

侯梦媛,姜琳琳.寡照胁迫对设施草莓营养生长及生殖生长的影响[J].江苏农业科学,2021,49(13):125-130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.13.025

寡照胁迫对设施草莓营养生长及生殖生长的影响

侯梦媛¹,姜琳琳²

(1. 山东省微山县气象局,山东微山 277600; 2. 宁夏气象科学研究所,宁夏银川 750000)

摘要:以草莓品种明晶为试验材料在日光温室对草莓进行寡照胁迫试验,设置 6 个寡照胁迫处理,分别为遮阴持续 1(T₁)、3(T₂)、5(T₃)、7(T₄)、10(T₅)、15 d(T₆),以不遮阴处理为对照(CK),探讨草莓营养生长及生殖生长特性对不同寡照胁迫时间的响应。结果表明,草莓花器官对弱光较为敏感,寡照日数达 3 d 即可使草莓的开花数及开花率降低,开花的始盛点、高峰点、盛末点提前,且最大生长速率降低 7.14%~17.86%。寡照 7 d 以上会使草莓坐果数及坐果率降低,且坐果及产量的始盛点、高峰点、盛末点均表现出推迟的趋势。当寡照日数达 10 d 时,草莓的株高、茎粗、叶柄长、叶面积及叶片数也会受到显著抑制。但草莓能够适应短期的弱光条件,寡照处理 1 d 能够使草莓开花的盛末点推迟 6.56 d,同时使产量的最大生长速率提高 18.67%。

关键词:设施草莓;寡照;营养;开花;坐果;产量

中图分类号:S668.401 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)13-0125-06

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属于蔷薇科草莓属多年生宿根性草本植物,在园艺学上属浆果类水果^[1]。20 世纪 80 年代以来,我国草莓种植面积不断扩大,草莓产量居世界首位。草莓是喜光植物,生长过程中的充足光照能够促进植株生长及产量积累,光照不足时其生长发育受阻^[2]。因此,研究寡照对设施草莓的影响对于我国设施作物发展具有重要意义。

国内外对寡照胁迫对作物生长发育的影响进行了大量研究。一般而言,寡照首先影响作物的营养生长情况,株高、茎粗、叶片数、叶面积等指标均

受到抑制^[3-7],且抑制程度随寡照胁迫程度的不同而呈现一定差异。但也有研究发现,一定程度的弱光能够减轻作物叶片的光抑制效应,反而能够促进植株生长,如烤烟、臭椿等在 50% 以上的弱光处理下表现出株高增加、叶面积变大、叶片数增多等现象^[8-9]。

营养生长状况直接影响到植株光合产物的积累,因此在寡照环境下作物开花坐果等生殖生长特性也有一定改变。Rylski 等研究发现,弱光使辣椒花粉活力下降,不但降低了其落花率、坐果数量及产量,还改变了辣椒的坐果位置^[10]。鲁福成等研究发现,弱光影响下的番茄植株开花期显著推迟,果实生长期缩短,快速生长期内的生长量累积减少^[11]。Lv 等通过 3 种遮阴处理发现棉花棉铃数和铃质量随寡照胁迫程度增加而减小,产量显著降低^[12]。朱雨晴等进一步研究发现,遮阴 3 d 以上增加了番茄的落花率、畸形果和病果数量,遮阴 6 d 以

收稿日期:2021-01-15

基金项目:济宁市气象局气象科学技术研究项目重点课题[编号:2019JNZL03(重点)]。

作者简介:侯梦媛(1992—),女,山东济宁人,硕士,助理工程师,主要从事农业气象灾害研究。Tel:(0537)8221279, E-mail:910435883@qq.com。

[7]韩瑞宏,高桂娟.秋眠级不同的紫花苜蓿苗期耐热性评价[J].

畜牧与饲料科学,2009,30(6):158-159,180.

[8]吴斌,蒋秋玮,顾婷婷,等.高温胁迫下不同耐热性萝卜幼苗生理响应分析[J].中国蔬菜,2010(10):25-28.

[9]李忠光,龚明.抗氧化系统在热诱导的玉米幼苗耐热性形成中的作用[J].云南植物研究,2007,29(2):231-236.

[10]陈火英,张建华,汪隆植.萝卜幼苗耐热性与过氧化物酶和超氧化物歧化酶关系的研究[J].上海农学院学报,1990,8(4):265-269.

[11]韩毅科,杜胜利,张桂华,等.黄瓜苗期耐高温性鉴定[J].中国

瓜菜,2009,22(3):1-4.

[12]吴晓花,周雯,汪宝根,等.高温胁迫下 6 份瓠瓜材料的耐热性分析[J].浙江农业科学,2017,58(7):1169-1173.

[13]张力.西瓜耐热性指标鉴定及材料筛选研究[D].南宁:广西大学,2014:4-6.

[14]李龙兴,王志伟,陈莹.高温胁迫对 5 种牧草生理生化特性的影响[J].草原与草坪,2019,39(4):107-111.

[15]戴鸣凯.高温胁迫对马铃薯幼苗生长和生理的影响及相关耐热基因分析[D].福州:福建农林大学,2018:8-11.

上则会降低其落果率及产量^[13]。但也有研究指出,弱光能够改善果实的物理特性,适度的寡照处理能够使作物果实体积增大、质量增加,产量增多,发生锈斑病的病果率也有一定减少^[14-16]。

近年来雾霾天气频发,日照时数减少,寡照已成为影响秋冬季北方作物生长的重要气象灾害^[17]。据统计,山东省冬季连阴天日数一般不超过 15 d^[18]。因此,本研究结合山东省连阴天日数模拟寡照逆境,探讨设施草莓植株营养生长及生殖生长对不同寡照胁迫天数的响应规律,以期为设施草莓栽培管理及防灾减灾提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2019 年 11 月至 2020 年 2 月在山东省济宁市微山县泽丰农业园日光温室内进行。供试温室顶高为 4.6 m,长为 72.0 m,宽为 12.0 m,覆盖聚乙烯无滴膜(透光系数为 75%),土壤为沙壤土。供试草莓品种为明晶,选取株高约 5 cm 的长势一致的幼苗定植,行距为 0.4 m,株距为 0.3 m。待草莓植株进入现蕾期时,在草莓植株上方 2 m 处架设遮阳网覆盖不同天数进行处理,试验期间采用阴雨天气不遮、多云天气遮 1 层、晴天遮 2 层的方式进行调整,以确保处理期间光照强度低于 400 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。试验共设置 6 个寡照胁迫处理,分别为遮阴持续 1 (T1)、3 (T2)、5 (T3)、7 (T4)、10 (T5)、15 d (T6),以不遮阴处理为对照(CK)。每个处理重复 3 次。田间管理按高产栽培水平进行,每 16 d 施氮磷钾复合肥 1 次。

1.2 项目测定与方法

1.2.1 营养生长指标 每个处理选取 3 株长势一致的草莓植株,进入结果期后测定番茄植株的株高、茎粗、叶柄长、单叶叶面积和叶片数。株高为草莓植株基部至叶片最高处之间的距离,cm;茎粗为新茎基部上方 1 cm 处的直径,cm;叶柄长为心叶向外第 3 片展平的功能叶的叶柄长度,cm;叶片数为植株三出复叶的总数量,张;叶面积为心叶向外第 3 片展平的功能叶面积^[19], cm^2 。

1.2.2 生殖生长指标 每个处理选取 3 株长势一致的草莓植株,将寡照处理全部结束日(2019 年 11 月 27 日)作为开始测定生殖生长指标的时间,之后每隔 6 d 统计 1 次各花序上的花蕾数、开花数、坐果数和产量,直至采收结束。其中,开花率、坐果率分

别为开花数或坐果数占花蕾数的百分比。

1.3 开花数、坐果数和产量的 Logistic 生长模型

根据 Logistic 模型模拟草莓生殖生长动态,Logistic 方程为

$$y = \frac{k}{1 + ae^{-bx}} \quad (1)$$

式中: y 为开花数、坐果数或产量的模拟值; x 为处理后天数; k 为开花数、坐果数或产量的极限值; a 、 b 为参数; e 为自然对数的底数。分别对方程求一阶、二阶、三阶导数,得到草莓开花、坐果或产量的始盛点(x_1)、高峰点(x_2)、盛末点(x_3)、迅速生长时间(t)和最大生长速率(v_{\max})^[20],其中:

$$x_1 = (\ln a - 1.317)/b; \quad (2)$$

$$x_2 = (\ln a)/b; \quad (3)$$

$$x_3 = (\ln a + 1.317)/b; \quad (4)$$

$$t = x_3 - x_1; \quad (5)$$

$$v_{\max} = 0.25kb. \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 寡照胁迫对草莓营养生长的影响

由表 1 可以看出,寡照处理 10 d 后,草莓植株的营养生长受到严重抑制,株高、茎粗、叶柄长、叶面积及叶片数均显著低于 CK 处理,其中 T6 处理长势最差,株高、叶柄长分别较 CK 降低 4.67%、11.50%,茎粗、叶面积及叶片数分别较 CK 减少 28.01%、41.45%、18.83%。T4 处理下的草莓植株只有叶面积比 CK 减小了 9.35 cm^2 ,其他指标与 CK 差异并不明显。寡照胁迫不超过 5 d 时,草莓植株株高、茎粗、叶柄长、叶面积及叶片数均与 CK 处理没有明显差异。

2.2 寡照胁迫对草莓生殖生长的影响

2.2.1 寡照胁迫对草莓开花特性的影响 图 1 为不同寡照胁迫下草莓开花数(图 1-a)和开花率(图 1-b)的变化趋势。由图 1-a 可知,各处理草莓开花数随时间延长基本呈“S”形变化,且随着寡照胁迫天数的增加,开花总数呈逐渐减小的趋势。T1 处理的草莓植株开花数随时间的变化曲线与 CK 基本一致。T2、T3 处理下的草莓植株开花数在处理 21~41 d 表现出略高于 CK 处理的趋势,但 55 d 后低于 CK 处理,最大开花数分别较 CK 减少 7.74%、12.95%,说明 3~5 d 的寡照处理虽能在一定程度上促进草莓植株开花数的增长,但最终仍会降低其开花总数量。T5、T6 处理的草莓植株在整个开花时

表 1 寡照胁迫对设施草莓营养生长的影响

处理	株高 (cm)	茎粗 (cm)	叶柄长 (cm)	叶面积 (cm ²)	叶片数 (张)
CK	24.18 ± 3.93a	4.32 ± 0.66a	15.82 ± 1.58a	57.88 ± 5.83a	15.61 ± 1.83a
T1	25.02 ± 2.17a	3.89 ± 1.20a	14.67 ± 2.15a	52.00 ± 7.62a	16.35 ± 2.62a
T2	25.81 ± 4.00a	4.55 ± 1.39a	15.33 ± 1.14a	62.06 ± 7.41a	15.67 ± 1.91a
T3	23.96 ± 2.78a	3.20 ± 1.47a	14.67 ± 1.46a	48.53 ± 6.47ab	16.00 ± 1.47a
T4	24.52 ± 1.34a	3.95 ± 0.40a	14.33 ± 2.00a	39.44 ± 4.71b	15.00 ± 0.71ab
T5	22.02 ± 2.01b	3.49 ± 1.07ab	13.75 ± 0.58b	42.53 ± 5.09b	14.24 ± 1.09b
T6	23.05 ± 1.18b	3.11 ± 1.16b	14.00 ± 1.11b	33.89 ± 6.95c	12.67 ± 0.95c

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

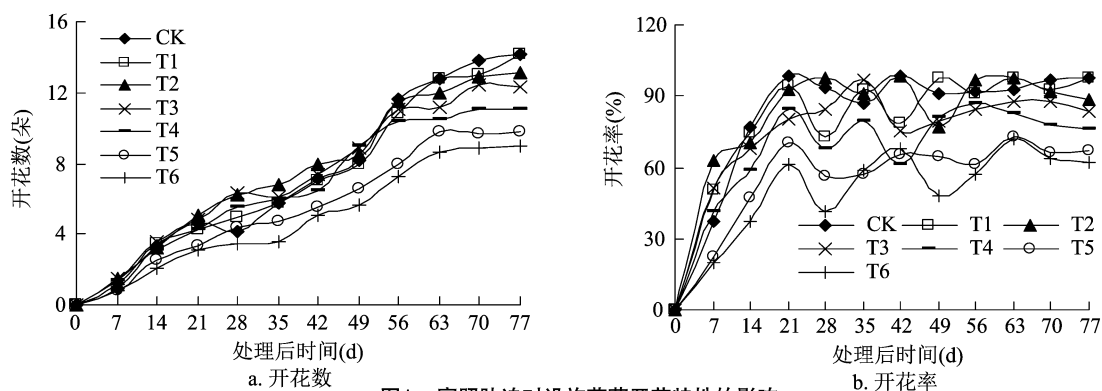


图 1 寡照胁迫对设施草莓开花特性的影响

段均低于 CK 处理,在处理后 77 d 时,T5、T6 处理的草莓植株开花数分别较 CK 减少 30.82%、37.16%,说明寡照处理 10 d 及以上严重抑制了草莓植物开花。

由图 1-b 可知,各处理的草莓植株开花率在处理后 0~14 d 呈迅速增加的趋势,寡照胁迫处理的草莓植株开花率在 21 d 后波动剧烈。除 T1 处理外,其他寡照胁迫处理的草莓植株开花率均在 62 d 后开始表现出明显下降的趋势,且最终开花率明显低于 CK 处理。

2.2.2 寡照胁迫对草莓坐果特性的影响 由图 2 可知,T1、T2、T3 处理下的草莓植株坐果数在处理后 28~41 d 表现出略高于 CK 的趋势,且最终坐果数的差异不明显(图 2-a),说明适度的寡照处理能在一定程度上提升坐果初期草莓植株的果实数量。但 T4、T5、T6 处理的坐果数则明显低于 CK 处理,尤其 T5、T6 处理下的草莓植株坐果数在处理后 35 d 开始表现出明显低于 CK 处理的趋势,最终坐果数分别较 CK 减少 14.63%、15.53%,说明寡照处理 10 d 及以上对草莓植株的坐果产生了较大影响。

从不同寡照胁迫下草莓植株坐果率的变化趋势(图 2-b)可以看出,T1、T2 处理下的草莓植株坐

果率趋势变化与 CK 基本一致,但 T3、T4、T5、T6 处理则对草莓植株的坐果率产生了明显影响,其中 T5、T6 处理受到的影响较大,整个采收阶段的坐果率分别较 CK 下降 14.97%~41.69%、14.78%~49.38%。

2.2.3 寡照胁迫对草莓产量的影响 图 3 为不同寡照胁迫处理下的草莓产量变化趋势,可以看出,T1、T2 处理的草莓植株产量变化与 CK 基本一致,最终产量的差异并不明显。T3 处理的草莓产量在采收的中后期表现出略低于 CK 处理的趋势,但最终产量与 CK 差异较小。T4、T5、T6 处理的草莓产量从处理后 35 d 开始显著低于 CK 处理,尤其是 T6 处理的最终产量较 CK 处理降低 39.04%。

2.3 寡照胁迫下草莓生殖特性模拟

2.3.1 寡照胁迫下草莓开花数的模拟 利用 Logistic 生长模型分别对各处理草莓植株的开花数、坐果数、产量与处理后天数进行拟合,得到模型参数及特征值见表 2 至表 4。由表 2 可知,T1 处理的草莓植株开花的始盛点和高峰点与 CK 处理差异并不明显,但盛末点较 CK 推迟了 6.56 d。除 T1 处理外,其余寡照处理草莓植株开花的始盛点、高峰点

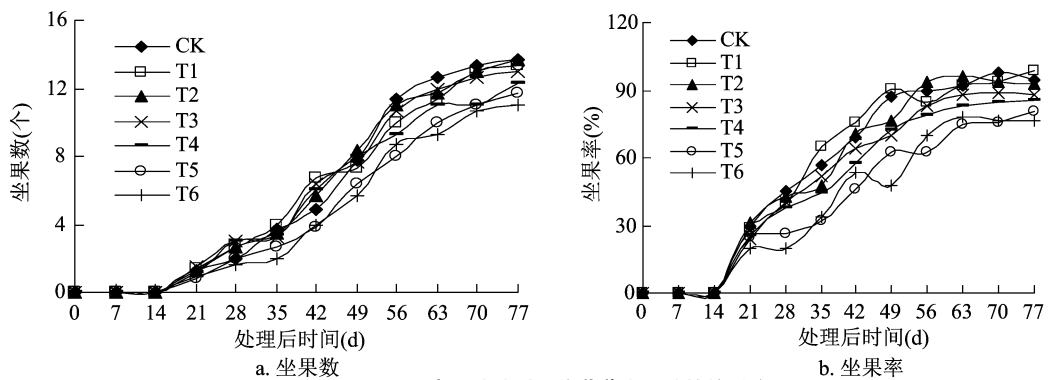


图2 寡照胁迫对设施草莓坐果特性的影响

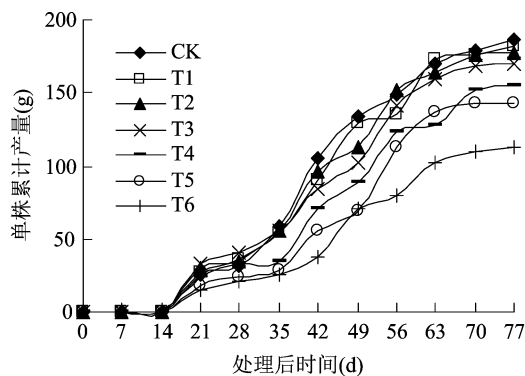


图3 寡照胁迫对设施草莓产量的影响

和盛末点均较 CK 有不同程度的提前。但是,寡照胁迫处理下的草莓植株开花的最大生长速率较 CK 降低 7.14% ~ 17.86%。

2.3.2 寡照胁迫下草莓坐果数的模拟 T1 处理的草莓坐果的始盛点较 CK 提前了 2.04 d,盛末点较 CK 推迟了 2.07 d,但高峰点与 CK 处理差异并不明显(表 3)。T2、T3 处理的草莓坐果的始盛点、高峰点和盛末点则均较 CK 有所提前。当寡照超过 7 d 时,草莓坐果的始盛点、高峰点和盛末点均表现出明显的推迟趋势,其中 T5、T6 处理草莓坐果的始盛点分别较 CK 推迟了 0.71、1.58 d。寡照胁迫能够

表 2 寡照胁迫下设施草莓开花的 Logistic 模型特征值

指标	处理	模型参数			决定系数	始盛点 (d)	高峰点 (d)	盛末点 (d)	最大生长 速率(个/d)
		k	a	b					
开花	CK	14.88	18.02	0.08	0.979 *	20.77	38.15	55.52	0.28
	T1	15.43	13.33	0.06	0.968 *	20.23	38.16	62.08	0.24
	T2	13.86	10.16	0.07	0.972 *	14.67	33.96	53.24	0.24
	T3	12.98	9.76	0.07	0.985 *	13.65	32.35	51.05	0.23
	T4	11.12	15.28	0.09	0.988 *	14.95	28.91	42.87	0.26
	T5	9.99	20.61	0.09	0.969 *	18.12	32.08	46.05	0.24
	T6	8.94	38.91	0.12	0.974 *	20.31	31.72	43.14	0.26

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关,下表同。

表 3 寡照胁迫下设施草莓坐果的 Logistic 模型特征值

指标	处理	模型参数			决定系数	始盛点 (d)	高峰点 (d)	盛末点 (d)	最大生长 速率(个/d)
		k	a	b					
坐果	CK	13.94	120.33	0.11	0.977 *	31.00	42.75	54.50	0.39
	T1	13.80	59.14	0.10	0.980 *	28.96	42.76	56.57	0.33
	T2	13.67	106.27	0.11	0.969 *	29.89	41.64	53.40	0.38
	T3	13.26	65.46	0.10	0.967 *	27.77	40.54	53.31	0.34
	T4	13.10	33.98	0.08	0.980 *	27.57	44.00	60.44	0.26
	T5	12.21	71.73	0.09	0.979 *	31.71	45.84	59.97	0.28
	T6	12.14	60.60	0.09	0.968 *	32.58	47.97	63.36	0.26

降低草莓坐果的最大生长速率,其中 T4、T5、T6 处理受到的影响较大,其坐果的最大生长速率分别较 CK 降低了 33.33%、28.20%、33.33%。

2.3.3 寡照胁迫下草莓产量的模拟 T1、T2、T3 处理下的草莓产量的峰值点和盛末点均提前于 CK 处理,其中峰值点提前了 1.58~3.19 d,盛末点提前了 2.88~6.72 d(表 4)。值得注意的是,T1、T2、T3 处

理下的草莓产量的最大生长速率均较 CK 有所提高,其中 T1 处理最高,为 5.53 g/d。但寡照处理超过 7 d 时,草莓产量生长的特征点及最大生长速率则表现出相反的特征。T4、T5、T6 处理草莓产量生长始盛点、峰值点和盛末点均有不同程度的推迟,且最大生长速率分别较 CK 降低了 27.25%、22.10%、41.41%。

表 4 寡照胁迫下设施草莓产量的 Logistic 模型特征值

指标	处理	模型参数			决定系数	始盛点 (d)	高峰点 (d)	盛末点 (d)	最大生长 速率(g/d)
		<i>k</i>	<i>a</i>	<i>b</i>					
产量	CK	193.19	28.31	0.10	0.989 *	28.31	41.96	55.61	4.66
	T1	183.68	29.29	0.12	0.965 *	28.29	40.38	51.46	5.53
	T2	181.57	28.00	0.11	0.985 *	28.00	40.36	52.73	4.83
	T3	170.13	28.65	0.13	0.972 *	28.65	38.77	48.89	5.45
	T4	173.83	30.02	0.08	0.973 *	30.02	46.91	63.81	3.39
	T5	155.89	32.32	0.09	0.976 *	32.32	46.45	60.58	3.63
	T6	114.32	30.21	0.10	0.989 *	30.21	44.01	57.82	2.73

3 结论与讨论

草莓的生长发育状况对光照有较强的依赖性,其外观形态特征、光合特性、花芽分化、产量品质等均对光照的改变较为敏感^[21-23]。在长期遮阴环境下,由于植株接受的幅热累积减少,叶绿素合成及光合作用受到抑制;同时,植株内源激素平衡发生改变,干物质更多分配到根系以供植株进行养分获取,因而植株地上部分常会出现枝叶分化困难、生长受阻等情况^[24-27]。张明宏在对温室草莓生长发育研究中发现,草莓植株的生长势在 70% 以上的弱光处理 30 d 时明显减弱,株高、茎粗、叶面积、叶柄长生长均受到抑制^[2]。本研究中,草莓植株的营养生长在寡照处理 10 d 后受到严重抑制,株高、茎粗、叶柄长、叶面积及叶片数均显著低于 CK 处理,这与番茄、马铃薯、铁线莲等植物对寡照逆境反应相似^[13,26,28]。但寡照处理 5 d 的草莓植株长势没有明显改变,这说明草莓植株本身具有一定的抗逆能力,能够调控自身生长以适应轻度的寡照环境^[15,29]。

光照对植物的花芽分化、成花诱导、花序建立有着非常重要的影响,而花器官的生长直接影响果实发育及最终产量^[30-32]。本研究结果表明,寡照处理 3 d 以上会降低草莓植株的开花数和开花率,5 d 以上草莓坐果数和坐果率有所减少,7 d 以上草莓产量也明显降低,且上述指标减少程度与胁迫时间

长短关系密切,尤其在寡照 10 d 以上时,草莓生殖生长各项指标均较 CK 有大幅降低。这是因为营养生长是植株发育的物质基础,当寡照胁迫时间超过植株自身调节能力后,其体内的养分平衡条件被破坏,花蕾营养短缺、发育不良,导致成花诱导受抑制甚至败育^[33-34];而花器官受损影响受精结实,降低果实质量及坐果率,增加畸形果、落果概率,最终导致产量下降^[13,35]。

Logistic 模型蕴藏着很多生物生态学信息,本试验中草莓开花数、坐果数及产量生长均随时间呈“S”形曲线变化,因而利用 Logistic 模型对上述指标进行拟合,能够进一步反映草莓植株在寡照逆境下的生长特性。研究发现,3 d 以上的寡照处理能够使草莓植株开花的始盛点、高峰点、盛末点提前,这可能是因为逆境下植株须提前生育进程以减少养分消耗^[20]。但由于寡照胁迫较重的情况下,植株花粉管的发育和花朵分化受到抑制,花药开裂、散粉异常,植株营养分配失衡,同时恢复及抗病虫害的能力下降,落花落率增加,受精率降低^[13,35],因此寡照处理 7 d 以上草莓植株坐果及产量的始盛点、高峰点、盛末点反而表现出推迟的趋势。同时,7 d 以上的寡照处理还明显降低开花、坐果及产量的最大生长速率。值得注意的是,寡照处理 1 d 的草莓开花时间延长,其盛末点推迟 6.56 d,且产量的最大生长速率提高了 18.67%,这是草莓植株对短期寡照逆境适应的表现。

参考文献:

- [1] 华南农业大学. 果树栽培学各论:南方本[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,2001:253-265.
- [2] 张明宏. 光照对温室草莓生长发育的影响[D]. 石河子:石河子大学,2018.
- [3] Choi H G, Moon B Y, Kang N J, et al. Yield loss and quality degradation of strawberry fruits cultivated under the deficient insolation conditions by shading[J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2014, 55(4): 263-270.
- [4] 王明援, 刘 宁, 李 波, 等. 不同光强对 6 个欧美杨无性系苗期生长及光合特性的影响[J]. 林业科学研究, 2020, 33(1): 123-130.
- [5] 郭品湘, 尹 婷, 栗春青, 等. 遮阴对双色木番茄幼苗生理特性的影响[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(1): 76-82.
- [6] 蔡锡安, 饶兴权, 刘占锋, 等. 遮阴处理对梅叶冬青叶片形态、光合特性和生长的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(1): 25-34.
- [7] 吕彬洋, 王 威, 陈清西. 遮阴处理对炮仗花植株生长发育的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(20): 152-156.
- [8] 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.
- [9] 闫兴富, 方 苏, 李 静, 等. 遮阴处理对臭椿幼苗早期生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(3): 80-84.
- [10] Rylski L, Spigelmann M. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radlation[J]. Scientia Horticulturae, 1986, 29(1/2): 31-35.
- [11] 鲁福成, 王明启, 张仲国, 等. 弱光对番茄苗期生长发育影响的研究[J]. 天津农学院学报, 2001, 8(3): 24-27.
- [12] Lv F J, Liu J R, Ma Y N, et al. Effect of shading on cotton yield and quality on different fruiting branches[J]. Crop Science, 2013, 53(6): 2670.
- [13] 朱雨晴, 薛晓萍. 不同遮阴日数对花果期番茄开花坐果特性的影响[J]. 干旱气象, 2020, 38(5): 820-827.
- [14] Jakson J E, Palmer J W, Perring M A, et al. Effects of shade on the growth and cropping of apple trees. III. Effects on fruit growth, chemical composition and quality at harvest and after storage[J]. Journal of Horticultural Science, 1977, 52(2): 267-282.
- [15] Cockshull K E, Graves C J, Carol R C. The influence of shading on yield of greenhouse tomatoes[J]. Journal of Horticultural Science, 1992, 67(1): 11-24.
- [16] Menzel C M, Simpson D R. Effect of continuous shading on growth, flowering and nutrient uptake of passion fruit[J]. Scientia Horticulturae, 1988, 35(1/2): 77-88.
- [17] 李 春, 郭 晶, 薛庆禹, 等. 天津近郊设施农业气候资源与气象灾害变化特征[J]. 北方园艺, 2015(6): 190-193.
- [18] 李 楠, 薛晓萍, 张继波, 等. 日光温室番茄寡照灾害等级指标研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(22): 99-104.
- [19] 于丽杰. 四季草莓生长发育规律的研究[J]. 北方园艺, 1993(6): 43-45.
- [20] 杨再强, 侯梦媛, 张曼义. 水分胁迫对设施甜椒结果期叶面积扩展及果实发育的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 170-177.
- [21] 岳高峰, 王丽萍, 韩志强. 遮阴处理对草莓生长发育及果实品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(9): 91-94.
- [22] 宋 洋, 廖 亮, 刘 涛, 等. 不同遮阴水平下香榧苗期光合作用及氮分配的响应机制[J]. 林业科学, 2016, 52(5): 55-63.
- [23] 王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等. 遮阴处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6762-6770.
- [24] 唐伊恋. 太阳能光热电耦合模式下温室温度与光照对草莓生长的影响[D]. 昆明: 云南师范大学, 2019.
- [25] 孙小娟. 不同遮阴强度对黑穗醋栗抗坏血酸合成代谢酶及相关基因表达的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [26] 秦玉芝, 邢 铮, 邹剑锋, 等. 持续弱光胁迫对马铃薯苗期生长和光合特性的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(3): 537-545.
- [27] 周艳虹, 黄黎锋, 喻景权. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(2): 153-160.
- [28] 韩忠明, 赵淑杰, 刘翠晶, 等. 遮阴对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6005-6012.
- [29] 刘卫琴, 汪良驹, 刘 晖, 等. 遮阴对丰香草莓光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 果树学报, 2006, 23(2): 209-213.
- [30] 韩爱华. 三要素对盆栽草莓生长与结实模型的影响研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2004.
- [31] 李应旺, 吴正锋, 万书波, 等. 弱光胁迫对花生生长发育和生理特性的影响[J]. 花生学报, 2009, 38(3): 41-45.
- [32] 陆佳岚, 马 成, 陶明煊, 等. 不同光温条件对水稻 9311 产量及品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(3): 535-543.
- [33] 张荣萍, 马 均, 蔡光泽, 等. 开花期低温胁迫对四川攀西稻区水稻开花结实的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(9): 1734-1742.
- [34] 王丽艳, 邱立春, 郭树国. 温室环境对番茄生长影响的参数优化[J]. 北方园艺, 2009(4): 132-133.
- [35] 朱丽云, 杨再强, 李 军, 等. 花期低温寡照对番茄开花坐果特性及果实品质的影响[J]. 中国农业气象, 2017, 38(7): 456-465.