梅育种与栽培技术研究。Tel:0571-86404021, E-mail:Liangsm78@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:0571-86404568, E-mail:qixj@mail.zas.ac.cn

ent films, and the order from high to low was CK > yellow > green > red > blue > white. The intercellular CO₂ concentration in the leaves in white and red transparent film sheds were significantly higher than in CK. The transpiration rate of leaves under the yellow transparent film was the highest, and the net photosynthetic rate under the yellow and green transparent films was significantly higher than CK. After covering the colored transparent film, leaf water content increased. The contents of N, P and K in the leaves treated under the red film and the content of polyphenol in the fruit were the highest. The single fruit weight and fruit length and width under the treatment with blue film were the highest, and the titratable acid content of fruit was the lowest. The soluble solid content, soluble sugars and sugar-acid ratio in fruit treated with yellow film and the flavonoid content in fruit treated with green film were the highest. Based on the result of principal component analysis, 5 factors were extracted from the converted data matrix with their cumulative contribution approximated to 100%, and the eigenvalue of the 5 factors ranged from 1.637 to 6.464. The first factor was fruit quality factor, with variance contribution of 38.024%. The second factor was photosynthesis factors, with variance contribution of 25.707%. The third factor was sugar factor, with variance contribution of 16.496%. The fourth factor was fruit nutrition factor, with variance contribution of 10.146%. The synthetical score of the 6 treatments in descending order was blue > red > green > yellow > CK > white. 【Conclusion】The comprehensive scores of blue and red transparent film treatments ranked the first and the second, respectively, which improved the absorption of minerals and fruit quality. They can be used in facility cultivation of Chinese bayberry for high quality and efficiency production.

Key words: Chinese bayberry; Transparent film; Photosynthetic characteristics; Quality; Comprehensive evaluation

杨梅 (*Myrica rubra* Sieb.& Zucc) 为杨梅科 (Myricaceae) 杨梅属 (*Myrica* L.) 植物, 多年生常绿乔木, 树形优美。其果实发育期处在春夏之际, 气候变化快, 果实品质易受阳光或雨水影响。其中光作为植物生长所必需的环境因子, 可通过光强度、光周期、光质三个方面影响植物生长发育^[1]。光质是植物生长发育的重要影响因子之一, 参与果实发育的许多过程, 不同波段的光作用于不同的生理过程, 对作物形态建成、生长发育、生理代谢、营养品质等都有重要的调节作用^[2]。随着设施园艺的不断发展, 光质调控在设施蔬菜生产或果树中的应用日益广泛^[3], 研究中多使用 LED 作为光源^[4], 但杨梅生长期较长, 树体较为高大, 同时 LED 高昂的价格以及电能的消耗限制了其在杨梅设施栽培上的应用。有研究表明, 透光棚可以通过调控棚内光质、温湿度等来调节果实发育, 从而影响果实品质相关的因子, 包括单果质量、可滴定酸含量、可溶性糖含量、糖酸比等^[5-6]。与此同时, 光质还影响植物对矿质元素的吸收和分配。

评价透光棚对杨梅植株和果实的影响时, 很难

将多个指标全部纳入考察范围, 而主成分分析可通过降维, 将多个变量变为少数几个相互独立的新变量, 简化评价指标, 再根据各样品的主成分得分进行综合评价, 使得评价结果更加客观、合理^[7]。因此, 笔者通过搭建彩色透光膜覆盖的大棚调节透射光的光谱, 改变棚内杨梅果实生长的光环境, 研究不同颜色透光膜覆盖对植株光合特性和品质的影响, 同时对棚内各指标进行综合评价, 计算主成分的综合得分, 旨在筛选适宜杨梅高效优质生产的专用棚膜, 改善传统的栽培方式, 为高效安全生产提供理论依据和技术指导。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于浙江省临海市弘宝杨梅基地进行, 供试验杨梅品种为‘东魁’。共设置 6 个处理, 分别为对照(露地)、红膜、蓝膜、黄膜、绿膜和白膜。在坡度较小的山坡上搭建 2 株杨梅树为一组的棚架, 采用钢管和脚手架的方式搭建, 棚架高 6 m, 宽 7~8 m, 长 11 m。棚架顶部为弓形, 并分别覆盖红色、蓝色、黄

色、绿色、白色等5种颜色的透光膜(化纤材料,厚度约0.08 mm),四周围绕白色防虫网。透光膜和白色防虫网同时在杨梅果实转白期进行覆盖,对照不覆盖透光膜。每个处理为2个棚架,共4株。各处理树势、树龄和栽培管理措施基本一致。2018年6月于‘东魁’杨梅成熟期进行了光照强度与树体光合速率等数据的测定;采集不同处理组的叶片各75枚,用于叶片含水量及大量元素的测定;于每株试验树的东、西、南、北、中五个方位随机采25个果实(约500 g),每个处理4株,共100个果实,用于后续果实品质的测定。

1.2 测定方法

透光膜的透射光谱测定采用Lambda 950紫外可见分光光度计;LX1010B数字照度计测光照强度;LCi-SD便携式光合仪测定叶片的胞间CO₂浓度、净光合速率和蒸腾速率;采集上、中、下3个部位的不同方向的叶片,各部位选取25片叶子组成混合样本,测定叶片含水量及叶片N、P、K含量^[8]。

果实样品采集后,当天带回实验室,将同一处理的样品混合,用电子天平随机称取10个不同果实的质量,并计算得出单果质量,重复测量10次,下同;用电子数显游标卡尺测定其果实的纵径和横径;参考GB 12295-90标准^[9],采用PAL-1手持糖度计测定可溶性固形物。可滴定酸参考GB/T 12456-2008标准^[10],用NaOH滴定法,重复测定3次,下同。可溶性糖测定依据GB/T 5009.8-2009进行^[11],采用蒽酮比色法进行测定,样品吸光值使用紫外-可见光分光光度计(日本东京HITACHI U-0080D)测定。糖酸比=可溶性糖/可滴定酸。总多酚和总黄酮含量采用紫外吸收法^[12]。试验所用试剂均购自上海生工生物。

1.3 数据处理

试验数据采用Excel 2003软件处理并作图,采用SPSS.21软件进行单因素方差分析,T-test进行差异显著性检验。在主成分分析前,使用标准化法进行数据的无量纲化,使用软件SPSS.21对标准化的数据进行因子分析,得到各处理的主成分分值F_{jn},以公因子贡献率为权重,计算样品特征根>1的公因子分值与相应权重之积的累加和,得到综合分值F_综= $\sum F_{jn} \times E_j$,F_综为因子分析法得到的各处理的综合分值;F_{jn}为第n个样品第j个特征根>1的公因子的分值;E_j为第j个公因子的方差贡献率^[13]。

2 结果与分析

2.1 不同颜色棚膜的光谱透射比分析

表1和图1是不同透光膜的透射光谱,在一定波长范围内,试验所用透光膜均能透过各种波长的光,只是各种波长的光的透射率不同。不同颜色透光膜的透射光谱在380~780 nm波段有较大差异,白膜的可见光透射比最高,红膜的可见光透射比最低。除白膜外,蓝膜对于紫光(380~460 nm)和蓝光波段(460~520 nm)的透射比较高,对于橙光(610~690 nm)和红光(690~780 nm)的透射比较低;相反红膜对于橙光和红光波段的透射比较高,对于蓝光和绿光波段(520~610 nm)的透射比较低;绿膜对于绿光的透射比较高,黄膜对于黄光(波长介于绿光与橙光)的透射比较高。

表1 不同颜色透光膜的可见光透射比

Table 1 Visible light transmittance of transparent films with different colors

处理 Treatment	可见光透射比 Visible light transmittance/%
蓝色 Blue	43.8
绿色 Green	48.6
黄色 Yellow	54.2
红色 Red	21.4
白色 White	58.4

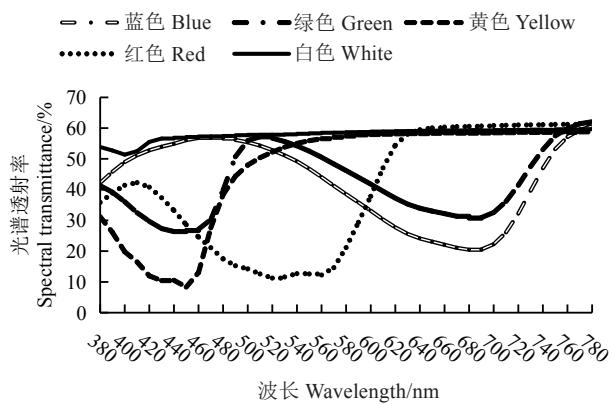
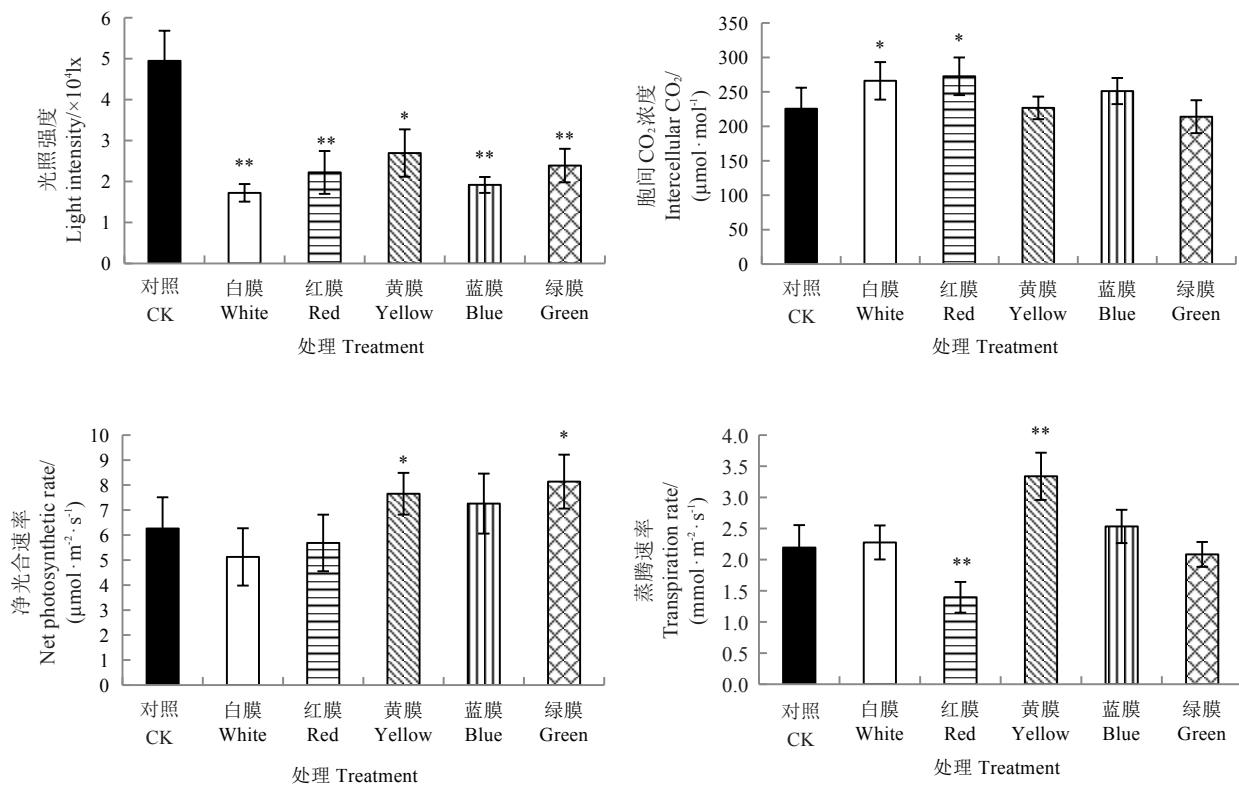


图1 不同颜色透光膜的光谱透射比

Fig. 1 Spectral transmittance of different colored transparent films

2.2 不同颜色透光膜棚内对光照强度与叶片光合作用的影响

如图2所示,覆盖不同颜色透光膜后棚内光照强度均显著下降,由高到低依次是对照>黄膜>绿膜>红膜>蓝膜>白膜。白色和红色透光棚内叶片胞间CO₂浓度显著高于对照;黄色透光棚内叶片蒸腾速



**表示在 0.01 水平的显著相关; * 表示在 0.05 水平的显著相关。下同。

** stands for the significant level $p < 0.01$; * stands for the significant level $p < 0.05$. The same below.

图 2 不同颜色透光棚内的光照强度与光合作用

Fig. 2 Light intensity and photosynthesis in different colored transparent films

率极显著性高于对照,而红色透光棚内叶片蒸腾速率极显著性低于对照;黄色和绿色透光棚内叶片净光合速率显著高于对照,且绿色透光棚内叶片净光合速率最高。

2.3 不同颜色透光膜棚对叶片的含水量及大量元素的影响

如图3所示,红色和绿色透光棚内叶片含水量极显著性高于对照,黄色和蓝色透光棚内叶片含水量显著性高于对照;红色透光膜棚内叶片N含量极显著性高于对照;红色和蓝色透光膜棚内叶片P含量极显著性高于对照,白色和黄色透光膜棚内叶片P含量显著性高于对照;红色和黄色透光膜棚内叶片K含量极显著性高于对照,白色和绿色透光膜棚内叶片K含量极显著性低于对照。

2.4 不同颜色透光膜棚对果实品质的影响

由表2可知,不同颜色透光棚内的杨梅果实品质存在差异,蓝色透光棚内的单果质量极显著性高于对照,果实纵径与横径显著性高于对照;白色透光棚内的单果质量极显著性低于对照,果实纵径与横

径显著性低于对照。果实可溶性固形物含量黄色透光棚显著高于对照,白色和红色透光棚显著低于对照,蓝色和绿色透光棚则极显著性低于对照。果实可溶性糖含量黄色透光棚极显著性高于对照,红色透光棚显著性高于对照。果实可滴定酸含量红色、蓝色和绿色透光棚均显著性低于对照。红色和黄色透光棚内果实糖酸比极显著性高于对照,蓝色和绿色透光棚显著性高于对照。红色透光棚果实多酚含量与对照相比极显著性升高,绿色透光棚与对照相比显著性升高。绿色透光棚果实黄酮含量与对照相比显著性升高,白色、红色和蓝色透光棚内黄酮含量与对照相比均极显著性降低。

2.5 不同颜色透光膜的综合评价

将不同颜色透光棚内光照强度、叶片的净光合速率、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率、含水量、N、P、K 含量、果实的单果质量、纵径、横径、可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸、糖酸比、黄酮、多酚含量等17个相关性状进行数据的标准化,采用 SPSS 21 软件中降维模块的因子分析功能,对6种处理(5种颜色透

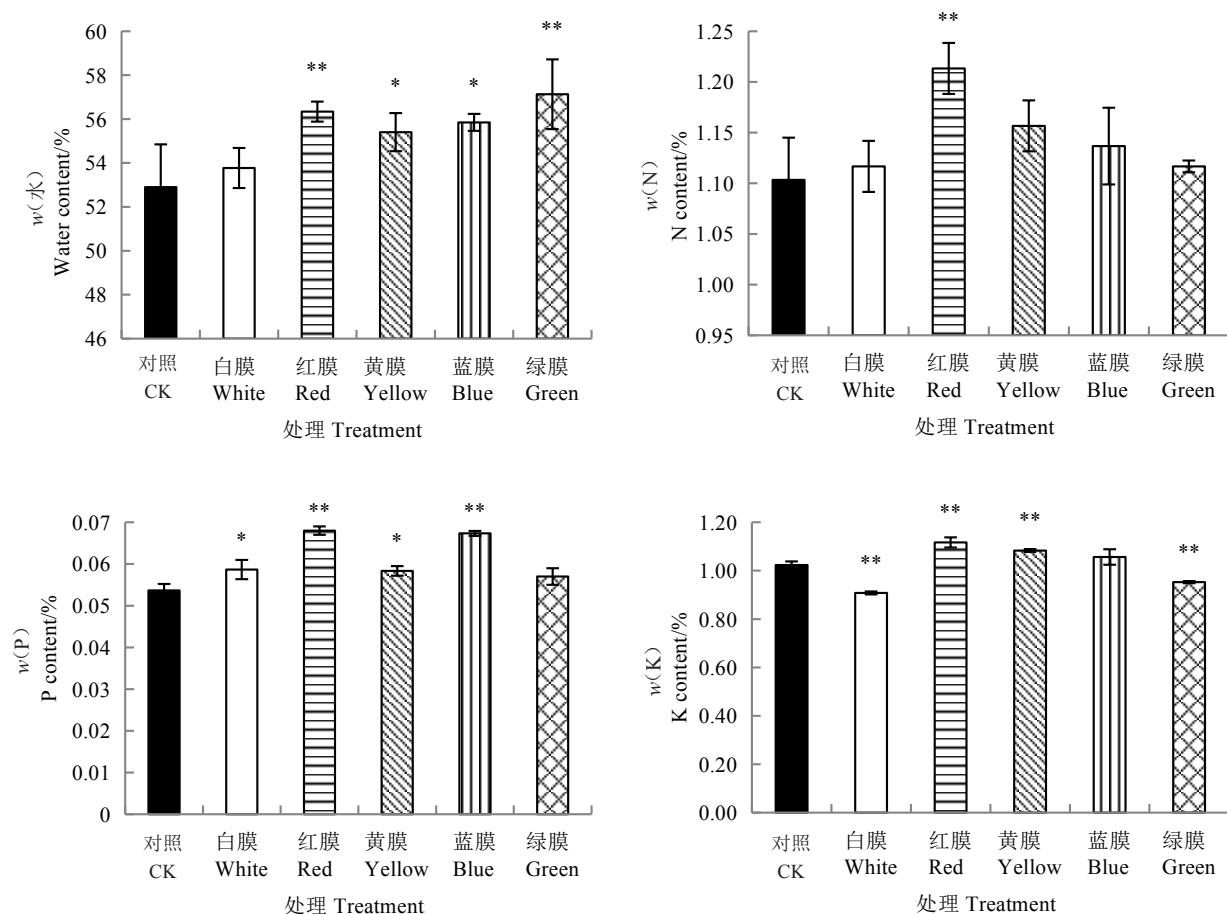


图3 不同颜色透光棚内叶片的含水量及各元素含量

Fig. 3 Water content and contents of various elements in leaves under different colored transparent films

表2 不同颜色透光膜对果实品质的影响

Table 2 Effect of different colored transparent films on fruit quality

性状 Trait	对照 CK	白膜 White	红膜 Red	黄膜 Yellow	蓝膜 Blue	绿膜 Green
单果质量 Single fruit mass/g	18.52±1.25	16.72±1.70 **	18.87±1.63	19.43±2.00	21.51±1.81 **	19.37±1.30
纵径 Length diameter/mm	31.29±1.42	30.01±1.48 *	32.07±1.34	31.32±1.03	32.78±1.33 *	31.85±0.97
横径 Width diameter/mm	31.70±1.48	30.24±1.26 *	31.46±1.05	31.09±1.48	33.12±1.31 *	31.34±1.09
w(可溶性固形物) Soluble solids/%	12.04±0.85	11.22±0.88 *	11.20±0.79 *	12.73±0.34 *	10.61±0.38 **	10.58±0.53 **
w(可溶性糖) Soluble sugars/%	7.67±0.23	7.52±0.82	8.79±0.49 *	10.53±0.84 **	8.14±0.44	7.91±0.32
w(可滴定酸) Titratable acids/%	1.10±0.04	1.12±0.04	0.90±0.06 *	0.93±0.02	0.88±0.04 *	0.92±0.03 *
糖酸比 Acid-sugar ratio	6.99±0.14	6.71±0.92	9.83±1.11 **	11.35±1.03 **	9.28±0.41 *	8.62±0.63 *
w(多酚) Polyphenol content/(mg·g ⁻¹)	2.03±0.08	2.17±0.06	2.64±0.11 **	1.93±0.13	2.14±0.05	2.32±0.15 *
w(黄酮) Flavone content/(mg·g ⁻¹)	3.11±0.10	1.83±0.22 **	2.56±0.10 **	2.73±0.25	2.14±0.25 **	3.45±0.14 *

注:**表示在 0.01 水平的显著相关;*表示在 0.05 水平的显著相关。

Note: ** stands for the significant difference at $p < 0.01$; * stands for the significant difference at $p < 0.05$.

光膜+对照)的17个性状开展了主成分分析,结果如表3所示,共提取到5个主成分,累积贡献率达100%,主成分特征值分布范围:1.637~6.464。同时计算得出了5个主成分的因子载荷矩阵(表4),第1主成分的方差贡献率为38.024%,具有较大载荷值的性状为:单果质量、纵径、横径、可滴定酸、糖酸比等果实品质因子。第2主成分的方差贡献率为25.707%,其中,叶片净光合速率和蒸腾速率等性状具有较大的载荷值,为叶片光合作用因子。第3主成分的方差贡献率为16.496%,具有较大载荷值的性状为可溶性固体物和可溶性糖,为糖分因子。第

表3 叶片性状与果实品质评价因子的特征值和方差贡献率

Table 3 Eigenvalue and contribution rates of leaf traits and fruit quality evaluation factors

主成分 Factor	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累积方差贡献率 Total contribution rate/%
1	6.464	38.024	38.024
2	4.370	25.707	63.732
3	2.804	16.496	80.227
4	1.725	10.146	90.373
5	1.637	9.627	100.000

表4 主成分在不同性状上的因子载荷矩阵

Table 4 Rotated component matrix of the principle components

性状 Trait	主成分 Factors				
	1	2	3	4	5
单果质量 Single fruit mass	0.809	0.341	-0.292	-0.268	0.271
纵径 Length diameter	0.875	0.097	-0.374	0.034	0.291
横径 Width diameter	0.626	0.151	-0.428	-0.229	0.592
可溶性固体物 Soluble solids	-0.251	0.559	0.739	0.219	0.173
可滴定酸 Titratable acids	0.981	0.086	-0.076	-0.011	-0.155
可溶性糖 Soluble sugars	0.489	0.449	0.725	0.058	-0.173
糖酸比 Acid-sugar ratio	0.804	0.321	0.464	0.026	-0.184
多酚含量 Polyphenol content	0.383	-0.745	-0.174	0.486	-0.182
黄酮含量 Flavone content	0.076	0.593	-0.411	0.663	-0.185
光照强度 Light intensity	-0.383	0.528	-0.108	0.521	0.539
胞间CO ₂ 浓度 Intercellular CO ₂	0.089	-0.892	0.365	-0.155	0.196
蒸腾速率 Transpiration rate	-0.036	0.733	0.375	-0.562	-0.077
净光合速率 Net photosynthetic rate	0.484	0.742	-0.332	-0.105	-0.307
含水量 Water content	0.808	-0.066	-0.224	0.067	-0.537
N含量 N content	0.675	-0.401	0.516	0.341	-0.017
P含量 P content	0.754	-0.592	0.119	-0.196	0.171
K含量 K content	0.723	0.118	0.421	0.301	0.442

4主成分的方差贡献率为10.146%,具有较大载荷值的性状为黄酮和多酚含量,为营养因子。第5主成分的方差贡献率为9.627%,它在每个性状上的载荷值都不突出,但是具有增加综合模型的信息表达量的作用。

以5个主成分和以每个主成分所对应的特征值占总的特征值的比例为权重,建立主成分得分模型: $F_{\text{综}} = 0.380F_1 + 0.257F_2 + 0.165F_3 + 0.101F_4 + 0.096F_5$,每个处理的综合得分如表5所示,不同处理的排名顺序为:蓝色、红色、绿色、黄色、对照、白色透光膜。

表5 不同颜色透光膜的综合评价

Table 5 Ranking of different colored transparent films

处理 Treatment	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F _综	排名 Ranking
蓝膜 Blue	1.706	-0.428	-0.811	-0.533	0.361	0.385	1
红膜 Red	0.038	1.017	-0.536	1.687	0.006	0.358	2
绿膜 Green	-0.066	-0.657	1.502	0.376	1.155	0.203	3
黄膜 Yellow	-0.384	1.499	0.322	-1.287	0.109	0.173	4
对照 CK	0.095	-0.513	0.651	0.027	-1.863	-0.164	5
白膜 White	-1.388	-0.917	-1.128	-0.269	0.231	-0.954	6

3 讨 论

测得的光谱数据表明该试验所用不同颜色棚膜所透射的光谱组成比例差异较大,不同棚膜对不同波长的光的透射比不同。以叶片光合特性与果实品质为指标,对透光膜进行研究,有利于从光合生理的角度科学地改善棚内的光质环境,提高果实品质。叶片是植物的重要器官,张瑞华等^[14]发现绿光处理下生姜光合速率最高,本研究发现黄色和绿色透光膜棚内叶片净光合速率与对照相比均有显著提高,而黄光和绿光均在绿光波段有较高的透射比,说明绿光波段有利于提高杨梅的净光合速率。矿质元素是植物的重要营养功能成分,其含量和种类直接影响植物的生长代谢,叶片N、P、K等元素与果实部分营养元素间存在显著的相关性^[15]。田发明等^[16]研究发现红膜和蓝膜可增加甜椒茎和叶片中N的分配率,蓝膜提高叶片中P和K的分配率。本研究结果与之相似,与对照相比,红膜处理后叶片中的N、P、K含量均极显著提高,蓝膜处理的叶片中P含量和黄膜处理后叶片中的K含量也极显著提高。

在果实品质方面,不同颜色透光膜覆盖改变了植物生长发育的光环境进而影响了植物的品质。不

同植物材料间,光质对同一性状的影响存在差异,例不同颜色薄膜覆盖均对桃的单果质量无显著影响^[17],高红光透过量的滤光膜套袋中的梨果实干质量较大^[5],而本研究结果表明蓝色透光膜覆盖处理的果实时单果质量显著大于对照,高红光透射率的黄膜和红膜处理的果实时单果质量也比对照有所提高。糖酸含量及其比值是影响果实风味的重要指标^[18]。曹明等^[19]发现有色膜覆盖的甜瓜果实可溶性糖含量显著高于透明膜。靳志勇等^[20]发现红膜处理能显著增加青花菜的可溶性糖含量,程建徽等^[21]发现红膜和蓝膜处理的葡萄果实可溶性固形物含量高。本试验中除白膜外,其余四种颜色透光膜覆盖处理后可溶性糖含量均高于对照,其中黄色透光棚内果实可溶性糖含量与对照相比极显著性升高,红色透光棚内果实可溶性糖含量与对照相比显著性升高,黄膜跟红膜均在红光波段有较高的透射率,与已有的研究结果相似。同时,红色、蓝色、绿色和黄色膜覆处理后的杨梅果实可滴定酸含量均降低,糖酸比升高,说明除白膜外,覆盖透光膜在提高杨梅果实的可溶性糖含量的同时降低了可滴定酸含量,有利于果实风味的改善。光质对于植物次生代谢物含量的提高也具有显著影响,谢宝东等^[22]认为短波段的光有利于黄酮类物质的积累,徐琳煜等^[23]认为黄、绿、蓝光可以促进黄酮类物质的积累。本试验中发现绿色透光膜处理的杨梅果实黄酮和多酚含量均显著高于对照,说明绿光占比高的处理促进了黄酮类物质的积累,与前人结果一致。

透光棚对植株的影响是叶片光合特性和果实品质等多个性状的综合表现,本研究对6种处理的17个性状开展主成分分析,共提取到5个主成分,累积贡献率达100%,主要定性为果实品质因子、叶片光合作用因子、糖分因子和营养因子等。通过计算不同颜色透光膜的综合得分,其得分高低可直接反应不同覆膜处理后杨梅叶片光合特性和果实的品质优劣程度^[24],该类方法已在樱桃、柑橘和杏等^[25-27]资源评价中应用。综合比较几种透光膜,蓝色和红色透光膜处理的综合得分分别为第一和第二,蓝色透光膜不但有利于增加叶片含水量、P含量、果实质量、纵径、横径和糖酸比,而且利于可滴定酸含量的下降;红色透光膜有利于杨梅叶片含水量、N、P、K、果实可溶性糖、糖酸比和多酚等含量的提高以及果实可滴定酸含量的下降,品质较佳,可见植物的发育对

红光和蓝光尤为敏感^[2]。综上,透光膜覆盖的大棚可以作为一种定向优化露地栽培杨梅品质的设施工程手段,其中蓝色和红色透光膜更适合运用在杨梅的设施栽培中以提高果实品质。

4 结 论

不同颜色透光膜的透射光谱在380~780 nm波段有较大差异,并显著影响杨梅叶片的光合特性和果实品质,综合比较几种透光膜,除白膜外,其余4种透光膜处理对杨梅叶片的光合特性和果实品质影响的综合评价均优于对照,其中覆盖蓝色和红色透光膜更为适宜,有利于叶片矿质元素的吸收和果实品质的提升。

参考文献 References:

- [1] 邢阿宝,崔海峰,俞晓平,张雅芬,叶子弘.光质及光周期对植物生长发育的影响[J].北方园艺,2018(3): 163-172.
XING Abao, CUI Haifeng, YU Xiaoping, ZHANG Yafen, YE Zihong. Effects of different lights qualities and photoperiods on plant growth and development[J]. Northern Horticulture, 2018 (3): 163-172.
- [2] 时向东,蔡恒,焦枫,时映,孙家利.光质对作物生长发育影响研究进展[J].中国农学通报,2008,24(6): 226-230.
SHI Xiangdong, CAI Heng, JIAO Feng, SHI Ying, SUN Jiali. Research advances in effects of light qualities on crop growth and development[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(6): 226-230.
- [3] 蒲高斌,刘世琦,刘磊,任丽华.不同光质对番茄幼苗生长和生理特性的影响[J].园艺学报,2005,32(3): 420-425.
PU Gaobin, LIU Shiqi, LIU Lei, REN Lihua. Effects of different light qualities on growth and physiological characteristics of tomato seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2005, 32(3): 420-425.
- [4] 高波,杨振超,李万青,王晓旭,丁娟娟,耿凤展,蔡华,王达菲.3种不同LED光质配比对芹菜生长和品质的影响[J].西北农业学报,2015,24(12): 125-132.
GAO Bo, YANG Zhenchao, LI Wanqing, WANG Xiaoxu, DING Juanjuan, GENG Fengzhan, CAI Hua, WANG Dafei. Effects of three different red and blue LED light ratio on growth and quality of celery[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2015, 24(12): 125-132.
- [5] 孔佳君,曹鹏,吴潇,袁亚洲,余珮嘉,陶书田,张绍铃.不同颜色滤光膜套袋对‘砀山酥梨’果实品质及矿质元素含量的影响[J].园艺学报,2018,45(06): 1173-1184.
KONG Jiajun, CAO Peng, WU Xiao, YUAN Yazhou, YU Peijia, TAO Shutian, ZHANG Shaoling. Effects of light quality on fruit quality and absorption of mineral elements in ‘Dangshan

- Suli' pear fruit development[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(06): 1173-1184.
- [6] 陈兵林, 李浩, 母少东, 蒋光华, 潘文杰, 陈伟, 任竹, 周治国. 有色膜遮光对烤烟生长和光合特性及其初烤品质的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(4): 792-799.
CHEN Binglin, LI Hao, MU Shaodong, JIANG Guanghua, PAN Wenjie, CHEN Wei, REN Zhu, ZHOU Zhiguo. Effects of different color film shading on growth, photosynthetic characteristics and quality indexes after first baking of flue-cured tobacco[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2014, 34(4): 792-799.
- [7] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 陈葵, 严玉平, 章青青, 徐小彪. ‘金魁’猕猴桃果实品质的主成分分析与综合评价[J]. 果树学报, 2012, 29 (5): 867-871.
LIU Kepeng, HUANG Chunhui, LENG Jianhua, CHEN Kui, YAN Yuping, GU Qingqing, XU Xiaobiao. Principal component analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of ‘Jinkui’ kiwifruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29 (5): 867-871.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000 : 263-270.
- BAO Shisan. Soil Agro-chemical analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000 : 263-270.
- [9] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国国家标准 水果、蔬菜制品 可溶性固形物含量的测定-折射方法: GB 12295-90 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China . Fruit and vegetable products-Determination of soluble solids-Refractometric method :GB 12295-90. [S]. Beijing: Standards Press of China, 1990.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准 食品中总酸的测定: GB/T 12456-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Determination of total acid in foods: GB/T 12456-2008. [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [11] 中华人民共和国卫生部. 中华人民共和国国家标准 食品中蔗糖的测定: GB/T 5009.8-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
Ministry of Health of the PRC . Determination of saccharose in foods :GB/T 5009.8-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [12] 梁森苗, 徐云焕, 王伟, 郑锡良, 任海英, 彭娟, 张启, 戚行江. 杨梅果实发育过程中外观及主要营养品质形成规律研究[J]. 核农学报, 2016, 30(6): 1135-1142.
LIANG Senmiao, XU Yunhuan, WANG Wei, ZHENG Xiliang, REN Haiying, PENG Juan, ZHANG Qi, QI Xingjiang. Study on the formation of appearance and main nutritional quality during the development of bayberry fruit[J]. *Journal of Nuclear Agricul-*
- tural Science*, 2016, 30(6): 1135-1142.
- [13] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 李琴, 王海, 许元峰, 孙玉波, 王贵禧. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(12):2491-2499.
MA Qinghua, LI Yonghong, LIANG Lisong, LI Qin, WANG Hai , XU Yuanfeng, SUN Yubo, WANG Guixi. Factor analysis and synthetical evaluation of the fruit quality of Dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. ‘Dongzao’) advanced selections [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(12): 2491-2499.
- [14] 张瑞华, 徐坤, 董灿兴. 光质对生姜叶片光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3722-3727.
ZHANG Ruihua, XU Kun, DONG Canxing. Effect of light quality on photosynthetic characteristics of ginger leaves[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(11): 3722-3727.
- [15] 张秀芝, 郭江云, 王永章, 刘成连, 原永兵. 不同砧木对富士苹果矿质元素含量和品质指标的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 414-420.
ZHANG Xiuzhi, GUO Jiangyun, WANG Yongzhang, LIU Chenglian, YUAN Yongbing. Effects of different rootstocks on mineral contents and fruit qualities of Fuji apple[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(2): 414-420.
- [16] 田发明, 米庆华, 孙娜, 魏珉, 王秀峰, 杨凤娟, 李岩. 不同颜色棚膜对甜椒生物量积累及养分吸收分配的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2015, 46(4): 487-490.
TIAN Faming, MI Qinghua , SUN Na, WEI Min, WANG Xiu-feng, YANG Fengjuan, LI Yan. Effects of different color films on biomass accumulation, nutrient uptake and distribution of sweet pepper[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2015, 46(4): 487-490.
- [17] 马宏, 孟红志, 李世军, 李佳, 李中勇, 张学英, 徐继忠. 不同光质对‘春美’桃光合特性和果实品质的影响[J]. 果树学报, 2017, 34(7): 835-842.
MA Hong, MENG Hongzhi, LI Shijun, LI Jia, LI Zhongyong, ZHANG Xueying, XU Jizhong. Effects of light quality on photosynthetic characteristics and fruit quality of ‘Chunmei’ peach [J]. *Journal of Fruit Science*, 2017, 34(7): 835-842.
- [18] 张微慧, 张光伦. 光质对果树形态建成及果实品质的生理生态效应[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1): 78-83.
ZHANG Weihui, ZHANG Guanglun. The physiological and ecological effect of light quality to morphogenesis and fruit quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1): 78-83.
- [19] 曹明, 杨小锋, 米庆华, 魏珉, 张雪彬, 杨光华. 不同颜色棚膜对甜瓜生长及果实品质的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2017, 48(1): 20-23.
CAO Ming, YANG Xiaofeng, MI Qinghua, WEI Min, ZHANG Xuebin, YANG Guanghua. Effects of film color on growth and fruit quality of melon grown in high tunnel[J]. *Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science Edition)*, 2017, 48 (1): 20-23.
- [20] 靳志勇, 刘娜, 艾希珍, 魏珉, 米庆华, 史庆华. 不同棚膜覆盖对

- 秋季青花菜生长及品质的影响[J]. 北方园艺, 2015(3): 56-59.
- JIN Zhiyong, LIU Na, AI Xizhen, WEI Min, MI Qinghua, SHI Qinghua. Effect of film on growth and quality of *Brassica oleracea L. Italica* Group in autumn[J]. Northern Horticulture, 2015 (3): 56-59.
- [21] 程建徽, 魏灵珠, 雷鸣, 郑婷, 吴江. 不同滤光膜袋对‘红地球’葡萄果实品质的影响[J]. 果树学报, 2015, 32(1): 87-93.
- CHENG Jianhui, WEI Lingzhu, LEI Ming, ZHENG Ting, WU Jiang. Influences of different light filter film bags on berry quality in ‘Red Globe’[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(1): 87-93.
- [22] 谢宝东, 王华田. 光质和光照时间对银杏叶片黄酮、内酯含量的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, 30(2): 51-54.
- XIE Baodong, WANG Huatian. Effects of light spectrum and photoperiod on contents of flavonoid and terpene in leaves of *Ginkgo biloba L.*[J]. Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition), 2006, 30(2): 51-54.
- [23] 徐琳煜. 光质对三叶青生长及黄酮类化合物合成的影响研究[D]. 杭州:浙江农林大学, 2018.
- XU Linyu. Effect of light quality on the growth and synthesis of flavonoids of *Tetragastigtis hemesleyani* Diels et Gilg[D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2018.
- [24] 张淑文, 梁森苗, 郑锡良, 任海英, 朱婷婷, 戚行江. 杨梅优株果品质的主成分分析及综合评价[J]. 果树学报, 2018, 35(8): 977-986.
- ZHANG Shuwen, LIANG Senmiao, ZHENG Xiliang, REN Haiying, ZHU Tingting, QI Xingjiang. Principal component analysis and comprehensive evaluation of fruit quality in some advanced selections of Chinese bayberry[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(8): 977-986.
- [25] 吴澎, 贾朝爽, 范苏仪, 孙玉刚. 樱桃品种果品质因子主成分分析及模糊综合评价[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 291-300.
- WU Peng, JIA Chaoshuang, FAN Suyi, SUN Yugang. Principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation of fruit quality in cultivars of cherry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(17): 291-300.
- [26] 李勋兰, 洪林, 王武, 杨蕾, 谭平. 晚熟杂柑新品种果品质综合评价[J]. 果树学报, 2018, 35(2): 195-203.
- LI Xunlan, HONG Lin, WANG Wu, YANG Lei, TAN Ping. Comprehensive evaluation of fruit quality of new late-maturing mandarin cultivars [J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(2): 195-203.
- [27] 宋永宏, 杨晓华, 李静江, 李凯, 赵雪辉, 杜海燕. 不同杏品种果营养成分分析及综合评价[J]. 中国农学通报, 2018, 34(23): 65-71.
- SONG Yonghong, YANG Xiaohua, LI Jingjiang, LI Kai, ZHAO Xuehui, DU Haiyan. Fruits of apricot cultivars: nutritional components analysis and comprehensive evaluation[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(23): 65-71.