文献著录格式：吕晓菡，傅鸿妃，吴根良，等. 低温弱光下杭椒类辣椒不同世代间光合特性的比较[J]. 浙江农业科学，2018，59（2）：190-193.
DOI：10.16178/j.issn.0528-9017.20180209

低温弱光下杭椒类辣椒不同世代间光合特性的比较

吕晓菡，傅鸿妃，吴根良，陈建瑛*
（杭州市农业科学研究院 蔬菜研究所，浙江 杭州 310024）

摘 要：以 7 个不同世代的杭椒类辣椒植株为材料，研究了低温弱光逆境下，亲本与 F_1 代植株光合参数和叶绿素荧光参数的差异。研究表明：低温弱光胁迫下，F_1 代的光补偿点、光饱和点、光饱和时光合速率、净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度、蒸腾作用和基础荧光、最大荧光、最大光化学效率均接近于其亲本的光合参数和叶绿素荧光参数，表明杭椒类辣椒对低温弱光的耐受能力可以在不同世代间稳定遗传。另外，F_1 代的耐低温弱光能力并不是简单的遗传自亲本的其中一方，或者是父母本效应的简单叠加，而是一个复杂的父母本效应互作的结果，很可能与父母本间的特殊配合力有关。

关键词：低温弱光；杭椒类辣椒；光合参数；叶绿素荧光参数
中图分类号：S641.3 文献标志码：A 文章编号：0528-9017(2018)02-0190-04

辣椒（*Capsicum annuum* L.）是茄科辣椒属，起源于中美洲和南美洲的热带与亚热带地区，为典型的喜温性蔬菜，不耐低温，是我国栽培面积最大的蔬菜种类之一[1-2]。杭椒类辣椒是杭州及周边地区传统优势辣椒品种，在全国负有盛名，一道“杭椒牛柳”已成为其金招牌。目前，杭椒类辣椒早就不再局限于江浙沪地区，在湖北、安徽、海南、福建、山东等多个省市及地区均有大规模种植。据统计，杭椒类辣椒品种种子每年销售已突破 5 000 kg，种植面积达 1 万 hm^2 以上，而且种植区域和面积还在不断扩大。杭椒类辣椒的最大优势在于品质好，种植效益高，特别是早春设施栽培，春节前后杭州市场辣椒的市场成交价超过 10 元·kg^{-1}。然而，由于目前设施栽培大多以非加温的日光温室和塑料大棚为主，冬季和早春时节，江浙沪地区容易出现连阴雨天气。大量研究表明，当低温弱光逆境较轻时，植物叶片气孔关闭，光合作用减弱；当低温弱光逆境较严重时，光合作用碳同化关键酶 RuBP 羧化酶和其他一些酶的活性明显下降，并进一步减缓光合作用产物淀粉等的运输，造成对光合作用的反馈抑制，显著降低净光合速率，导致植株生长减慢，甚至停止生长[3-5]。因此，低温弱光胁迫一直是早春设施杭椒类辣椒生产中一种较为普遍的逆境，对其生产造成很大的限制。

光合作用是对低温弱光反应最敏感的生理过程之一。朱为民等[6]提出可将光合特性作为番茄设施专用品种选育的指标，王可玢等[7]提出叶绿素 a 荧光诱导动力学方法是鉴定番茄抗冷性的一个快速、灵敏和可靠的方法。近年来，有关低温弱光对辣椒光合速率的影响已有诸多报道，但对低温弱光下辣椒不同世代光合特性的差异却鲜有报道。本研究以杭椒类辣椒为材料，从植株光合特性入手，研究低温弱光下辣椒亲本与子代光合参数和叶绿素荧光参数的差异，以期初步获得探索杭椒类辣椒耐低温弱光遗传机理的新途径。

1 材料与方法

1.1 材料

选取杭椒类辣椒 7 份，分别为杭椒 12 号、杭椒 2731、杭椒 206、杭二♀-1-1-后-后、03-11-2-后-7-1-1、吉林 2015、杭椒 73-1-1。其亲缘关系如图 1 所示，其中，杭二♀-1-1-后-后、03-11-2-后-7-1-1 为母本，吉林 2015、杭椒 73-1-1 为父本，杭椒 12 号、杭椒 2731、杭椒 206 为杂交 F_1 代。供试辣椒

收稿日期：2017-12-12
基金项目：浙江省农业（蔬菜）新品种选育重大专项子课题（2016C02051-2-5）；杭州市农业科研主动设计项目（20162012A01）
作者简介：吕晓菡（1982—），女，浙江新昌人，高级农艺师，硕士，从事辣椒育种及植物生理方面的研究工作，E-mail：45718653@qq.com。
通信作者：陈建瑛（1975—），男，浙江天台人，高级研究员，学士，从事蔬菜育种方面的研究工作，E-mail：976934543@qq.com。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

种质于 2016 年 8 月中下旬在杭州市农业科学研究院蔬菜所试验基地内开始栽培。先将各辣椒种质进行穴盘育苗，然后移植入设施大棚内继续栽培备用。

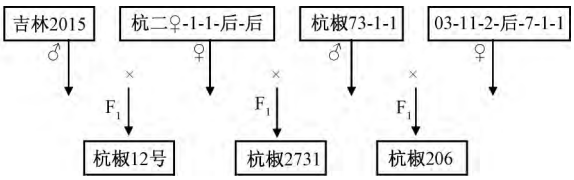

图 1　供试辣椒的亲缘关系

1.2　试验方法

低温处理：用温湿度仪每隔 2 h 测定棚内的温度，由于试验于 2016 年 12 月至翌年 1 月进行，叶绿素荧光参数测定前的 15 d 棚内昼夜平均温度始终低于或接近于 5 ℃/3 ℃（昼温/夜温）。

弱光处理：在光合参数和叶绿素荧光参数测定前 15 d，用遮阳网对大棚进行适当覆盖，并用光照测定仪测定光照强度，使棚内的光照强度始终在 1 000 lx 以下。

1.3　光合参数的测定

光合参数的测定参照文献[8]的方法。低温弱光处理 10 d 后，选取不同处理植株功能叶（从基部向上数第 5 叶或第 6 叶），利用便携式 LI-6400 光合仪（美国 LI-COR 公司），通过控光进行光响应曲线测定。每个材料每处理下测定重复 3～4 片叶，取平均值。在 CO_2 浓度 400 μmol·mol^{-1} 下，叶室光合有效辐射（PAR）设置梯度为 0、20、50、100、200、500、1 000、1 500、2 000 μmol m^{-2}·s^{-1}，测定净光合速率（net photosynthesis rate，Pn）、气孔导度（stomatal conductance，Gs）、胞间 CO_2 浓度（intercellular CO_2 concentration，Ci）和蒸腾速率（transpiration rate，Tr）等参数。

1.4　叶绿素荧光参数的测定

叶绿素荧光参数的测定参照文献[9]的方法。低温处理 10 d 后，在不同低温弱光处理下，采用便携式 LI-6400 光合仪进行光强响应曲线、快速动力学曲线的测定，所有指标均重复 3～5 次，取平均值。选取不同处理植株功能叶（从基部向上数第 5 叶或第 6 叶）测定。测定前幼苗先暗适应 1 h，然后关闭便携式 LI-6400 光合仪的内置光源，测定初始荧光（initial fluorescence，Fo）、最大荧光（maximal fluorescence，Fm）、PSⅡ最大光化学效率（Fv/Fm）。

1.5　数据分析

采用 Microsoft Excel SAS 统计软件，运用方差分析处理和分析数据，采用单因素方差分析（one-way ANOVA）比较不同处理之间的差异性，结果用平均值±标准差表示。

2　结果与分析

2.1　不同世代辣椒材料光合参数的差异

由表 1 可见，在相同的低温弱光逆境下，不论是不同世代间，还是亲本间、F_1 代间，辣椒植株的光补偿点（light compensation point，LCP）、光饱和点（light saturation point，LSP）、光饱和时光合速率等指标均出现明显差异。这可以初步说明，低温弱光胁迫可以通过直接影响光合机构的结构和活性来影响辣椒幼苗光合作用，在同一低温弱光逆境下，不同基因型的辣椒材料对逆境的耐受性有明显差异。另外，从表 1 中还可以发现，3 个 F_1 代的 LCP、LSP、光饱和时光合速率指标大致居于父母本指标之间，其中，杭椒 12 号和杭椒 206 与其母本杭二♀-1-1-后-后、03-11-2-后-7-1-1 更为接近。

表 1　低温弱光下辣椒植株的光补偿点、光饱和点和光饱和时光合速率

材料	世代	光补偿点/（μmol·m^{-2}·s^{-1}）	光饱和点/（μmol·m^{-2}·s^{-1}）	光饱和时光合速率/（μmol·m^{-2}·s^{-1}）
杭椒 12 号	F_1	37.4±1.5 a	1 613±26 b	4.07±1.56 e
杭椒 2731	F_1	24.7±2.1 c	1 502±12 c	7.7±0.62 b
杭椒 206	F_1	8.6±1.3 d	982±18 e	6.7±1.02 c
杭二♀-1-1-后-后	母本	31.5±2.6 b	1 686±27 a	4.9±1.29 de
03-11-2-后-7-1-1	母本	26.3±2.2 bc	1 020±34 e	5.3±1.12 de
吉林 2015	父本	26.8±2.8 bc	1 485±28 cd	8.4±1.05 a
杭椒 73-1-1	父本	24.1±3.2 c	1 435±19 cd	6.6±1.53 c

注：测定时 CO_2 浓度为（400 ± 10）μmol·mol^{-1}，温度（10 ± 1）℃；表中数据为平均值±标准差。

逆境胁迫导致植物光合速率降低的原因包括气孔和非气孔因素。由图 2 可知，在低温弱光胁迫下，随着 PAR 的降低，叶片的 Pn、Gs 和 Tr 均减小，同时 Ci 逐渐增大，说明弱光下辣椒光合作用

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的主要限制因素是非气孔因素，如 RuBP 羧化酶受限制、无机磷限制、光化学机构受到破坏和光合产物运输减慢等原因减缓了光合作用，阻碍了光能对 CO_2 的利用，造成细胞间隙 CO_2 积累[10-11]。另外，对低温弱光下不同世代辣椒材料 Pn、Ci、Gs、Tr 变化进行分析发现，随着 PAR 的不断变化，3 个 F_1 代的 Pn、Ci、Gs、Tr 值始终居于其父母本之间或接近于其中一方（图 2）。这说明，在低温弱光下，杭椒类辣椒对光的吸收能力可以在世代间稳定遗传。

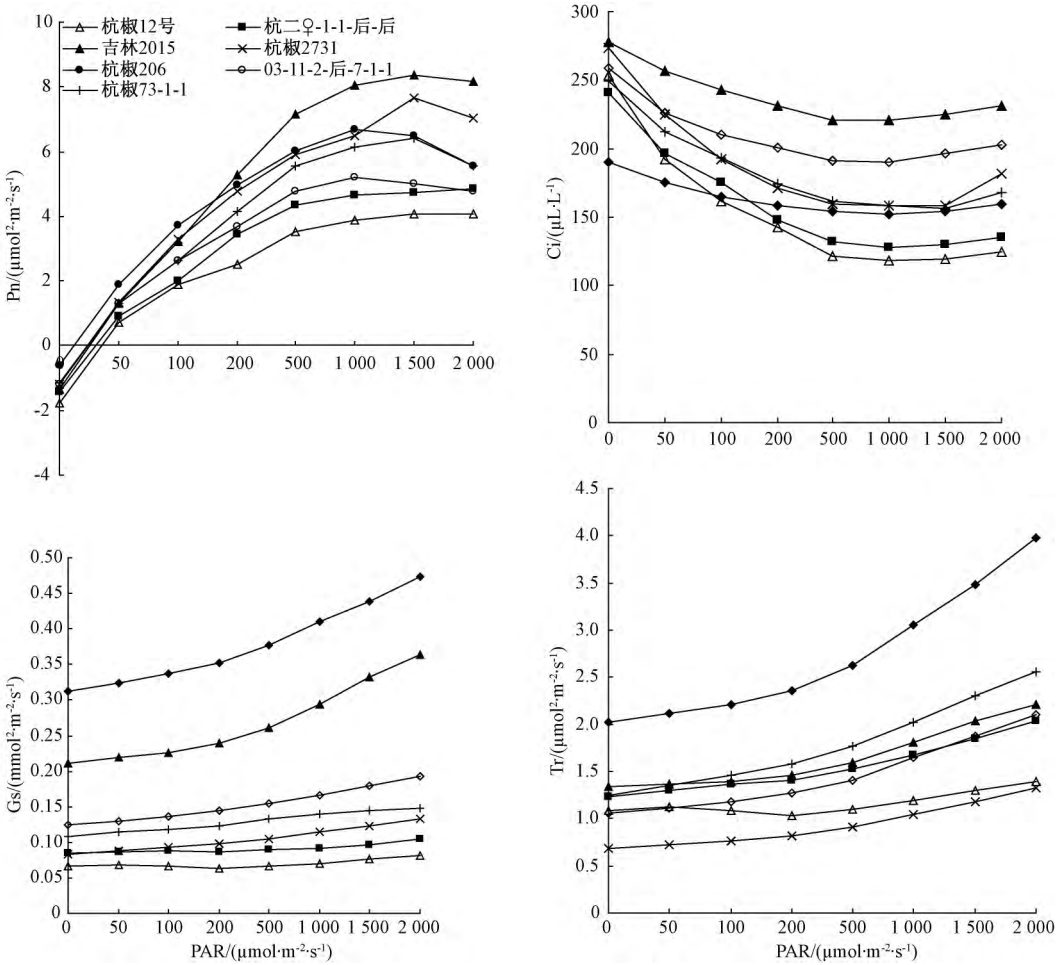

图 2 不同辣椒幼苗在低温弱光下 Pn、Ci、Gs、Tr 的变化

2.2 辣椒幼苗 Fo、Fm、Fv/Fm 的比较

基础荧光 Fo 表示 PSⅡ反应中心全部开放，即原初电子受体 Q 全部氧化时的荧光水平，最大荧光 Fm 是 PS 反应中心完全关闭时的荧光产量，反映了通过 PSⅡ的电子传递情况[12-13]。由图 3 可知，低温弱光下，3 个 F_1 代的 Fo、Fm 值都较接近于其亲本，推测在低温弱光下，杭椒类辣椒植株 PSⅡ反应中心的电子传递能力可以在世代间稳定遗传。

最大光化学效率 Fv/Fm 指 PSⅡ最大光化学效率（PSⅡ原初光能转化效率），它的变化代表 PSⅡ光化学效率的变化，其值越低证明其发生光抑制的程度越高。由图 3 可知，3 个 F_1 代中，杭椒 2731 最大光化学效率最高，4 个亲本材料中杭椒 73-1-1 的最大光化学效率最高，而杭椒 73-1-1 正是 F_1 代杭椒 2731 的父本，这充分说明在低温弱光下，杭椒类辣椒植株的光能利用率和光合潜能可以在世代间稳定遗传。另外，母本同为杭二♀-1-1-后-后的 F_1 代杭椒 12 号和杭椒 2731 的 Fv/Fm 值差异较大，而二者的父本（吉林 2015、杭椒 73-1-1）则差异较小。父本（杭椒 73-1-1）相同的 F_1 代，母本（杭二♀-1-1-后-后）Fv/Fm 值低的 F_1 代杭椒 2731 的 Fv/Fm 反而比母本（03-11-2-后-7-1-1）Fv/Fm 值较高。说明 F_1 代的光能利用率和光合潜能并不是简单地遗传自亲本的其中一方，而可能是父母本

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

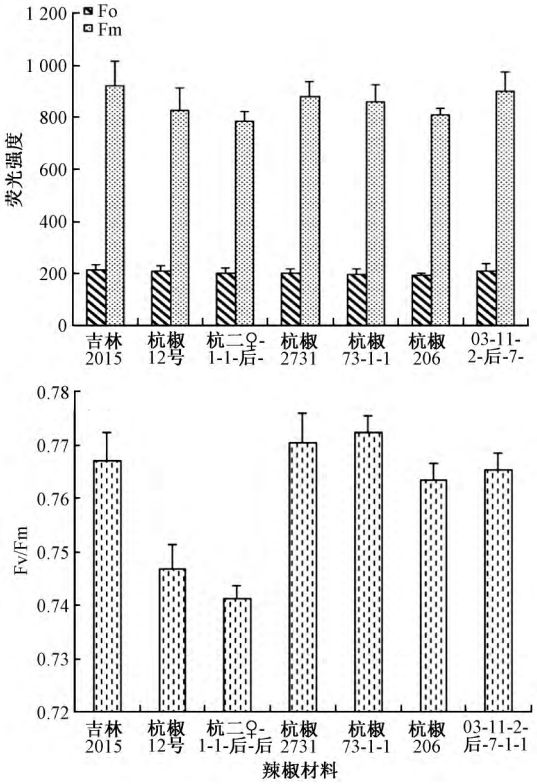

图3 不同辣椒幼苗在低温弱光下的Fo、Fm和Fv/Fm

效应互作的结果。

3 讨论

低温弱光一直是制约越冬早春杭椒保护地生产的关键因子，因此，探索杭椒类辣椒耐低温弱光能力能否在世代间稳定遗传及其遗传机理，是选育耐低温弱光杭椒新品种的关键。光合参数和叶绿素荧光参数是鉴定植株耐低温弱光能力的重要指标。本研究发现，低温弱光胁迫导致杭椒类辣椒植株光合速率下降的因素是非气孔因素，可能是RuBP羧化受限制、光化学机构受到破坏等原因减缓了整个光合作用途径的运行，结果造成胞间CO_2积累。另外，杭椒F_1代植株的光合参数和叶绿素荧光参数均接近于其亲本，说明杭椒类辣椒植株在低温弱光下对光的吸收能力、电子传递能力及光能利用能力均可以被稳定地遗传给下一代，表明杭椒类辣椒对低温弱光的耐受能力是可以在世代间稳定遗传的，亲本耐低温弱光能力强，通常其F_1代也具有较高的耐低温弱光能力。另外，F_1代的耐低温弱光能力并不是简单的遗传自亲本的其中一方，或者是父母本效应的简单叠加，而可能是一个复杂的父母本效应互作的结果，可能与父母本的特殊配合力有关，具体机理还需要继续研究。

参考文献：

[1] 徐伟慧，王兰兰，王志刚. 低温对辣椒幼苗生理生化特性的影响 [J]. 甘肃农大学报，2006，41（4）：56-59.

[2] 王萍，郭晓冬，赵鹏. 低温弱光对辣椒叶片光合色素含量的影响 [J]. 北方园艺，2007（7）：15-17.

[3] 王永健，张海英，张峰，等. 低温弱光对不同黄瓜品种幼苗光合作用的影响 [J]. 园艺学报，2001，28（3）：230-234.

[4] 张红梅，余纪柱，金海军. 低温弱光对黄瓜植株生长、光合特性的影响 [J]. 沈阳农业大学学报，2006，37（3）：339-342.

[5] 何勇，符庆功，朱祝军. 低温弱光对辣椒叶片光合作用、叶绿素荧光猝灭及光能分配的影响 [J]. 核农学报，2013，27（4）：479-486.

[6] 朱为民，朱龙英，陆世钧，等. 光合特性作为番茄设施专用品种选育指标的效应 [J]. 上海农业学报，2001，17（4）：45-48.

[7] 王可玢，赵福洪，王孝宣，等. 用体内叶绿素a荧光诱导动力学鉴定番茄的抗冷性 [J]. 植物学报，1996，13（2）：29-33.

[8] 眭晓蕾，张宝玺，张振贤，等. 不同品种辣椒幼苗光合特性及弱光耐受性的差异 [J]. 园艺学报，2005，32（2）：222-227.

[9] 刘立云，李艳，杨伟波，等. 不同品种油茶叶绿素荧光参数的比较研究 [J]. 热带作物学报，2012，33（5）：886-889.

[10] ALLEN D J，ORT D R. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants [J]. Trends in Plant Science，2001，6（1）：36-42.

[11] KRALL J P，EDWARDS G E，KRALL J P，et al. Environmental effects on the relationship between the quantum yields of carbon assimilation and *in vivo* PsⅡ electron transport in maize [J]. Functional Plant Biology，1991，18（3）：267-278.

[12] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论 [J]. 植物学报，1999，16（4）：444-448.

[13] 孔海云，张丽霞，王日为. 低温与光照对茶树叶片叶绿素荧光参数的影响 [J]. 茶叶，2011，37（2）：75-78.

（责任编辑：侯春晓）

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net