

文章编号:2096 - 5389(2021)06 - 0084 - 06

低温对草莓生理特性的影响

李春生,王敏敏,陈晓丹,杨朝科

(贵州省黎平县气象局,贵州 黎平 557300)

摘 要:为了研究低温对草莓生理特性的影响,该文以草莓“红颜”(beauty)为研究对象,于2016年8月—2017年3月在南京信息工程大学 Venlo 试验温室内进行低温单因素控制试验,系统测定低温处理下草莓叶片各项指标。结果表明:①胁迫时间越长,叶绿素整体呈下降趋势。尤其是在0℃处理7 d得到的叶绿素a含量下降水平明显。②同一温度处理,随着时间的延长,草莓叶片中的可溶性蛋白含量呈先上升后下降的趋势,各处理均高于ck 10%~110%不等。同一时间不同温度处理中以8℃的含量最高,ck的可溶性蛋白含量最低。③同一温度处理,随着时间的延长,可溶性糖的变化呈下降趋势,除处理7 d均显著高于ck 23%~57%不等。同一时间不同温度处理,温度越高含量越高,除了7 d处理外,均高于ck组。④温度高净光合速率高,光补偿点显著偏大,光饱和点普遍高。

关键词:草莓;低温;生理指标;光响应

中图分类号:S162.2;S668.4 **文献标识码:**B

Effects of Low Temperature on Physiological Characteristics of Strawberry

LI Chunsheng, WANG Minmin, CHEN Xiaodan, YANG Chaoke

(Liping Meteorological Bureau of Guizhou Province, Liping 557300, China)

Abstract: In order to study the effect of low temperature on the physiological characteristics of strawberry, this study used strawberry "beauty" as the research object, and carried out a low temperature single factor control test in the Venlo experimental greenhouse of Nanjing University of information engineering from August 2016 to March 2017 to systematically measure various indexes of Strawberry Leaves under low temperature treatment. The results showed that: ①The longer the stress, the overall trend of chlorophyll decreased. In particular, the content of chlorophyll a decreased significantly after treatment at 0℃ for 7 days. ②At the same temperature, the soluble protein content in strawberry leaves increased first and then decreased with the extension of time, and each treatment was higher than those of ck Control group 10~110 percentage points. At the same time and at different temperatures, the soluble protein content of 8℃ was the highest, and the soluble protein content of ck was the lowest. ③At the same temperature with the extension of time, the change of soluble sugar showed a downward trend, the treatments were significantly higher than ck 23~57 percentage points except the treatment for 7 days. At the same time and at different temperatures, the higher the temperature, the higher the content, and the treatments were higher than CK group except the treatment for 7 days. ④At high temperature, photosynthetic rate is higher, light compensation point is significantly larger, and light saturation point is generally higher.

Key words: *Fragaria ananassa* Duch; low temperature; physiological index; photoresponse

收稿日期:2021-01-09

第一作者简介:李春生(1995—),男,助工,主要从事综合气象业务工作,E-mail:314001492@qq.com。

0 引言

众所周知,草莓是我国主要设施作物之一,有水果皇后之称,其果实的肉质鲜爽可口、营养丰富,在医药方面也有不俗影响,深受人们喜爱,需求量在不断增加,草莓的栽培也成为了造福人民群众的种植业之一^[1]。然而,在种植草莓过程中,低温冻害、雪害、风害等气象灾害时有发生,对草莓生长影响严重,不仅影响产量还影响品质和果型,造成经济效益上的损失^[2],特别是低温灾害的影响最严重。前人研究表明,温度低于适宜生长条件会致使植物体产生富余的活性氧而形成对细胞膜的脂过氧化过程,蛋白质性状改变以及核苷酸的损害,严重时会使细胞死亡^[3],不同物种在不同低温胁迫下抗氧化酶活性变化已有相关报道^[4-6],罗娅等^[6-7]研究表明草莓在极度低的温度胁迫处理下,叶片活性氧会剧烈变化积累于体内,导致抗氧化酶增多,与此同时,可溶性蛋白质含量迅速增加,细胞因此得到保护,可溶性糖含量逐渐增加,叶绿素含量随胁迫时间的延长而下降;樊国华等^[8]研究壳聚糖和水杨酸的抗寒性机理知道,其可通过对草莓本身系统的保护膜,降低外界因严重低温胁迫产生的活性氧,以保护细胞膜功能的稳定性,增强草莓在恶劣低温环境中的抗寒能力,从而达到锻炼提升破坏性环境适应能力,植物自身抗寒性存在差异,既受自身从母体植株继承的遗传物质,又受外界自然环境的变化的双重制约^[9]。段世萍等^[10]在植物受低温危害的生理机理研究中发现,低温环境会使植物体的生长代谢紊乱,在一定指标上引起植物体的生理变化,严重时可能引起植物体组织功能不同程度失灵,乃至死亡;Anita Sonstebly 等^[11]研究表明总植物干重和叶面积随温度和光周期的增加而增加;在调节草莓植物的生长和发育条件时,其温度、日照长度和光强度占主导。

因此,研究低温对草莓叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖、光响应曲线的影响,以探讨草莓抗低温防御体系的调节作用,揭示草莓在短期低温胁迫下的响应机制,为设施草莓的管理提供决策支持,可有效加强草莓对低温胁迫的防御能力。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选取南京六合地区农户种植的“红颜”(beauty)草莓苗62株,茎高12~15 cm,茎粗0.8~1.0 cm,于2016年8月在南京信息工程大学 Venlo 试验温室

内进行培育。温室长30.0 m、宽9.6 m、顶高5.0 m、肩高4.5 m,苗床长8 m、宽1 m、深0.5 m。统一培育于土壤、水分和养分等条件一致的基质中,每月施一次有机肥,3个月后剔除长势差的草莓苗,选择生长健壮且生长状况基本一致的草莓苗移入盆中栽培,作为试验材料。

1.2 试验方法

将盆内栽培的草莓苗放入人工气候箱(TGP-2009, Australian)中进行处理,试验设计为低温单因素试验,温度设置为0℃、4℃、8℃3个处理水平,水分条件和光照条件一致,每个处理时间分别为3、5、7 d,重复3次,以常温下生长的草莓作为对照ck。

1.3 项目测定

1.3.1 叶绿素含量的测定 运用分光光度法。试验的经验公式如下^[12]:

$$H_a = 13.95 \times L_{665} - 6.88 \times L_{649} \quad (1)$$

$$H_b = 24.96 \times L_{649} - 7.32 \times L_{665} \quad (2)$$

H_a 表示叶绿素a的浓度, H_b 表示叶绿素b的浓度, L_{665} 表示提取液在波长665下的吸光度, L_{649} 表示提取液在波长649下的吸光度。

1.3.2 可溶性蛋白含量测定 采用考马斯亮蓝G-250染色法^[13]测定可溶性蛋白含量,试验经验公式:

$$H = (c \cdot V_m / V) / M \quad (3)$$

H 为样本蛋白含量, c 为查标准曲线每管蛋白质含量, V_m 为提取液总体积, V 为测定所取提取液体积。

1.3.3 可溶性糖含量的测定 采用蒽酮比色法^[14]测定可溶性糖的含量。试验经验公式(4)与式(3)相同:

$$H = (c \cdot V_m / V) / M \quad (4)$$

H 为样本可溶性糖含量, c 为查标准曲线每管可溶性糖含量, V_m 为提取液总体积, V 为测定所取提取液体积。

1.3.4 光响应曲线的测定 应用LI-6400测定净光合速率 P_n ,设置光合有效辐射PAR梯度为1 800、1 500、1 200、1 000、800、500、200、150、50和0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,由LI-6400绘出净光合速率的点11个,后用Photosynthesis软件得出光补偿点、光饱和点。

1.4 数据分析

LI-6400测光响应曲线,采用Microsoft Office Excel 2013、SPSSV21进行相关数据的统计计算、分析和作图。

2 结果和分析

2.1 低温对草莓叶片叶绿素a、b含量的影响

表1是各低温处理水平下叶绿素a、b的含量,

结果显示相同低温水平处理下,胁迫时间越长,对于草莓叶片中的叶绿素 *a* 和叶绿素 *b* 的影响越显著,其含量随低温胁迫时间的延长而下降。结果表明,0 ℃处理 7 d 得到的叶绿素 *a* 含量下降水平明显,ck 下降 0.1 mg · g⁻¹,较 ck 下降 6 倍。对于所有处理,最小值普遍出现在 7 d 处理组,与高冠等^[15]研究的番茄花期叶绿素含量变化以及白青华等^[16]人对辣椒幼苗叶片叶绿素变化结论一致。叶绿素 *b* 相对叶绿素 *a* 下降不明显。

相同时间水平处理下,0 ℃处理的叶绿素 *a* 含

量低于 4 ℃和 8 ℃处理,都显著高于 ck,且 4 ℃处理低于 8 ℃,处理 3 d 的值显示 8 ℃叶绿素 *a* 的含量与 0 ℃、4 ℃、ck 3 组差异显著,处理 5 d 的值(4 ℃、8 ℃)两组与 0 ℃、ck 差异显著,而处理 7 d 的叶绿素 *a* 含量 0 ℃和 4 ℃、8 ℃、ck 差异显著。

表 1 表明,同一时间处理下,温度高的叶绿素 *b* 含量普遍高,但也有例外。处理 3 d 的值除 0 ℃外与 ck 都差异显著,处理 5 d 的值 4 ℃、8 ℃两组与 ck 差异显著,而处理 7 d 的叶绿素 *b* 含量 0 ℃与 4 ℃、8 ℃、ck 差异显著。

表 1 低温处理对叶绿素 *a*、*b* 的影响

Tab. 1 The effect of low temperature treatment on chlorophyll *a* and chlorophyll *b*

指标	天数/d	8 ℃	4 ℃	0 ℃	ck
叶绿素 <i>a</i>	3	2.27 ± 0.09 _a	2.01 ± 0.08 _b	1.72 ± 0.08 _b	1.67 ± 0.06 _b
	5	1.93 ± 0.05 _a	1.97 ± 0.12 _a	1.66 ± 0.05 _b	1.61 ± 0.31 _b
	7	1.52 ± 0.07 _a	1.58 ± 0.20 _a	1.12 ± 0.12 _b	1.57 ± 0.08 _a
叶绿素 <i>b</i>	3	0.57 ± 0.04 _a	0.42 ± 0.02 _b	0.36 ± 0.01 _c	0.36 ± 0.01 _c
	5	0.44 ± 0.01 _a	0.45 ± 0.03 _a	0.30 ± 0.08 _b	0.38 ± 0.04 _b
	7	0.32 ± 0.01 _a	0.37 ± 0.02 _a	0.26 ± 0.00 _b	0.35 ± 0.11 _a

注:*a*、*b*、*c* 表示显著性($p < 0.05$)

2.2 低温对草莓叶片可溶性蛋白的影响

图 1 是 0 ℃、4 ℃、8 ℃处理下草莓叶片可溶性蛋白含量随时间变化,从图 1a 可知草莓叶片受到低温胁迫的影响,随着时间的延长,此时草莓叶片中的可溶性蛋白含量趋势先上升后下降,处理 3 d 的可溶性蛋白含量为 1.87 mg · g⁻¹,处理 5 d 的可溶性蛋白含量变成 3.46 mg · g⁻¹,当处理 7 d 时,可溶性蛋白含量下降为 2.03 mg · g⁻¹。胁迫时间除了 3 d 的可溶性蛋白含量低于 ck 值以外,其余都高于 ck,高出的范围为 10% ~ 50%。

图 1b 可知,草莓叶片在受到低温破坏性试验后,随胁迫时间的延长,可溶性蛋白含量呈现先升

高后降低的趋势,处理 3 d 的值为 2.13 mg · g⁻¹,处理进行 5 d 的值为 3.88 mg · g⁻¹,处理进行 7 d 的值为 2.58 mg · g⁻¹。处理的可溶性蛋白含量普遍高出 21% ~ 73%。

图 1c 可知,草莓叶片受到低温胁迫的影响,随着时间的延长草莓叶片中的可溶性蛋白含量趋势先升高后下降,处理 3 d 的可溶性蛋白含量为 2.02 mg · g⁻¹,处理 5 d 的可溶性蛋白含量变成 4.02 mg · g⁻¹,当处理 7 d 时,可溶性蛋白含量下降为 3.62 mg · g⁻¹。处理的可溶性蛋白含量普遍高出 70 % ~ 110%。

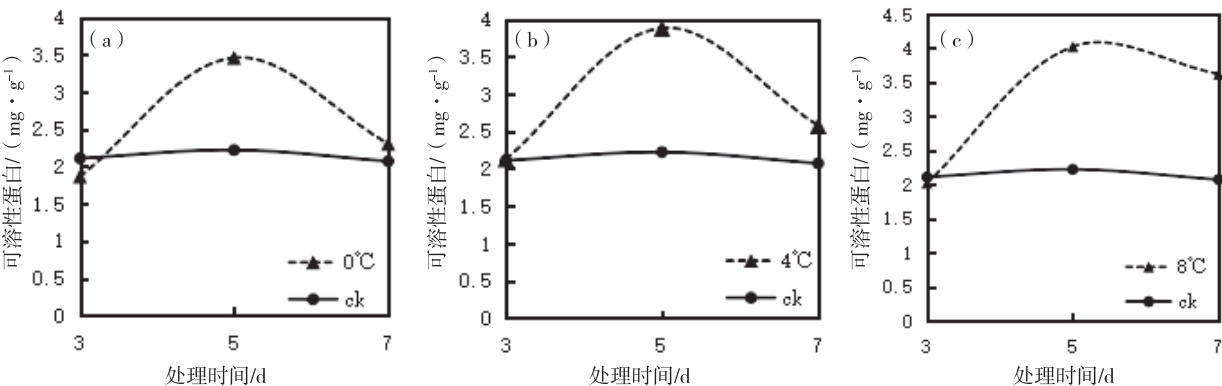


图 1 0 ℃(a)、4 ℃(b)、8 ℃(c)可溶性蛋白随时间的变化

Fig. 1 The changes in 0 ℃(a), 4 ℃(b) 8 ℃(c) - soluble protein over time

图2表明,随着处理的时间延长,可溶性蛋白含量呈现出现上升后降低的趋势变化,且处理5 d和处理7 d的可溶性蛋白含量值均显著高于ck。处理中以8℃的含量值最高,ck的可溶性蛋白含量最低。3 d处理,0℃、4℃、8℃、ck差异都不显著;5 d处理时0℃与8℃差异显著,0℃、4℃、8℃3组与ck差异显著;7 d处理,8℃和0℃、4℃两组差异显著,8℃和ck差异显著,0℃和4℃差异不显著。处理结束时各温度处理高于ck 10%~58%。

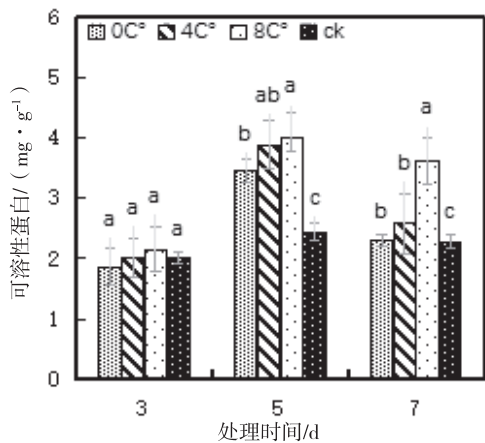


图2 低温处理可溶性蛋白动态变化

Fig.2 Dynamic changes of soluble protein under low temperature treatments

综合上述结果,低温胁迫下随时间的延长可溶性蛋白含量先升后降,与朱政等^[17]可溶性蛋白含量先下降后上升结论不同,且普遍高出ck的可溶性蛋

白含量,与沙伟等^[18]对扎龙芦苇分析的可溶性蛋白含量明显降低,但仍高于对照组结论大致相同,且与林健忠^[19]的结论一致。

2.3 低温对草莓叶片可溶性糖的影响

0℃低温处理,图3a表明,草莓在受到低温破坏性处理后,随着时间的推移,可溶性糖的变化呈现出下降趋势,下降幅度在加大。处理3 d的可溶性糖含量为6.13 mg·g⁻¹,处理5 d的可溶性糖含量变成5.87 mg·g⁻¹,处理7 d时可溶性糖含量下降为2.24 mg·g⁻¹。除了处理7 d的可溶性糖低于ck外,其余各处理均显著高于ck,高出的范围为23%~38%。

4℃低温处理,图3b表明,较低温度的胁迫对于草莓叶片的可溶性糖含量的变化,随着时间的延长,可溶性糖的变化呈现出下降趋势,下降幅度在有所加大。当胁迫进行3 d,可溶性糖含量为6.61 mg·g⁻¹,至5 d的可溶性糖含量变成6.38 mg·g⁻¹,处理7 d时可溶性糖含量下降为2.48 mg·g⁻¹。除了处理7 d的可溶性糖低于ck外,其余各处理均高于ck,高出的范围为30%~54%。

8℃低温处理,图3c表明,低温对于草莓叶片可溶性糖含量的影响,随时间的延长,草莓叶片中的可溶性糖含量是下降趋势,处理3 d的可溶性糖含量为6.84 mg·g⁻¹,处理5 d的可溶性糖含量变成6.52 mg·g⁻¹,当处理7 d时,可溶性糖含量下降为3.41 mg·g⁻¹。除了处理7 d的可溶性糖浓度低于ck外,其余处理均普遍高出ck处理的可溶性糖含量50%~57%。

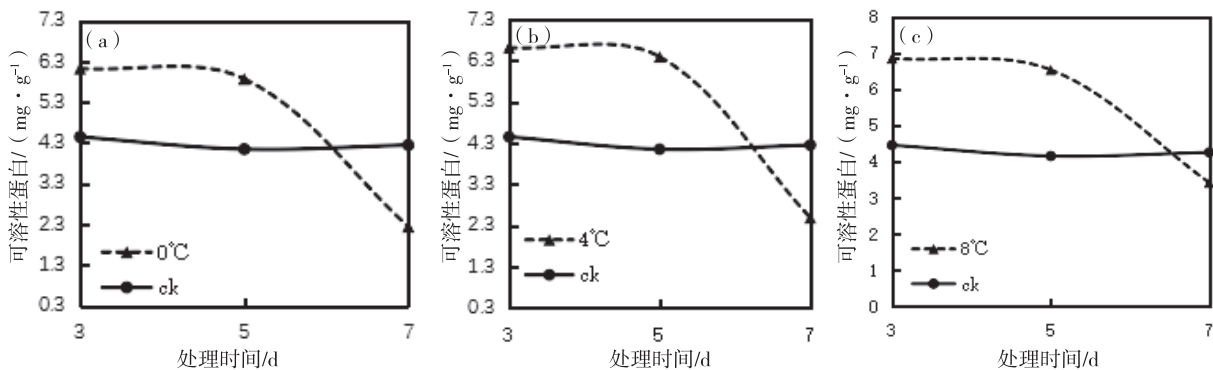


图3 0℃(a)、4℃(b)、8℃(c)可溶性糖随时间的变化

Fig.3 The changes in 0℃(a)、4℃(b)、8℃(c) – soluble sugar over time

受低温的影响,可溶性糖含量变化由图4得出,随低温处理时间的延长,可溶性糖含量总体呈下降趋势。3 d处理,4℃、8℃两组与ck差异显著,0℃与ck差异显著,0℃与4℃、8℃两组差异显著;5 d

处理,结果与3 d处理相同;7 d处理,0℃、4℃两组与ck差异显著,8℃与ck差异显著。

综合上述结果,低温胁迫下随时间的延长可溶性糖的含量显著降低,普遍高出ck的可溶性糖含

量,之后低于 ck,与林健忠^[19] 12h 后的可溶性糖变化趋势一致,但和李小安^[20]对扁蓊豆种子的结论相反。在同一时间不同温度下,8℃处理明显高于其他组温度的,这结果与崔国文^[21]对紫花苜蓿种子结论相悖,可能因其品种不同而有差异。

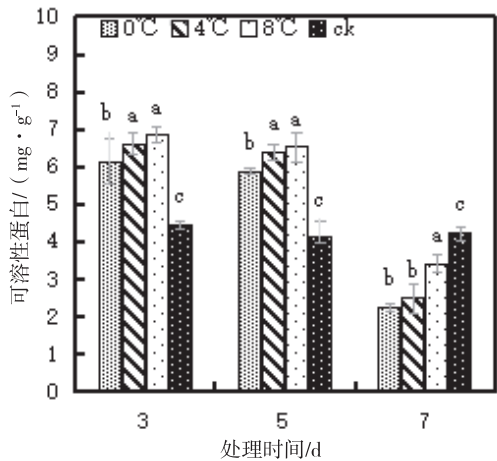


图 4 低温处理可溶性糖动态变化

Fig.4 The dynamic changes of soluble sugar under low temperature treatments

2.4 低温对草莓叶片光响应曲线的影响

由图 5a 可知,在净光合速率一定时,温度为 8℃的光响应曲线比 4℃、0℃的光合有效辐射要小,在图 5b 中 ck 对照组最高,8℃被 4℃超过,在图 5c 中 0℃此时大于 4℃,4℃有波动在 1 500 之后又上升。研究表明,同一时间不同温度处理,净光合速率为 ck 和 8℃对照组高于其他温度处理,4℃高于 0℃,与解政强等^[22]与彭寿强等^[23]的结论大体一致,也有不同,在 5 d 中出现了 4℃高于 8℃,7 d 中 0℃高于 4℃的情况,这可能是低温对呼吸作用的抑制大于光合作用的抑制。

光补偿点是许多植物在光照条件恶劣的环境中能充分利用光的指标。从表 2 可知草莓“红颜”3 d 8℃的光补偿点要高于其他两组不同温度处理,而在 5 d 8℃和 4℃大于 ck 对照组(725μmol·m⁻²·s⁻¹)。在 7 d 的处理中,ck 和 8℃光补偿点大于其他两组温度的值。表明光补偿点同一时间不同胁迫,普遍温度高的大于温度低的,这与李晓靖^[24]对木荷新萌枝的研究一致。

光饱和点(LSP)是净光合速率不再随光合有效辐射继续增加的点,光饱和点也是许多植物在光照条件强烈的环境中利用光的指标。从表 2 可以看出 8℃的光饱和点都高于其他温度,3 d 处理下,ck 对照组的光饱和点最大,而 5 d 处理中 8℃光饱和点

最大,在 7 d 处理中与 5 d 结果一致。与光补偿点结论一致。

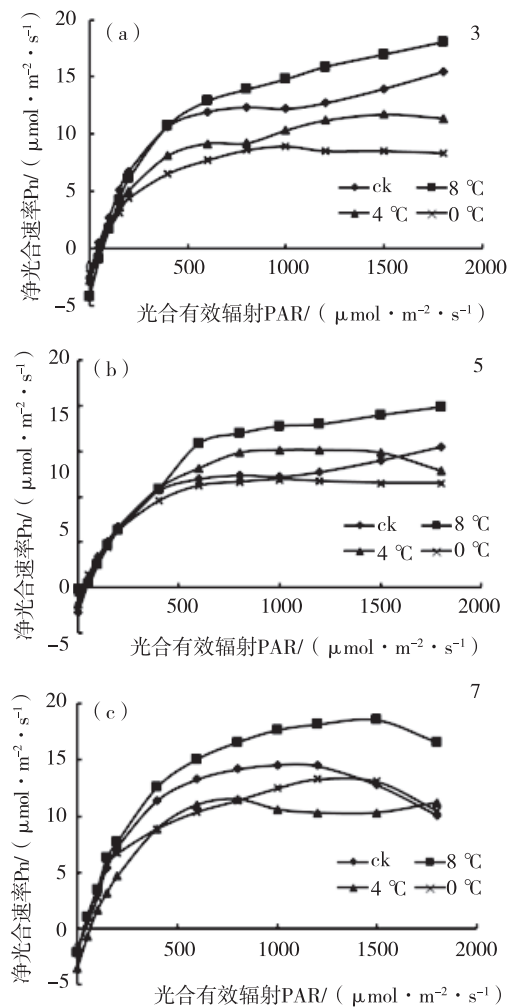


图 5 光响应曲线

Fig.5 Light response curve

表 2 光合参数

Tab.2 The effect of low temperature treatment on photosynthetic parameters

天数/d	温度/℃	光饱和点 LSP/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	光补偿点 LCP/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
3	ck	834.70	54.20
	8	756.20	63.10
	4	667.20	37.90
	0	361.50	25.20
5	ck	725.00	23.70
	8	814.10	30.60
	4	537.20	21.00
	0	322.60	46.80
7	ck	643.60	12.60
	8	730.80	10.80
	4	414.00	8.50
	0	385.20	5.40

3 结论与讨论

①不同的恶劣环境中,不同植被叶绿素含量也各有不同^[25]。叶绿素有两种成分,包括叶绿素 *a* 和叶绿素 *b*,8 成以上的叶绿素 *a* 和所有的叶绿素 *b* 的功能是对光能的摄取和移动搬运。研究表明,适宜程度的低温胁迫能够锻炼植株的逆境适应程度,促进草莓的生理反应,刺激叶片叶绿素的产生,对光合作用有利,但过度的低温迫害会使草莓光合作用能力受到摧残。

②可溶性蛋白质中对水分的亲近是显著的,当其含量在植物中增加,对植物体本身的益处是其保水能力一定程度上增强^[19],可溶性蛋白对羟自由基有较好的清除作用^[26]。一定低温的锻炼下,可溶性蛋白含量会增加,其保水能力加强,而过度低温会使其保水能力丧失,可溶性蛋白含量下降。

③可溶性糖在渗透调节中起重要作用,可通过调节植物细胞的渗透势,以此提高水分的吸收能力,此时糖分升高能减轻呼吸作用对植物体的破坏^[19]。可溶性糖决定植物器官合成和同化物的转运、积累以及最终产量的形成。研究表明适宜低温下促进糖分的积累,减轻植株在低温逆境的迫害。当温度过低或低温持续时间过长,植株受到迫害,糖分无法累积。

低温环境会使草莓对弱光有适应性,但长时间处于恶劣环境,会使植株死亡。

参考文献

- [1] 袁云,范宝光,王红梅. 设施草莓栽培技术[J]. 中国农业信息, 2014(19):38-39.
- [2] 李莉,杨雷,杨秋叶. 河北省草莓常见灾害及防灾减灾对策[J]. 河北农业科学, 2012(2):37-39,45.
- [3] 刘平湘. 不同类型冬小麦品种抗晚霜冻能力鉴定及相关生理指标研究[D]. 河南农业大学, 2010.
- [4] 陈禅友,汪汇东,丁毅. 低温胁迫下长豇豆幼苗可溶性蛋白质和细胞保护酶活性的变化[J]. 园艺学报, 2005(5):146-148.
- [5] 李晶,赵先龙,乔天长. 秸秆腐解液对玉米幼苗的生理效应及酚酸类化感成分的检测[J]. 核农学报, 2015, 29(9):1799-1805.
- [6] 罗娅,汤浩茹,张勇. 低温胁迫对草莓叶片 SOD 和 AsA - GSH 循环酶系统的影响[J]. 园艺学报, 2007(6):1405-1410.
- [7] 罗娅,汤浩茹. ‘丰香’草莓果实发育过程中抗氧化物质与活性氧代谢研究[J]. 园艺学报, 2011(8):1523-1530.
- [8] 樊国华,金芳. 壳聚糖和水杨酸对低温胁迫下草莓抗寒性的影响[J]. 甘肃农学报, 2008, 43(2):83-86.
- [9] 张水金,黄庭旭,章杏. 植物抗寒性研究进展[J]. 福建农业学报, 2005, 20(增刊):154-159.
- [10] 段世萍,臧新洲,祝新建. 植物受低温危害的生理生态机制[C]. 经济策论, 2011.
- [11] Sonstebly A, Solhaug K A, Heide O M. Functional growth analysis of ‘Sonata’ strawberry plants grown under controlled temperature and daylength conditions [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 211: 26-33.
- [12] 耿世洲. 苎麻光合生理生态特性及固碳能力的初步研究[D]. 武汉纺织大学, 2012.
- [13] 李合生. 植物生理生化试验原理及技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2002.
- [14] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1998.
- [15] 高冠,邹雨伽,杨再强. 低温寡照胁迫对设施番茄花期叶片衰老特性的影响[J]. 北方园艺, 2016(5):49-55.
- [16] 白青华,郭晓冬,王萍. 低温对辣椒幼苗叶片氮及叶绿素含量的影响[J]. 甘肃农学报, 2009, 44(6):48-51.
- [17] 朱政,蒋家月,江昌俊. 低温胁迫对茶叶叶片 SOD、可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(1):24-26.
- [18] 沙伟,刘焕婷,谭大海. 低温胁迫对扎龙芦苇 SOD、POD 活性和可溶性蛋白含量的影响[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2008, 24(2):1-4.
- [19] 林建忠. 低温胁迫对草莓生理指标的影响[J]. 福建热作科技, 2015(2):7-10.
- [20] 李小安. 低温胁迫对不同扁蓿豆种子内游离脯氨酸和可溶性糖含量的影响[J]. 青海科技, 2011, 18(2):40-42.
- [21] 崔国文. 低温胁迫对紫花苜蓿种子萌发期可溶性糖和淀粉的影响[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(1):72-76.
- [22] 解振强,贾思振,王全智. 低温处理对草莓光合特性的影响[J]. 中国南方果树, 2012(4):105-108.
- [23] 彭寿强,张毅龙,黄钰辉,等. 低温胁迫对 3 种常绿阔叶树种苗木光合能力的影响[J]. 广东林业科技, 2016, 32(2):1-9.
- [24] 李晓靖. 2008 年冰雪灾害后受害木荷新萌枝光合生理特性研究[D]. 中国林业科学研究院, 2012.
- [25] 杨再强,张波,张继波,等. 低温胁迫对番茄光合特性及抗氧化酶活性的影响[J]. 自然灾害学报, 2012(4):168-174.
- [26] 杨芳,吕玲玲,施溯筠. 榆黄蘑可溶性蛋白的提取及其对羟自由基的清除作用[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2012, 38(2):142-145.