

王 沛,王 进,刘 芳,等. 成都地区避雨栽培葡萄苗期光合特性及耐弱光性分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(14):122-131.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.14.017

成都地区避雨栽培葡萄苗期光合特性及耐弱光性分析

王 沛¹,王 进¹,刘 芳²,吕秀兰¹,梁 东¹,赵小岩¹,黄 鸿¹,罗元佑¹,杨苏勉¹

(1. 四川农业大学,四川成都 611130; 2. 乐山师范学院,四川乐山 614000)

摘要:以 41 种一年生葡萄植株为试材,自然光照条件下避雨栽培,测定其光合生理指标、叶绿素荧光等参数,综合各项指标评价分析,对不同葡萄品种间的光合特性进行比较并对其耐弱光能力进行排序。首先仅根据光补偿点表征的耐弱光分级标准将 41 个葡萄品种分为了 4 个耐弱光等级,极耐弱光品种有葡之梦、晶红宝、卓越玫瑰。根据光合特性分析,葡之梦、卓越玫瑰为耐弱光品种,也是抗高温品种。再综合光补偿点、表观量子效率、暗呼吸速率、叶绿素总含量、叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量、株高、新梢粗度、节间长度、叶片数、比叶重多个指标作为葡萄耐弱光品种筛选的适用指标,运用 TOPSIS 法根据相对接近度,得出葡萄耐弱光能力的优劣排序,最优的前 5 个葡萄品种分别为葡之梦、晶红宝、卓越玫瑰、丝路红无核、超级女皇。本研究结果可为四川省成都地区葡萄的引种、优质栽培提供理论依据。

关键词:葡萄;光合特性;叶绿素荧光特性;耐弱光;TOPSIS 法;避雨栽培

中图分类号:S663.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)14-0122-10

葡萄属于葡萄科葡萄属,落叶藤本植物,浆果类水果^[1],我国是葡萄生产大国之一^[2]。成都地区降水较多,因此成都地区葡萄栽培多为避雨设施栽培。成都地区气候环境特点是云雾多,光照较少,避雨栽培的棚膜覆盖加之成都地区光照较少的气

候特点造成葡萄生长在一个弱光环境,而葡萄的生长与光合作用直接相关,叶片光合能力直接影响到葡萄浆果品质和产量的形成,光合作用生成的有机化合物不仅为葡萄浆果发育提供能量,也是其用以建造自身躯体的原料^[3]。如果葡萄不能够适应成都地区的弱光环境将直接影响其生长及浆果品质和产量的形成。弱光是成都地区葡萄栽培所面临的重要问题之一,研究适宜成都地区栽培的耐弱光品种尤为重要。

弱光会对植株的株高、叶面积、茎粗、节间长、比叶重等^[4-11]产生影响。叶绿素作为光合作用的载体,在光合作用中起着吸收、传递光能的作用,其含量高低直接影响植株光合作用的强弱^[12]。众多研究表明,弱光会影响植株的叶绿素含量^[12-15]。而

收稿日期:2022-02-11

基金项目:四川省科技计划项目(编号:2020YJ0351);葡萄资源四川省科技资源共享服务平台项目(编号:2020JDPT0004);国家现代农业产业技术体系四川水果创新团队项目(编号:scextd-04);四川省成都市科技项目(编号:2021-YF05-00076-SN)。

作者简介:王 沛(1997—),女,陕西渭南人,硕士,主要从事园艺植物生产与管理。E-mail:994751962@qq.com。

通信作者:王 进,博士,副教授,硕士生导师,主要从事果树栽培与生理生态教学与研究。E-mail:251040278@qq.com。

[13]吴 静. 高产纤维素酶霉菌的筛选及纤维素酶系的分离纯化[D]. 贵阳:贵州大学,2020:10-20.

[14]李正风,朱 杰,唐 丽,等. 烟草秸秆中产纤维素酶细菌筛选、鉴定及酶活测定[J]. 西南农业学报,2020,33(3):645-650.

[15]秦宝军,罗 琼,高 森,等. 小麦内生固氮菌分离及其 ACC 脱氢酶测定[J]. 中国农业科学,2012,45(6):1066-1073.

[16]朱秀云,梁 梦,马 玉. 根系活力的测定(TTC 法)实验综述报告[J]. 广东化工,2020,47(6):211-212.

[17]温宏伟,杨 斌,王东胜. 植物根际促生菌促进小麦生长及其抗旱性的研究进展[J]. 核农学报,2021,35(9):2194-2203.

[18]纪 超,王晓辉,刘训理. 盐胁迫环境下植物促生菌的作用机制研究进展[J]. 生物技术通报,2020,36(4):131-143.

[19]吴娟丽,薛林贵,牛军波,等. 两株嗜铁菌对土壤有效铁浓度及

嗜铁素活性单位的影响[J]. 兰州交通大学学报,2020,39(2):125-131.

[20]梁 烨,何楚婷,杨 悦,等. 碱胁迫条件下含 ACC 脱氢酶的根际细菌对大豆生长的影响[J]. 生物技术通报,2020,36(9):100-108.

[21]傅科鹤,范莉莉,陈慧颖,等. 高产纤维素酶菌株的筛选及产酶条件优化[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):214-218.

[22]韩丽珍,林佳静,郑 欢,等. 一株溶磷菌的抗逆促生特性及对种子萌发的研究[J]. 种子,2019,38(10):34-40.

[23]汪 焱,张 英,苏贝贝,等. 溶磷菌对 3 种牧草种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志,2019,49(6):1-5.

[24]蔡红丹,王碧盈,肖翠红,等. 解磷、溶磷菌对水稻种子萌发的影响[J]. 黑龙江农业科学,2019(7):42-45.

光合特性和叶绿素荧光特性^[15-16]可以作为判断植物光合能力的重要依据。李瑛等在设施葡萄的耐弱光品种筛选中使用了光补偿点(LCP)、最大净光合速率(P_m)、表观量子效率(AQY)、暗呼吸速率(R_d)这4个光合指标对不同品种的耐弱光能力进行了评价,表明耐弱光品种具有 R_d 、LCP低、AQY高的特点^[17]。娄玉穗等的研究中也使用了相同指标来评价耐弱光能力,结果表明LCP、 R_d 越低、AQY越高的品种,其耐弱光能力越强^[18]。姚子巍等在辣椒^[19-20]、桃^[21]等的研究上都采用了净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)这4个光合生理指标作为评判植株光合能力大小的依据。总的来说,弱光会对植物营养生长、光合特性、叶绿素含量、叶绿素荧光特性^[22]等方面产生不同量级的影响,要评判植物的耐弱光能力需要综合各方面的影响来综合评价。

本试验在四川农业大学现代研发基地进行,测定避雨栽培条件下41个葡萄品种的光合特性和叶绿素荧光特性、生理特性、形态指标等,通过综合评价分析,对41个葡萄品种的耐弱光能力强弱进行排序,旨在为四川省成都地区葡萄的引种、优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验园位于四川农业大学崇州现代农业研发基地,属四川盆地亚热带湿润季风气候,雨量充沛,日照偏少。年平均气温为15.9℃,最热月(7月)平均气温为25.0℃,最冷月(1月)平均气温为5.4℃,温差为19.6℃。年平均日照时数为1 161.5 h,年平均降水量为1 012.4 mm,雨日和雨量均为夏多冬少^[23]。

1.2 试验材料

试验材料为四川农业大学崇州现代农业研发基地葡萄园内长势一致的一年生葡萄植株,41个葡萄品种分别为蜜光、金田美指、马瑟兰、超级女皇、阳光十三、丝路紫无核、卓越公主、早霞玫瑰、晨香、巨玫瑰、玉波8号、浪漫红颜、巨盛1号、夏黑、晶红宝、鲜葡3号、葡之梦、玉波1号、丝路红无核、沁香、丽红宝、无核翠宝、南太湖特早、阳光玫瑰、卓越玫瑰、早黑宝、紫地球、晚黑宝、中国红玫瑰、金手指、泽香、深红无核、秋红宝、红阳光、脆红宝、摩尔多瓦、玫香宝、玉波2号、卓越黑香蜜、东方之星、郑艳

无核。在自然光照条件下避雨栽培,定植行株距为3.0 m×1.5 m,“Y”字整形,田间土肥水管理一致。

1.3 试验设计

试验于2021年5月中旬开始进行测定,选择晴天08:00—11:30测定光合参数,于避光30 min后进行叶绿素荧光参数的测定。选择生长发育良好、生长势相同的葡萄植株3株,选取每株发育良好、无病虫害、生长势较好的5~6节位功能叶^[24]作为测定叶片测定光合,随后测量统计各葡萄品种的形态指标,上述测定统计均重复3次。

田间测定完成后,采集各品种的叶片鲜样(功能叶),置于冰盒,带回实验室测定叶片叶绿素a和叶绿素b、总叶绿素的含量。综合各数据分析,参考李瑛等的耐弱光分级方法^[17]将41个品种进行耐弱光分级,共分为5个等级。运用TOPSIS法^[24]将41个品种耐弱光能力的强弱进行排序。

1.4 测定方法

1.4.1 光合参数测定方法 使用TPS-2光合仪于晴天08:30—11:30测定叶片的净光合速率等光合参数,在测定时统一使用光合仪的LED固定光源作为光合作用的能量来源。光合有效辐射(PAR)值设置为0、29、110、198、279、367、528、880、2 023 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,数值稳定后记录光合参数:净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、蒸腾速率。每个品种随机选取3株树势中庸、健壮的葡萄树,从每株树上选择其功能叶进行测量(共测3次),测定位置为叶片中部并避开叶片的主脉,测定光响应曲线。利用非直角双曲线模型^[25]求得光补偿点、光饱和点(LSP)、最大净光合速率、暗呼吸速率、表观量子效率等。

非直角双曲线方程^[25]为

$$P_n = \frac{AQYI + P_m - \sqrt{(AQYI + P_m)^2 - 4kAQYIP_m}}{2k} - R_d \quad (1)$$

式中: P_n 为净光合速率;AQY为表观量子效率; P_m 为最大净光合速率; I 为光合有效辐射; k 为光响应曲线曲角; R_d 为暗呼吸速率。

1.4.2 叶绿素荧光参数的测定 使用PAM2500便携式调制式荧光仪,测定叶片的叶绿素荧光参数,测定时用密闭式适配器,在测定之前使用暗适应夹将叶片暗适应30 min,试验叶片选取及重复同“1.3”节。获取基本参数:初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)、最大光化学效率(F_v/F_m)、光系统II的实际

光合效率 $[Y(II)]$ 、非光化学猝灭(NPQ)、光化学猝灭(q_P)、表观光合电子传递效率(ETR)。

1.4.3 形态指标测定 每个品种随机选取 3 株统计及测量叶片数、功能叶(位于 5~6 节位)叶片面积、叶片鲜质量、新梢粗度、节间长度(选取相同节位)等叶形态指标。比叶重的测定方法:选取每个葡萄品种的功能叶片 5~10 张,运用叶面积仪测定叶片面积。比叶重为叶片面积与叶干质量或叶鲜质量的比,本试验中使用的是鲜质量。

1.4.4 叶绿素含量的测定 叶绿素含量的测定方法参照文献[26],首先称取叶片 0.1 g,剪去主脉后将其剪碎,置于含 5 mL 丙酮:乙醇(体积比为 1:1)混合溶液的带塞试管中暗中浸提 72 h,提取液摇匀后分别在 663、645 nm 波长下测定吸光度(D),根据叶绿素 a 含量 = $(12.7D_{663\text{ nm}} - 2.69D_{645\text{ nm}}) \times (V/1\ 000m)$,叶绿素 b 含量 = $(22.9D_{645\text{ nm}} - 4.68D_{663\text{ nm}}) \times (V/1\ 000m)$,总叶绿素含量 = $(20.2D_{645\text{ nm}} + 8.02D_{663\text{ nm}}) \times (V/1\ 000m)$ 分别计算出叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素的含量。其中: D 表示测定波长下的吸光度; V 表示叶绿素提取液总体积,mL; m 表示材料鲜质量,g。

1.4.5 耐弱光分级标准 光补偿点表征的耐弱光分级标准^[17]如下:极耐弱光品种,LCP 为 0~10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;耐弱光品种,LCP 为 10~30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;较耐弱光品种,LCP 为 30~50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;不耐弱光品种,LCP 为 50~100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;极不耐弱光品种,LCP > 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

1.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2019 和 Sigma Plot 12.5 软件进行处理并绘制相关图表,使用 SPSS 26.0 软件进行 Duncan's 多重比较分析和 Pearson 相关性分析,使用 SPSSAU 软件进行 TOPSIS 法综合分析。

2 结果与分析

运用 Sigma Plot 做光合响应曲线,使用 SPSS 对响应曲线进行拟合分析,获得各品种的光补偿点、光饱和点、最大净光合速率、暗呼吸速率、表观量子效率等参数。使用 SPSS 26.0 进行参数的 Duncan 多重比较分析和 Pearson 相关性分析。

2.1 不同葡萄品种的净光合速率对光合有效辐射的响应曲线

由图 1 可知,41 个葡萄品种的净光合速率都随

着光合有效辐射的增强而逐渐增加,在 PAR 达到 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之后逐渐趋于饱和,品种间的 P_n 差异比较大。在相同 PAR 下,各品种的 P_n 不同,以 PAR 为 198 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时为例,净光合速率较大的葡萄品种为巨玫瑰、晶红宝、葡之梦等,高达 9.73~12.97 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,中国红玫瑰、丽红宝、丝路紫无核等较低,为 1.73~2.76 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

PAR 为 198 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,不同葡萄品种的净光合速率由大到小的排序为巨玫瑰、晶红宝、葡之梦、紫地球、丝路红无核、巨盛 1 号、卓越玫瑰、蜜光、摩尔多瓦、早霞玫瑰、马瑟兰、玉波 2 号、金手指、秋红宝、无核翠宝、东方之星、脆红宝、早黑宝、郑艳无核、卓越公主、红阳光、夏黑、鲜葡 3 号、玫香宝、泽香、金田美指、阳光玫瑰、卓越黑香蜜、南太湖特早、深红无核、阳光十三、晨香、玉波 1 号、玉波 8 号、沁香、晚黑宝、超级女皇、浪漫红颜、丝路紫无核、丽红宝、中国红玫瑰。

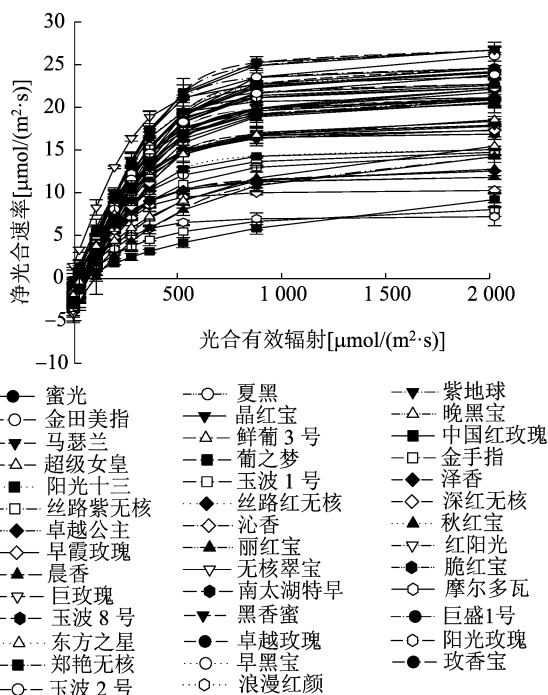


图1 不同葡萄品种的净光合速率对光合有效辐射的响应

2.2 不同葡萄品种的光合特性比较

根据净光合速率对光合有效辐射的响应曲线,应用 SPSS 软件进行拟合分析,利用非直角双曲线模型求得光补偿点、光饱和点、最大净光合速率、暗呼吸速率、表观量子效率(表 1)。

按照 LCP 从大到小排列依次为丽红宝、浪漫红颜、南太湖特早、晨香、阳光十三、沁香、玉波 8 号、卓越公主、红阳光、阳光玫瑰、夏黑、无核翠宝、早黑

表 1 不同葡萄品种的光合特性比较

品种	光补偿点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光饱和点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	表观量子效率	最大净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
蜜光	29.597m	401.048w	0.062abcd	23.030defghi	1.835lm
金田美指	42.020jk	398.102wx	0.049ghij	17.448mn	2.059l
马瑟兰	44.148hijk	444.836s	0.061bcd	24.442cdefg	2.693ghi
超级女皇	23.478n	628.957b	0.023o	13.926op	0.540p
阳光十三	70.298b	469.532p	0.047hijk	18.764klmn	3.304d
丝路紫无核	45.878h	286.082δ	0.049ghij	11.770pq	2.248g
卓越公主	64.742c	418.016u	0.062abcd	21.903fghijk	4.014ab
早霞玫瑰	45.516hi	497.984m	0.062abcd	28.053ab	2.822fgh
晨香	70.308b	373.423z	0.052efgh	15.762no	3.656c
巨玫瑰	21.892n	370.662z	0.065abc	22.670defghij	1.423n
玉波 8 号	69.725b	564.775f	0.040klm	19.802ijklm	2.789fgh
浪漫红颜	71.788b	365.606α	0.033mn	9.696q	2.369ig
巨盛 1 号	41.609k	475.875o	0.064abcd	27.793abc	2.663hi
夏黑	60.220d	582.080e	0.050fghi	26.093bcd	3.011defg
晶红宝	4.597q	380.919y	0.062abcd	23.332defgh	0.285p
鲜葡 3 号	56.449ef	546.163h	0.049ghij	23.996defgh	2.766gh
葡之梦	3.736q	536.077i	0.052efgh	27.583abc	0.293p
玉波 1 号	53.911fg	451.911r	0.045hijk	17.910lmn	2.426ig
丝路红无核	10.827p	431.673t	0.052efgh	21.884fghijk	0.563p
沁香	69.780b	392.976x	0.041jkl	13.251op	2.861fgh
丽红宝	92.450a	625.825b	0.04klm	21.335ghijk	3.698c
无核翠宝	60.114d	458.229q	0.070a	27.868abc	4.208a
南太湖特早	70.962b	556.577g	0.052efgh	25.252bcdef	3.690c
阳光玫瑰	60.469d	558.020g	0.049ghij	24.380cdefg	2.963efgh
卓越玫瑰	8.680p	526.120j	0.050fghi	25.872bcd	0.434p
早黑宝	59.339d	604.054c	0.056defg	30.504a	3.323d
紫地球	42.765ijk	492.735n	0.068ab	30.598a	2.908fgh
晚黑宝	35.860l	550.721h	0.043ijkl	22.139efghijk	1.542mn
中国红玫瑰	42.906hijk	901.844a	0.032n	27.486abc	1.373n
金手指	17.176o	395.824x	0.051fghi	19.311jklm	0.876o
泽香	18.060o	302.360β	0.050fghi	14.215op	0.903o
深红无核	44.919hij	563.568f	0.037lmn	19.190klm	1.662mn
秋红宝	56.379ef	540.431i	0.058cdef	28.075ab	3.270de
红阳光	64.133c	447.283rs	0.060bede	22.989defghi	3.848bc
脆红宝	52.033g	470.117p	0.060bede	25.085bcdef	3.122def
摩尔多瓦	44.083hijk	469.700p	0.060bede	25.537bede	2.645hi
玫香宝	58.042de	597.479d	0.048ghijk	25.893bcd	2.786fgh
玉波 2 号	44.250hijk	505.533l	0.060bede	27.677abc	2.655hi
卓越黑香蜜	52.326g	505.130l	0.046hijk	20.829hijkl	2.407ig
东方之星	35.931l	411.603v	0.058cdef	21.789fghijk	2.084l
郑艳无核	51.333g	514.294k	0.051fghi	23.611defgh	2.618hi

注:同列数据后不同的小写字母表示品种间差异显著($P<0.05$)。表 2、表 4 同。超过英文字母部分使用希腊字母标记。

宝、玫香宝、鲜葡 3 号、秋红宝、玉波 1 号、卓越黑香蜜、脆红宝、郑艳无核、丝路紫无核、早霞玫瑰、深红无核、玉波 2 号、马瑟兰、摩尔多瓦、中国红玫瑰、紫地球、金田美指、巨盛 1 号、东方之星、晚黑宝、蜜光、超级女皇、巨玫瑰、泽香、金手指、丝路红无核、卓越玫瑰、晶红宝、葡之梦。这个顺序与 PAR 在 $198 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下 P_n 从大到小的排列顺序差异较大。巨玫瑰、晶红宝、葡之梦的 PAR 在 $198 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下 P_n 较大,而其 LCP 却很小。丽红宝、丝路紫无核、中国红玫瑰的 PAR 在 $198 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 条件下 P_n 较小,而其 LCP 却较大。

从表 1 可知,41 个品种中,紫地球、早黑宝、秋红宝、早霞玫瑰、无核翠宝、巨盛 1 号、玉波 2 号、葡之梦、中国红玫瑰、夏黑、玫香宝、卓越玫瑰、摩尔多瓦、南太湖特早、脆红宝这几个品种的 P_m 是比较高的,为 $25.085 \sim 30.598 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。中国红玫瑰的 LSP 最高,为 $901.844 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其次是超级女皇、丽红宝、早黑宝这 3 个品种,其 LSP 为 $604.054 \sim 628.957 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,是相比于其他品种 LSP 较高的品种,仅次于中国红玫瑰。丝路紫无核的 LSP 值最低,为 $286.082 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其次为泽香。在本研究中 LCP 高的大多数品种的暗呼吸速率也较高,LCP 低的大多数品种的 R_d 也较低。41 个葡萄品种的 R_d 分布在 $0.285 \sim 4.208$ 之间,AQY 分布在 $0.023 \sim 0.070$ 之间,表观量子效率表示植物吸收利用光的能力以及对荫蔽环境的适应能力^[27-28],其值越高就说明耐弱光能力越强。无核翠宝、紫地球、巨玫瑰的 AQY 最高,说明无核翠宝、紫地球、巨玫瑰这 3 个葡萄品种具有较强的耐弱光能力,而超级女皇、中国红玫瑰、浪漫红颜的 AQY 最低,说明超级女皇、中国红玫瑰、浪漫红颜这 3 个葡萄品种的耐弱光能力较弱。参考 LCP 的数值大小排列,除 R_d 外其他光合参数的数值分布规律不是很明显。综合表 1 中数据可知,同一品种间各单项指标大小排序没有一致性,且指标及研究目标品种较多,因此,以不同单项指标去评价耐弱光性难以得出一致结论,应使用综合评价的方法(TOPSIS 法)去进行耐弱光性的评价筛选。

2.3 不同葡萄品种的叶绿素荧光特性比较

41 个葡萄品种的初始荧光、最大荧光、最大光化学效率、光系统 II 的实际光合效率、非光化学猝灭、光化学猝灭、表观光合电子传递效率的各参数

值见表 2。41 个品种的 q_p 、ETR 差异不显著($P > 0.05$),且 41 个品种的 ETR 为 $100.30 \sim 131.70$, q_p 为 $0.727 \sim 0.843$,丽红宝、泽香、沁香的 q_p 最小,分别为 0.727 、 0.730 、 0.744 ,玉波 1 号、无核翠宝、巨盛 1 号的 q_p 最大,分别为 0.826 、 0.828 、 0.843 。晨香、金田美指的 F_o 最大,分别为 0.239 、 0.244 ,无核翠宝的 F_o 最小,为 0.123 。金田美指、南太湖特早、夏黑、玫香宝、巨玫瑰、卓越黑香蜜、马瑟兰、中国红玫瑰、晨香的 F_m 较大,分别为 1.261 、 1.255 、 1.250 、 1.235 、 1.231 、 1.227 、 1.224 、 1.218 、 1.207 ,无核翠宝的 F_m 较小,为 0.686 。在本试验中各品种的 F_v/F_m 为 $0.800 \sim 0.832$,沁香的 F_v/F_m 最大,为 0.832 ,阳光十三的 F_v/F_m 最小,为 0.800 。巨盛 1 号的 $Y(\text{II})$ 最大,为 0.613 ;泽香的 $Y(\text{II})$ 最小,为 0.466 。泽香的 NPQ 最大,为 1.646 ;巨盛 1 号的 NPQ 最小,为 0.602 。各品种的 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 $Y(\text{II})$ 、NPQ 均存在显著性差异,但此差异性是否与葡萄的耐弱光性相关,是否可以作为耐弱光葡萄品种筛选的适用指标,还需要进一步进行光合参数及叶绿素荧光参数的相关性分析。

2.4 不同葡萄品种主要光合特征参数之间的相关性分析

为了优选较佳的耐弱光葡萄品种,本试验以 LCP、LSP、 P_m 、AQY、 R_d 、 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 $Y(\text{II})$ 、NPQ、 q_p 、ETR 这几个光合及叶绿素荧光指标作为初步预选的耐弱光评价指标,对其进行相关性分析,结果详见表 3。

由表 3 可知, R_d 和 LCP 呈极显著正相关关系,且相关系数较高,为 0.913 。而 LCP 与 LSP、 P_m 、AQY 没有显著相关性。LSP 与 P_m 呈极显著正相关关系,相关系数为 0.489 ,LSP 与 AQY 呈显著负相关关系,相关系数为 -0.388 , P_m 和 AQY 呈极显著正相关关系,相关系数为 0.581 。LCP、 R_d 、AQY 与 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 $Y(\text{II})$ 、NPQ、 q_p 、ETR 这几个叶绿素荧光指标没有很强的相关性。 F_o 与 F_m 呈极显著正相关关系,相关系数较高,为 0.966 , F_o 与 F_v/F_m 呈显著负相关关系,相关系数为 -0.313 。 $Y(\text{II})$ 与 NPQ 呈极显著负相关关系,相关系数很高,为 -0.951 , $Y(\text{II})$ 与 q_p 、ETR 呈极显著正相关关系,相关系数分别为 0.800 、 0.998 , $Y(\text{II})$ 与 ETR 的相关系数最高。NPQ 与 q_p 、ETR 呈极显著负相关关系,相关系数分别为 -0.640 、 -9.440 。 q_p 与 ETR 呈极显著正相关关系,相关系数为 0.800 。

表 2 不同葡萄品种的叶绿素荧光特性

品种	F_o	F_m	F_v/F_m	$Y(II)$	NPQ	q_P	ETR
蜜光	0.210abcdef	1.173abc	0.822abc	0.520bcdefgh	1.160abcdefg	0.765a	111.85a
金田美指	0.244a	1.261a	0.807cdef	0.472h	1.470abc	0.750a	101.35a
马瑟兰	0.222abcde	1.224a	0.819abcde	0.579abcd	0.741defg	0.802a	124.50a
超级女皇	0.148fgh	0.822cde	0.821abc	0.591abc	0.685efg	0.807a	126.90a
阳光十三	0.192abcdefg	0.954abcde	0.800f	0.505defgh	1.286abcdef	0.792a	108.45a
丝路紫无核	0.202abcdef	1.076abc	0.812bcdef	0.481fgh	1.587ab	0.768a	103.40a
卓越公主	0.156defgh	0.847bcde	0.821abc	0.473gh	0.742defg	0.823a	128.30a
早霞玫瑰	0.179abcdefgh	0.964abcde	0.815bcdef	0.572abcde	0.809defg	0.807a	122.95a
晨香	0.239a	1.207ab	0.802ef	0.526bcdefgh	1.089abcdefg	0.797a	113.05a
巨玫瑰	0.218abcdef	1.231a	0.823abc	0.509cdefgh	1.240abcdefg	0.754a	109.50a
玉波 8 号	0.209abcdef	1.176abc	0.822abc	0.577abcd	0.876cdefg	0.811a	124.20a
浪漫红颜	0.222abcde	1.161abc	0.809bcdef	0.528bcdefgh	1.034abcdefg	0.783a	113.55a
巨盛 1 号	0.197abcdefg	1.033abcde	0.810bcdef	0.613a	0.602g	0.843a	131.70a
夏黑	0.233abc	1.250a	0.814bcdef	0.575abcd	0.771defg	0.808a	123.70a
晶红宝	0.156efgh	0.814cde	0.809bcdef	0.519bcdefgh	1.324abcde	0.802a	111.50a
鲜葡 3 号	0.194abcdefg	1.028abcde	0.812bcdef	0.562abcdef	0.898cdefg	0.809a	120.65a
葡之梦	0.222abcde	1.195ab	0.815bcdef	0.581abcd	0.733defg	0.810a	124.80a
玉波 1 号	0.216abcdef	1.171abc	0.816abcdef	0.597ab	0.696efg	0.826a	131.70a
丝路红无核	0.204abcdef	1.070abc	0.811bcdef	0.528bcdefgh	1.284abcdef	0.807a	113.60a
沁香	0.162cdefgh	0.964abcde	0.832a	0.557abcdef	0.664fg	0.744a	119.77a
丽红宝	0.192abcdefg	1.054abcd	0.819abcd	0.481fgh	1.344abcd	0.727a	103.50a
无核翠宝	0.123h	0.686e	0.815bcdef	0.567abcde	1.037abcdefg	0.828a	122.00a
南太湖特早	0.234ab	1.255a	0.814bcdef	0.571abcde	0.726defg	0.797a	122.85a
阳光玫瑰	0.232abc	1.177abc	0.804def	0.516bcdefgh	1.110abcdefg	0.782a	110.95a
卓越玫瑰	0.218abcdef	1.193ab	0.817abcde	0.570abcde	0.879cdefg	0.810a	122.60a
早黑宝	0.220abcde	1.172abc	0.813bcdef	0.536abcdefgh	1.022abcdefg	0.786a	115.25a
紫地球	0.211abcdef	1.152abc	0.817abcde	0.532abcdefgh	1.182abcdefg	0.793a	114.40a
晚黑宝	0.217abcdef	1.141abc	0.810bcdef	0.556abcdefg	0.906cdefg	0.804a	119.55a
中国红玫瑰	0.227abcd	1.218a	0.813bcdef	0.490efgh	1.467abc	0.760a	105.33a
金手指	0.130gh	0.701de	0.815bcdef	0.543abcdefgh	0.991bcdefg	0.789a	116.70a
泽香	0.200abcdef	1.135abc	0.824ab	0.466h	1.646a	0.730a	100.30a
深红无核	0.205abcdef	1.137abc	0.820abcd	0.500defgh	1.290abcdef	0.750a	107.50a
秋红宝	0.214abcdef	1.171abc	0.818abcde	0.589abc	0.742defg	0.818a	126.60a
红阳光	0.176abcdefgh	1.004abcde	0.825ab	0.556abcdefg	0.906cdefg	0.778a	119.60a
脆红宝	0.210abcdef	1.169abc	0.820abcd	0.544abcdefgh	1.091abcdefg	0.793a	116.90a
摩尔多瓦	0.210abcdef	1.146abc	0.817abcdef	0.547abcdefgh	1.104abcdefg	0.805a	117.55a
玫香宝	0.216abcdef	1.235a	0.825ab	0.525bcdefgh	1.252abcdef	0.774a	112.85a
玉波 2 号	0.167bcdefgh	0.950abcde	0.825ab	0.569abcde	0.876cdefg	0.795a	122.25a
卓越黑香蜜	0.232abc	1.227a	0.811bcdef	0.526bcdefgh	1.228abcdefg	0.796a	113.00a
东方之星	0.183abcdef	0.983abc	0.813abcdef	0.525bcdefgh	1.253abcdef	0.780a	112.95a
郑艳无核	0.210abcdef	1.113abc	0.812bcdef	0.526bcdefgh	1.183abcdefg	0.790a	113.13a

2.5 不同葡萄品种叶绿素含量及形态的各项指标相关性分析

从表 4 中可以看出,各品种的比叶重不存在显著性差异($P>0.05$)。41 个品种中总叶绿素含量最高的是无核翠宝,为 1.246 mg/g;总叶绿素含量

最低的是晨香,为 0.614 mg/g。蜜光、晨香、紫地球的叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量在所有品种中最高,分别为 2.186、2.376、2.304;无核翠宝、中国红玫瑰的叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量在所有品种中最低,分别为 0.829、0.877。

表 3 不同葡萄品种光合参数和叶绿素荧光参数的相关性分析结果

指标	相关系数											
	LCP	LSP	P_m	AQY	R_d	F_o	F_m	F_v/F_m	$Y(II)$	NPQ	q_P	ETR
LCP	1.000											
LSP	0.221	1.000										
P_m	-0.031	0.489 **	1.000									
AQY	-0.092	-0.388 *	0.581 **	1.000								
R_d	0.913 **	0.099	0.212	0.288	1.000							
F_o	0.120	0.197	0.073	-0.157	0.028	1.000						
F_m	0.083	0.201	0.09	-0.146	-0.006	0.966 **	1.000					
F_v/F_m	-0.132	-0.017	0.005	0.024	-0.112	-0.313 *	-0.063	1.000				
$Y(II)$	-0.108	0.091	0.294	0.165	0.009	-0.227	-0.180	0.242	1.000			
NPQ	0.045	-0.094	-0.192	-0.046	-0.011	0.162	0.111	-0.261	-0.951 **	1.000		
q_P	-0.122	-0.114	0.372 *	0.301 *	0.050	-0.153	-0.225	-0.251	0.800 **	-0.640 **	1.000	
ETR	-0.102	0.047	0.281	0.156	0.010	-0.218	-0.171	0.240	0.998 **	-0.944 **	0.800 **	1.000

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关。

夏黑在所有品种中株高最高,为 2.46 m,玫香宝株高最低,为 0.85 m,夏黑的株高约是玫香宝的 3 倍。丝路红无核的新梢粗度最粗,而玫香宝的新梢粗度最细。超级女皇的节间长度最长,紫地球节间长度最短。泽香的叶片数最多,玫香宝的叶片数最少。玫香宝在株高、新梢粗度、叶片数上都表现最差。

从表 5 可知,除了比叶重之外,植株的株高和新梢粗度呈极显著正相关关系,相关系数为 0.626,株高和节间长度呈显著正相关关系,相关系数为 0.336,株高和叶片数呈极显著正相关关系,相关系数为 0.731。新梢粗度和叶片数呈显著正相关关系,相关系数为 0.501。总叶绿素含量和叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量呈极显著负相关关系。同一品种间各单项指标大小排序没有一致性,因此,以不同单项指标去评价耐弱光性难以得出一致结论,这些单项指标之间存在着不同程度的相关性,这使得各个指标所表达的参考信息发生重叠,用这些单项指标评价其耐弱光性难以达到客观的结果。因此,需要使用 TOPSIS 法对 41 个葡萄品种的耐弱光性进行综合评价。

2.6 综合分析

TOPSIS 法用于研究数据较多的情况下,所研究的试验数据有时越大越优,有的数据越小越劣,因此结合数据间的大小找出正负理想解以及正负理想解距离^[29],并且在最终得到相对接近度,然后再根据相对接近度的大小进行排序,最终得出优劣方案。使用 SPSSAU 软件,首先对数据进行同趋势化处理、再进行归一化处理解决量纲问题。

综合 LCP、AQY、 R_d 、总叶绿素含量、叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量、株高、新梢粗度、节间长度、叶片数、比叶重这几个相关指标,运用 TOPSIS 法进行排序,具体排序结果见表 6。

3 讨论与结论

3.1 基于光合特性的葡萄耐弱光分级结果

本研究中 41 个葡萄品种的净光合速率都随着光合有效辐射的增强而逐渐增加,之后又趋于饱和,这与李瑛等的研究结果^[17-18]是相似的。李瑛等根据 LCP 的大小制定分级标准将葡萄品种分为 5 个耐弱光等级^[17]。参考其耐弱光分级标准将 41 个葡萄品种分为 4 个耐弱光等级,极耐弱光品种[LCP 为 0~10 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]有葡之梦、晶红宝、卓越玫瑰;耐弱光品种[LCP 为 10~30 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]有丝路红无核、金手指、泽香、巨玫瑰、超级女皇、蜜光;较耐弱光品种[LCP 为 30~50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]有晚黑宝、东方之星、巨盛 1 号、金田美指、紫地球、中国红玫瑰、摩尔多瓦、马瑟兰、玉波 2 号、深红无核、早霞玫瑰、丝路紫无核;不耐弱光品种[LCP 为 50~100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]有郑艳无核、脆红宝、卓越黑香蜜、玉波 1 号、秋红宝、鲜葡 3 号、玫香宝、早黑宝、无核翠宝、夏黑、阳光玫瑰、红阳光、卓越公主、玉波 8 号、沁香、阳光十三、晨香、南太湖特早、浪漫红颜、丽红宝。

3.2 基于光合特性的葡萄耐弱光及抗高温品种筛选

基于耐弱光分级标准所筛选出的极耐弱光品

表 4 不同葡萄品种叶绿素含量及植株形态各项指标的比较

品种	总叶绿素含量 (mg/g)	叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量	株高 (m)	新稍粗度 (mm)	节间长度 (mm)	叶片数 (张)	比叶重 (g/cm ²)
蜜光	0.671hij	2.186a	1.98abcdefg	10.97cdefghi	38.98no	39mn	0.023a
金田美指	0.835efghij	1.878b	1.99abcdefg	8.87hijk	69.56b	58efghij	0.015a
马瑟兰	1.035abcdefg	1.295ijkl	1.99abcdefg	9.72ghijk	33.59pq	73bcd	0.018a
超级女皇	0.902cdefgh	1.647bcdefgh	2.14abcdefg	12.36bcdef	79.13a	57fghijk	0.023a
阳光十三	0.968cdefg	1.524efghij	2.42abc	12.19bcdefg	49.96hij	72bcd	0.022a
丝路紫无核	0.795ghij	1.875b	1.24ijk	8.16jkl	26.30st	31n	0.016a
卓越公主	0.889cdefgh	1.831bc	2.37abcd	12.13bcdefg	44.3lm	78abc	0.022a
早霞玫瑰	0.991abcdefg	1.333ijk	2.12abcdefg	7.75kl	34.56p	65bcdefg	0.022a
晨香	0.614j	2.376a	2.00abcdefg	7.57kl	54.13fg	54ghijkl	0.018a
巨玫瑰	0.867defghi	1.841bc	2.22abcdefg	11.39cdefgh	34.98p	79ab	0.024a
玉波 8 号	1.036abcdefg	1.270jkl	2.32abcde	12.18bcdefg	60.90cd	72bed	0.019a
浪漫红颜	0.941cdefg	1.572cdefghi	2.15abcdefg	10.63efghi	54.80ef	52ghijklm	0.017a
巨盛 1 号	0.946cdefg	1.423ghijk	2.03abcdefg	11.13cdefghi	49.50hij	73bcd	0.019a
夏黑	1.077abcdef	1.182kl	2.46a	12.36bcdef	61.75c	62defghi	0.022a
晶红宝	0.994abcdefg	1.387hijk	1.62ghij	12.60bcde	38.92no	51hijklm	0.017a
鲜葡 3 号	0.933cdefg	1.689bcdefg	2.25abcdefg	14.49ab	49.90hij	71bcde	0.020a
葡之梦	1.146abc	1.024lm	2.18abcdefg	10.67efghi	43.47m	68bcdef	0.022a
玉波 1 号	0.983bcdefg	1.424ghijk	2.27abcdef	10.50efghij	29.43rs	58efghij	0.019a
丝路红无核	0.865defghi	1.825bed	2.43ab	15.52a	45.57klm	76bc	0.021a
沁香	1.112abcd	1.139kl	2.39abcd	11.16cdefghi	47.78ijkl	51hijklm	0.023a
丽红宝	0.920cdefgh	1.648bcdefgh	1.73efghij	10.67efghi	25.85tu	49ijklm	0.019a
无核翠宝	1.246a	0.829m	2.32abcde	13.42abc	23.72tu	78abc	0.020a
南太湖特早	0.863defghi	1.730bcdef	2.12abcdefg	11.20cdefghi	38.98no	68bcdef	0.020a
阳光玫瑰	1.070abcdef	1.274jkl	1.77defghij	11.03cdefghi	48.70hijk	47jklm	0.018a
卓越玫瑰	0.860defghi	1.810bcde	2.16abcdefg	10.87defghi	47.07jklm	64cdefgh	0.020a
早黑宝	0.829fghij	1.928b	1.37hijk	7.64kl	32.32pqr	33n	0.021a
紫地球	0.621ij	2.304a	1.79cdefghi	8.98hijk	22.53u	49ijklm	0.018a
晚黑宝	0.868defghi	1.770bcdef	1.67fghij	11.10cdefghi	33.64pq	42lmn	0.020a
中国红玫瑰	1.239ab	0.877m	2.38abcd	13.22bcd	39.58n	69bcdef	0.018a
金手指	0.946cdefg	1.410ghijk	2.23abcdefg	8.80ijk	48.61hijk	68bcdef	0.018a
泽香	0.986bcdefg	1.511fghij	1.97abcdefgh	11.07cdefghi	66.88b	90a	0.019a
深红无核	0.976cdefg	1.573cdefghi	2.12abcdefg	10.92cdefghi	52.22fgh	61defghi	0.018a
秋红宝	1.086abcdef	1.177kl	1.82bcdefghi	9.14hijk	35.79op	56fghijk	0.019a
红阳光	1.046abcdefg	1.353hijk	1.19jk	7.48kl	51.65fgh	33n	0.019a
脆红宝	0.892cdefgh	1.699bcdefg	1.97abcdefgh	11.36cdefgh	44.98lm	77bc	0.018a
摩尔多瓦	0.992abcdefg	1.536defghij	2.35abcde	11.01cdefghi	51.03ghi	57fghijk	0.020a
玫香宝	1.045abcdefg	1.318ijk	0.85k	6.32l	30.38qr	19o	0.022a
玉波 2 号	0.991abcdefg	1.484fghij	2.05abcdefg	7.63kl	23.13tu	71bcde	0.018a
卓越黑香蜜	1.014abcdefg	1.361hijk	2.14abcdefg	11.15cdefghi	51.34fghi	44klmn	0.021a
东方之星	1.093abcde	1.152kl	2.02abcdefg	9.94fghijk	59.11cd	72bed	0.019a
郑艳无核	1.031abcdefg	1.238jkl	2.21abcdefg	11.10cdefghi	57.94de	54ghijkl	0.022a

表 5 不同葡萄品种叶绿素含量及植株形态各项指标的相关性分析结果

项目	相关系数						
	总叶绿素含量	叶绿素 a 含量/ 叶绿素 b 含量	株高	新稍粗度	节间长度	叶片数	比叶重
总叶绿素含量	1.000						
叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量	-0.982 **	1.000					
株高	0.212	-0.203	1.000				
新稍粗度	0.219	-0.171	0.626 **	1.000			
节间长度	0.078	-0.078	0.336 *	0.243	1.000		
叶片数	0.221	-0.194	0.731 **	0.501 **	0.223	1.000	
比叶重	0.057	-0.049	0.245	0.204	0.073	0.015	1.000

种和耐弱光品种,其中卓越玫瑰的 LSP、 P_m 分别为 526.120、25.872 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,葡之梦的 LSP、 P_m 分别为 536.077、27.583 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,这 2 个品种在耐弱光品种中的 LSP 与 P_m 都比较大,泽香的 LSP 最低,为 302.360 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,超级女皇在其中的 LSP 最大,为 628.957 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,葡之梦的 P_m 最大,为 27.583 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。耐弱光品种中 LSP 和 P_m 高的品种,对强光也有很好的适应和利用能力,光强适应范围广,更适合葡萄的设施栽培^[30]。从光合特性来说,葡之梦、卓越玫瑰的耐弱光能力较强,且对强光的耐受力也较强。而 41 个品种中,中国红玫瑰的 LSP 最高,其次是超级女皇、丽红宝、早黑宝这 3 个品种;丝路紫无核的 LSP 最低,为 286.082 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其次为泽香。从光合特性来说,葡之梦、卓越玫瑰的耐弱光能力较强,且对强光的耐受力也较强,既是耐弱光品种,也是抗高温品种。

3.3 基于 TOPSIS 法的葡萄耐弱光能力排序

本研究综合光合指标、叶绿素含量、形态指标等多方面的指标作为葡萄耐弱光的初期鉴定指标,最终以 LCP、AQY、 R_d 、叶绿素总含量、叶绿素 a 含量/叶绿素 b 含量、株高、新稍粗度、节间长度、叶片数、比叶重作为耐弱光葡萄品种筛选的适用指标。运用 TOPSIS 法综合多个指标对 41 个葡萄品种耐弱光能力强弱进行排序,最终得出排序结果为葡之梦 > 晶红宝 > 卓越玫瑰 > 丝路红无核 > 超级女皇 > 泽香 > 金手指 > 中国红玫瑰 > 东方之星 > 无核翠宝 > 夏黑 > 金田美指 > 玉波 8 号 > 巨玫瑰 > 巨盛 1 号 > 郑艳无核 > 鲜葡 3 号 > 摩尔多瓦 > 卓越公主 > 阳光十三 > 脆红宝 > 深红无核 > 沁香 > 马瑟兰 > 卓越黑香蜜 > 浪漫红颜 > 阳光玫瑰 > 早霞玫瑰 > 玉波 2 号 > 秋红宝 > 南太湖特早 > 晨香 > 红阳光 >

蜜光 > 玉波 1 号 > 紫地球 > 晚黑宝 > 丽红宝 > 玫香宝 > 早黑宝 > 丝路紫无核。

在进行光合参数及叶绿素荧光参数的相关性分析后,发现 LCP、 R_d 、AQY 与 F_o 、 F_m 、 F_v/F_m 、 $Y(\text{II})$ 、NPQ、 q_p 、ETR 这几个叶绿素荧光指标没有较高的显著相关性。因此叶绿素荧光不可作为耐弱光葡萄品种筛选的适用指标。本研究的结论与李瑛在葡萄^[30]和刘文海等在桃树^[31]上的研究结果是相似的。本研究结果可为四川省成都地区葡萄优质栽培耐弱光性提供理论依据,并可为葡萄的引种提供理论参考。

参考文献:

[1]秦 丹,石雪晖,胡亚平,等. 葡萄采后贮藏保鲜研究进展[J]. 保鲜与加工,2006,6(1):9-12.

[2]谢玉明,谭德龙,聂松青,等. 广东葡萄设施栽培现状与发展趋势[J]. 广东农业科学,2021,48(11):41-48.

[3]白云岗,刘洪波,张江辉,等. 葡萄光合作用光响应曲线拟合模型比较研究[J]. 节水灌溉,2016(9):8-11.

[4]侯兴亮. 弱光对番茄生理的影响及耐弱光种质资源筛选[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2000.

[5]黄印冉,梁文华,赵 丹,等. 遮荫对胡枝子形态及光合特性的影响[J]. 新疆农业大学学报,2019,42(1):28-34.

[6]江应红,邢斌德,冯怀章,等. 马铃薯不同品种耐弱光性筛选及评价[J]. 农村科技,2021(2):27-30.

[7]孙 慧,王亚玲,邢斌德,等. 马铃薯不同品种耐弱光性筛选试验[J]. 农村科技,2021(1):21-25.

[8]黄世杰. 不同番茄品种对弱光生理响应差异的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2020.

[9]姚兴东. 遮阴对大豆光合生理和农艺性状的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.

[10]韩 霜. 22 个菊花品种耐阴指标筛选与综合评价分析[J]. 河北农业大学学报,2015,38(6):46-51.

[11]王红梅. 西瓜耐弱光性研究[D]. 南宁:广西大学,2012.

[12]王会强,袁刘正,柳家友,等. 遮阴胁迫对玉米的影响研究进展[J]. 河南农业科学,2021,50(9):1-8.

表 6 不同葡萄品种耐弱光性 TOPSIS 法评价结果

品种	TOPSIS 法评价计算结果			
	正理想解距离	负理想解距离	相对接近度	排序结果
葡之梦	0.215	0.836	0.795	1
晶红宝	0.285	0.742	0.722	2
卓越玫瑰	0.487	0.462	0.487	3
丝路红无核	0.559	0.411	0.424	4
超级女皇	0.651	0.409	0.386	5
泽香	0.659	0.363	0.355	6
金手指	0.668	0.302	0.311	7
中国红玫瑰	0.769	0.301	0.281	8
东方之星	0.765	0.299	0.281	9
无核翠宝	0.836	0.326	0.281	10
夏黑	0.800	0.301	0.273	11
金田美指	0.786	0.290	0.269	12
玉波 8 号	0.804	0.294	0.268	13
巨玫瑰	0.746	0.271	0.266	14
巨盛 1 号	0.792	0.269	0.253	15
郑艳无核	0.797	0.267	0.251	16
鲜葡 3 号	0.808	0.267	0.248	17
摩尔多瓦	0.797	0.256	0.243	18
卓越公主	0.829	0.265	0.242	19
阳光十三	0.820	0.260	0.241	20
脆红宝	0.814	0.251	0.236	21
深红无核	0.783	0.240	0.235	22
沁香	0.818	0.244	0.230	23
马瑟兰	0.810	0.241	0.229	24
卓越黑香蜜	0.805	0.229	0.221	25
浪漫红颜	0.816	0.231	0.220	26
阳光玫瑰	0.816	0.224	0.215	27
早霞玫瑰	0.819	0.224	0.215	28
玉波 2 号	0.831	0.220	0.209	29
秋红宝	0.826	0.216	0.207	30
南太湖特早	0.837	0.217	0.206	31
晨香	0.842	0.218	0.206	32
红阳光	0.837	0.211	0.201	33
蜜光	0.795	0.199	0.200	34
玉波 1 号	0.827	0.200	0.195	35
紫地球	0.851	0.182	0.176	36
晚黑宝	0.798	0.166	0.172	37
丽红宝	0.867	0.150	0.148	38
玫香宝	0.862	0.134	0.135	39
早黑宝	0.859	0.131	0.133	40
丝路紫无核	0.847	0.124	0.128	41

[13]段娜. 白刺对氮添加和干旱胁迫的生长生理响应及转录组学研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2019.

[14]郑听,熊鹏飞. 遮阴对太子参叶片叶绿素含量和净光合速率影响[J]. 贵州科学,2021,39(3):24-27.

[15]李雨霏,郭鹏飞,张小燕,等. 遮阴对青钱柳苗期光合特性和生长的影响[J]. 东北林业大学学报,2021,49(8):6-10.

[16]刘茜. 高羊茅耐阴的生理机制及其转录组学分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2021.

[17]李瑛,张睿佳,张伟达,等. 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选[J]. 果树学报,2015,32(5):885-893.

[18]娄玉穗,尚泓泉,吕中伟,等. 基于光合特性的 8 个葡萄品种耐弱光、抗高温特点比较[J]. 果树学报,2021,38(9):1491-1502.

[19]姚子巍,郭红艳,胡能兵. 辣椒杂交组合的光合作用指标比较[J]. 安徽科技学院学报,2021,35(2):30-34.

[20]苟秉调,段盼盼,杨楠,等. 低温弱光胁迫下辣椒苗期光合相关指标的杂种优势[J]. 浙江农业学报,2021,33(3):429-436.

[21]王震,朱计谋,阎腾飞,等. 不同光照度对信阳五月鲜桃叶片生长发育和光合作用的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(18):134-138.

[22]何小燕,马锦林,张日清,等. 弱光胁迫对植物生长影响的研究进展[J]. 经济林研究,2011,29(4):131-136.

[23]陈成. 基于层次分析法的农业节水灌溉适宜技术的研究——以四川农业大学现代农业研发基地为例[D]. 雅安:四川农业大学,2013.

[24]韩晓,王海波,王孝娣,等. 不同砧木对‘87-1’葡萄光合特性及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学,2018,51(10):1972-1981.

[25]张保玉. 葡萄光合作用光响应曲线的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009.

[26]熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都:四川科学技术出版社,2003.

[27]王晓红,纪明山. 入侵植物小飞蓬及其伴生植物的光合特性[J]. 应用生态学报,2013,24(1):71-77.

[28]韩晓,王海波,王孝娣,等. 基于 4 种光响应模型模拟不同砧木对夏黑葡萄耐弱光能力的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(10):3323-3330.

[29]Walczak D, Rutkowska A. Project rankings for participatory budget based on the fuzzy TOPSIS method[J]. European Journal of Operational Research,2017,260(2):706-714.

[30]李瑛. 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选[D]. 上海:上海交通大学,2015.

[31]刘文海,高东升,束怀瑞. 不同光强处理对设施桃树光合及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学,2006,39(10):2069-2075.