

不同氮素水平辣椒幼苗对低温响应的差异

段世萍¹, 杜尧东², 陈新光², 胡飞^{1,*}

(1. 华南农业大学农学院, 广州 510642, 2. 广东省气候中心, 广州 510800)

摘要:为研究低温对不同氮素水平辣椒幼苗生长的影响,在22—28℃条件下分别用0.00 g·L⁻¹, 2.00 g·L⁻¹和3.00 g·L⁻¹ 3个浓度尿素水溶液培养的3个品种辣椒4叶1心期幼苗在人工气候箱内进行低温处理。结果显示:3个辣椒品种幼苗对相同低温的响应存在差异,其受低温危害由轻到重依次为中椒四号、市祥206和红龙。3个氮素水平下培养的3个品种辣椒幼苗进行连续3d 11.0/5.0℃(Ⅲ)低温处理后,均危害严重,各项生理指标与对照差异显著,不能恢复正常生长,危害的程度因品种和氮素水平高低存在差异,氮素水平愈低受害愈重。连续3d 15.0/9.0℃(Ⅰ)或13/7℃(Ⅱ)对辣椒幼苗处理后,受危害的程度仍因品种和氮素水平高低存在明显差异,但各项生理指标与对照差异显著减小,均能恢复生长,且氮素水平愈高,与对照的差异愈小。氮素水平影响辣椒幼苗对低温的响应,浓度较高时(3.00 g·L⁻¹)辣椒幼苗抵御低温的能力较强,较高的氮素水平虽能减轻低温对辣椒幼苗的影响程度,却不能完全抵消低温的危害。

关键词:辣椒幼苗; 氮素水平; 低温危害

Differential response of pepper seedlings in different N concentrations to low temperatures

DUAN Shiping¹, DU Yaodong², CHEN Xinguang², HU Fei^{1,*}

1 College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510800, China

Abstract: Response of pepper (*Capsicum annuum*) seedlings growing at different N concentrations to varying low temperature was investigated. The seedlings of three pepper varieties grown in pot-culture at three N concentrations including 0.00, 2.00, and 3.00 g·L⁻¹ urea at 22.0—28.0℃ were transferred to climate chambers (12h light/12 h dark with light intensity of 350 μmol·m⁻²·s⁻¹) respectively. These seedlings were grown with 3 low temperature grades in chambers until the 4 leaves with one bud stage. Subsequently, there were significant difference in damage responded low temperature among three pepper varieties seedlings, which were grown at a same low temperature grade. Honglong showed the highest damage degree, followed by Shiqiang 206, and Zhongjiao No.4. In particular, the pepper seedlings at varying N levels were injured severely after 3 days at low temperature stress of 11.0/5.0℃. Significant differences in all of physiological index tested were observed between treatment and control seedlings. It appeared from the results that damage degree of the seedlings under low temperature stress varied with varieties and N concentrations. The lower N concentration was, the more severely injured. However, after 3 days at low temperature stress of 15.0/9.0℃ (Ⅰ) or 13/7℃ (Ⅱ) the pepper seedlings injured differently depending on varieties and N concentrations as well, differences with CK of all tested physiological index were reduced significantly, and could recover at 22.0—28.0℃ for the following 6 days, the higher N concentration, the better recovered. It could be concluded that N concentrations impacted the responses of pepper seedlings to low temperature. The higher concentration (3.00 g·L⁻¹ urea) should enhanced pepper seedlings anti-low-temperature ability. Though the higher N concentration could mitigate the low temperature injuries on pepper seedlings, it couldn't

基金项目:国家“十一五”支撑计划项目资助(2006BAD04B03);科技部农业科技成果转化基金资助项目(2009GB24160496);中国气象局气候变化专项资助项目(CCSF-09-11)

收稿日期:2009-09-25; **修订日期:**2009-12-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hufei@scau.edu.cn

entirely offset the low temperature effects.

Key Words: seedling of pepper; low temperature; N concentrations

辣椒(*Capsicumannum* L.)是喜温蔬菜。广东、广西和海南等省(区)农民利用冬、春季温暖气候资源发展辣椒生产,使华南地区成为北运辣椒生产基地。近年来广东每年种椒面积7万hm²,其中春种方式是在晚稻收获后10—11月份播种育苗,12月—翌年1月份定植,多为露地或地膜覆盖栽培^[1]。这段期间广东大部分地区有可能出现低温天气,成为影响辣椒幼苗正常生长的障碍因子。虽然全球气候变暖,广东冬温升高的趋势明显,但冬春季冷空气活动的频度和强度不仅没有减少,反而有增加的趋势。因此,如何提高辣椒苗期抗低温能力,分析影响辣椒幼苗抗低温能力管理措施,对广东辣椒种植区春种辣椒培育壮苗具有重要的意义。

作物对低温响应的研究一直是作物生理生态研究的热点问题^[2-6]。辣椒幼苗受低温影响后形态、生理特征的变化已有大量有研究^[7-19]。辣椒幼苗受低温的影响的程度与多种因素有关,光照^[13,18,20]、水分和氮素水平都可能影响其对低温的响应,但辣椒幼苗氮素水平与低温危害的关系研究并没有深入地开展。本文对不同氮素水平下3个品种辣椒幼苗响应低温的生理指标的变化特点进行研究,分析低温对不同氮素水平辣椒幼苗生长的影响,为培育辣椒壮苗提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

3个品种,红龙(红尖椒)、市祥206(青尖椒)、中椒四号(甜椒)。均购于广州市种子市场。

1.2 不同氮素条件下幼苗的培育

播种前在温水(约50℃)中浸种30min左右,冷水漂洗。培养箱(28℃)内催芽。苗床为塑料盘,每盘25穴(上下均为正方形的梯形体,上底边长为4.0cm,下底边长为2.0cm,高为4.5cm),每穴放入2粒已发芽的种子。基质为水稻土和椰壳粉(1:1体积比混合)。育苗期间常规管理,温度条件为22—28℃,自然光照。设3个氮素水平,分别为FA:0.00g·L⁻¹,FB:2.00g·L⁻¹和FC:3.00g·L⁻¹尿素溶液。每次每盘均匀浇相应氮素水平的溶液100mL,出苗后每隔10d浇1次,共浇3次。待幼苗长至4叶1心期,放入气候箱进行低温处理。对照的氮素水平为FA。

1.3 低温处理

对不同氮素水平条件下生长的辣椒幼苗在人工气候箱内进行3个梯度的低温处理,每次低温过程共8d。各低温过程日最高和日最低气温如表1,均匀变温,变温速率为0.5℃·h⁻¹,24h为一变温周期,24h温差为6.0℃。人工气候箱内相对湿度为60%—90%,光照/黑暗(12h/12h),光照强度为350μmol·m⁻²·s⁻¹。

模拟自然降温过程,每个过程进行8d处理。共设3个梯度低温过程(表1)。处理后放入对照条件下恢复6d后测生理指标。

表1 3个低温梯度温度日变化(日最高/日最低)

Table 1 A day variations of the three low temperature grads (Maximum in a day/Minimum in a day)/℃

低温梯度 Low temperature grads	处理天数 The days after treated							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I	19/13	19/13	15/9	15/9	15/9	15/9	19/13	19/13
II	16/10	16/10	13/7	13/7	13/7	13/7	16/10	16/10
III	13/10	13/9	11/7	11/5	11/5	11/5	13/7	13/10
对照 CK	25/18							

1.4 生理和形态指标的测定

不同氮素水平下培育的幼苗,经不同强度低温处理8d后,选取生长一致的3株,采集倒二叶叶片,参考

文献^[21]方法测定其相对电导率、可溶性蛋白含量(考马斯蓝法)、POD 酶和 SOD 酶活性以及丙二醛(MDA)的含量。

对照条件下恢复 6d 后采样和生理指标的测定与低温处理后的方法相同。

1.5 数据处理与分析

每个品种每个氮素水平和低温的处理以及对照均设 6 盘,其中 3 盘用于低温后取样(每盘为一个重复,3 个重复),另 3 盘用于低温处理后在对照条件下恢复 6d 后取样。图表中数值均为处理与对照相比增加的百分率,即: $\frac{\text{处理后指标值} - \text{对照值}}{\text{对照值}} \times 100\%$ 。所得数据采用 EXCEL 和 SPSS10.0 统计软件进行 t 检验,显著水平为 0.05。

2 结果分析

2.1 低温对不同氮素水平培养的辣椒幼苗 SOD 和 POD 酶活性的影响

2.1.1 不同氮素水平培养的辣椒幼苗 SOD 和 POD 酶活性在低温处理结束时的变化

图 1 显示氮素水平相同时,温度越低 3 个品种辣椒叶片的 SOD 酶的活性下降越多,而 POD 酶活性则升高越多。相同低温条件下,氮素水平越低 SOD 酶活性下降愈明显,POD 酶升高明显。无论氮素水平如何,在低温 III 条件下 SOD 酶活性下降和 POD 酶活性升高与低温 I 和 II 条件下相比均差异显著。3 个品种间在相同条件下 SOD 酶活性变化的趋势相同,但变化的幅度有差异。相同低温或较低氮素水平时红龙下降幅度最大,市祥 206 次之,中椒四号下降幅度最小。例如:在低温 III 条件和 FA 氮素水平下,红龙的 SOD 酶活性下降了 95.2%,市祥 206 下降了 82.5%,中椒四号下降了 75.5%。POD 酶活性因低温或氮素水平差异升高的幅度品种间差异亦是红龙上升幅度最大,市祥 206 次之,中椒四号上升幅度最小。例如:在低温 III 条件和 FA 氮素水平下,红龙的 POD 酶活性上升了 90.7%,市祥上升了 80.8%,中椒四号上升了 60.7%。

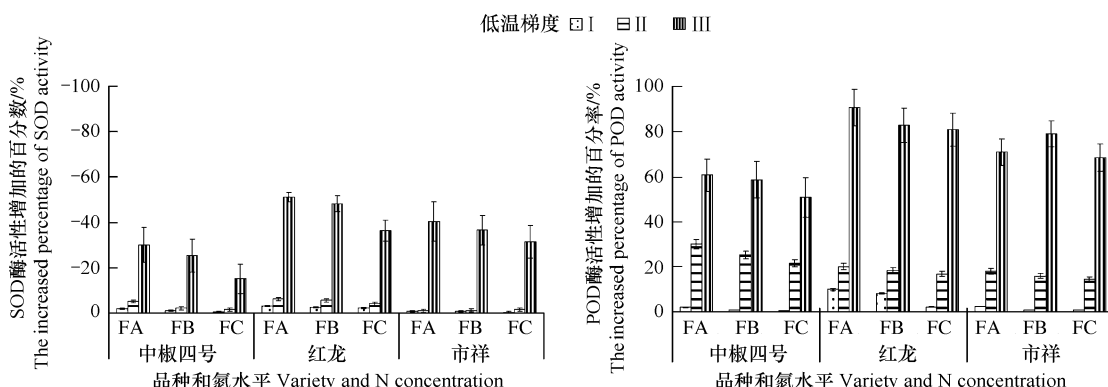


图 1 3 个氮素水平下培养的 3 个品种辣椒幼苗经 3 个低温处理后叶片 SOD 和 POD 活性的变化

Fig. 1 Variations of SOD and POD activities of leaves of three pepper varieties seedlings grown in three N concentrations treated with three grads of low temperature

氮素水平 FA 为 $0.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, FB 为 $2.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 FC 为 $3.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 尿素,下同

2.1.2 不同氮素水平培养的辣椒幼苗 SOD 和 POD 酶活性在低温处理结束 6d 后的变化

图 2 显示,3 个低温强度处理辣椒幼苗常温条件恢复 6d 后,仍然是氮素水平相同时,温度越低 3 个辣椒品种叶片的 SOD 酶的活性下降越多,POD 酶活性升高越多。氮素水平越低 SOD 酶活性下降愈明显,POD 酶升高明显。但变化幅度明显较低温处理后立即测定时要小。低温 I 和 II 条件下与对照的差异显著缩小,氮素水平越高差异越小。氮素水平为 FC 时,在低温 I 条件下处理 8d 后,经常温下恢复 6d, SOD 酶活性下降最大值为 -2.3% , POD 酶活性升高最大仅为 5.2% ,显示此时辣椒幼苗已基本恢复到正常的生长状态。但低温 III 条件下经 6d 的常温恢复仍与对照差异显著, SOD 酶活性最小也下降了 15.5% , POD 酶活最小也上升了 29.3% 。

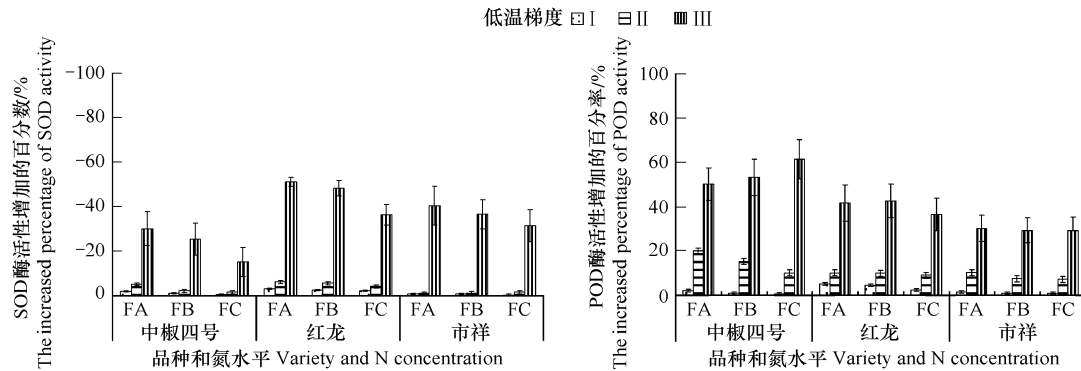


图2 经3个低温处理的3个氮素水平下培养的3个品种辣椒幼苗在常温下处理6d后叶片SOD和POD活性的变化

Fig.2 Variations of SOD and POD activities of leaves of three pepper varieties seedlings grown in three N concentrations under three grads low temperature treated subsequently for 6 days under normal temperature

2.2 低温对不同氮素水平培养的辣椒幼苗叶片电导率的影响

2.2.1 不同氮素水平培养的辣椒幼苗叶片电导率在低温处理结束时的变化

图3显示氮素水平相同时,温度越低3个辣椒品种叶片的电导率上升越多。低温相同时,氮素水平越低电导率上升越多。无论氮素水平如何,在低温Ⅲ条件下,电导率升高与低温Ⅰ和Ⅱ条件下均有显著差异。相同低温或较低氮素水平下红龙电导率上升幅度最大,市祥206次之,中椒四号上升幅度最小,例如:在低温Ⅲ和氮营养为FA条件下,红龙电导率上升了87.3%,市祥206上升了80.3%,中椒四号则只上升了70.3%。

2.2.2 不同氮素水平培养的辣椒幼苗叶片电导率在低温处理结束6d后的变化

图4显示,3个低温处理的辣椒幼苗经常温条件6d后,仍然是氮素水平相同时,温度越低3个辣椒品种叶片的电导率上升越多。低温相同时氮素水平越低电导率上升愈明显。但上升幅度较经低温处理后立即测定时显著减小,尤其是低温Ⅰ和Ⅱ条件下与对照的差异大幅缩小,且氮素水平越高差异越小。例如在低温Ⅰ条件和氮素营养FC条件下,电导率升高最高的品种为红龙,仅为4.3%,显示低温Ⅰ和Ⅱ处理的辣椒幼苗经6d常温后已基本恢复到正常的生长状态。但低温Ⅲ条件下经6d的常温后仍与对照差异显著(例如:在FC条件下,上升最小的为中椒四号也达25.2%)。

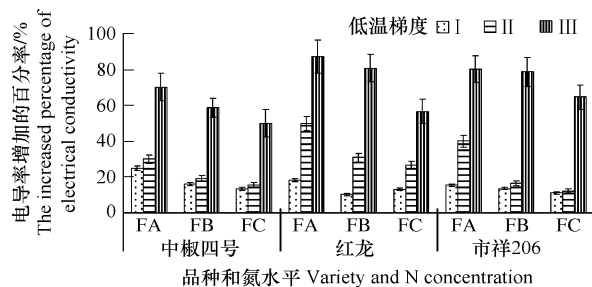


图3 3个氮素水平下培养的3个品种辣椒幼苗经3个低温处理后叶片相对电导率的变化

Fig.3 Variations of relative electrical conductivity of leaves of three pepper varieties seedlings grown in three N concentrations treated with three grads low temperature

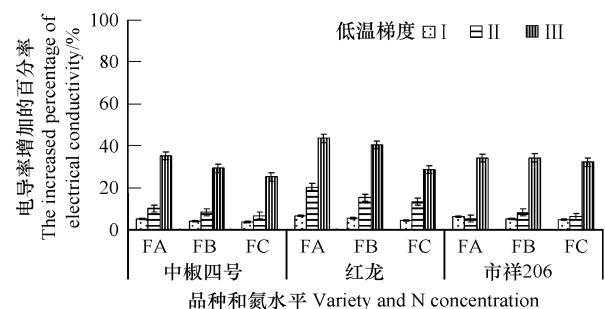


图4 经3个低温处理的3个氮素水平下培养的3个品种辣椒幼苗在常温下6d后叶片电导率的变化

Fig.4 Variations of relative electrical conductivity rate of leaves of three pepper varieties seedling grown in three N concentrations under three grads low temperature treated subsequently for 6 days under normal temperature

2.3 低温对不同氮素水平培养的辣椒幼苗MDA含量的影响

2.3.1 不同氮素水平培养的辣椒幼苗MDA含量在低温处理结束时的变化

图5显示氮素水平相同时,温度越低3个辣椒品种叶片的MDA含量上升越多。低温相同时氮素水平越

低 MDA 含量上升越多。无论氮素水平如何,在低温Ⅲ条件下,MDA 含量上升越与低温Ⅰ和Ⅱ条件下均有显著差异。相同低温或较低氮素水平下中椒四号上 MDA 含量升幅度最大,红龙次之,市祥 206 上升幅度最小,例如在低温Ⅲ和营养 FA 条件下,中椒四号 MDA 含量为 91.7%,红龙为:70.1%,市祥 206 为:56.3%。

2.3.2 不同氮素水平培养的辣椒幼苗 MDA 含量在低温处理结束 6d 后的变化

图 6 显示,3 个低温处理过的辣椒幼苗在经常温条件 6d 后,仍然是氮素水平相同时,温度越低 3 个辣椒品种叶片的 MDA 含量上升越多。低温相同时氮素水平越低 MDA 含量上升愈明显。但上升幅度较经低温处理后立即测定显著缩小。低温Ⅰ和Ⅱ条件与对照的差异显著缩小,氮素越高差异越小。例如在低温Ⅰ和营养为 FC 条件下,MDA 含量上升最大的品种市祥 206 仅上升了 7.5%,显示低温Ⅰ和Ⅱ处理的辣椒幼苗经 6d 常温后已基本恢复到正常的生长状态。但低温Ⅲ条件下经 6d 的常温仍与对照差异显著(例如低温Ⅲ和营养为 FC 条件下,MDA 含量上升最小的是品种中椒四号,达 15.3%)。

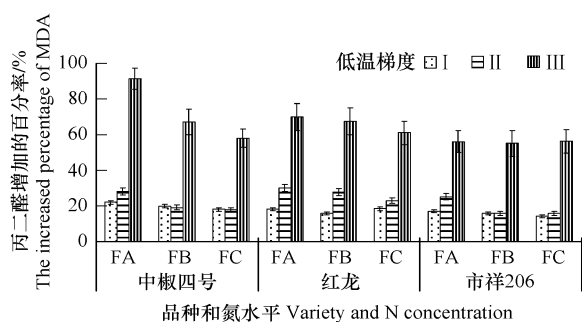


图 5 3 个氮素水平下培养的 3 个品种辣椒幼苗经 3 个低温处理后叶片 MDA 含量的变化

Fig. 5 Variations of MDA concentrations of leaves of three pepper varieties seedling grown in three N concentrations treated with 3 grads low temperature

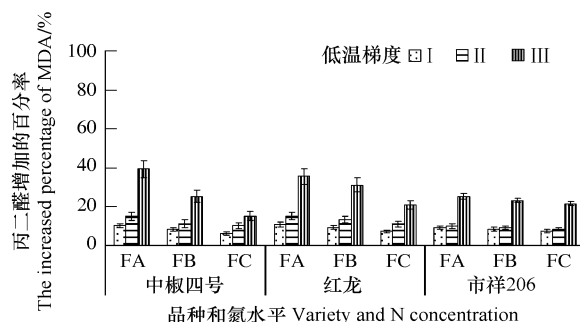


图 6 经 3 个低温处理的 3 个氮素水平下培养的 3 个品种辣椒幼苗在常温下 6d 后叶片 MDA 含量变化

Fig. 6 Variations of MDA concentration of leaves of three pepper varieties seedling grown in three N concentrations under three grads low temperature treated subsequently for 6 days under normal temperature

2.4 低温对不同氮素水平培养的辣椒幼苗可溶性蛋白含量的影响

2.4.1 不同氮素水平培养的辣椒幼苗可溶性蛋白含量在低温处理结束时的变化

图 7 显示氮素水平相同时,温度越低 3 个辣椒品种叶片的可溶性蛋白含量上升越多。低温相同时氮素水平越低可溶性蛋白含量上升越多。无论氮素水平如何,在低温Ⅲ条件下,可溶性蛋白含量上升越与低温Ⅰ和Ⅱ均有显著差异。相同低温或较低氮素水平下红龙上升幅度最大,市祥 206,中椒四号上升幅度较小,例如在低温Ⅲ和营养为 FA 条件下,可溶性蛋白含量红龙上升幅度最大为:52.12%,市祥 206 次之为:28.12%,中椒四号最小为:25.25%。

2.4.2 不同氮素水平培养的辣椒幼苗可溶性蛋白含量在低温处理结束 6d 后的变化

图 8 显示,3 个低温处理辣椒幼苗经常温条件 6d 后,仍然是氮素水平相同时,温度越低 3 个辣椒品种叶片的可溶性蛋白含量上升越多。低温相同时,氮素水平越低可溶性蛋白含量上升愈明显。但上升幅度较低温处理后立即测定时显著减小。低温Ⅰ和Ⅱ条件下与对照的差异显著缩小,氮素水平越高差异越小。例如在低温Ⅰ和氮营养 FC 条件下,红龙可溶性蛋白含量上升最大,仅为 6.3%,显示低温Ⅰ和Ⅱ处理的辣椒幼苗经常温 6d 后已基本恢复到正常的生长状态。但低温Ⅲ条件下经 6d 的常温仍与对照差异显著(例如:低温Ⅲ和氮营养 FC 条件下可溶性蛋白上升最小的是中椒四号,达 15.0%)。

3 讨论

3.1 低温对辣椒幼苗叶片生理指标的影响

低温条件下植物体内超常积累活性氧自由基,当温度下降或低温持续时间较长,SOD、POD 的活性下降,影响植物体内活性氧代谢系统的平衡,促进活性氧在细胞内大量积累,启动和加速细胞膜过氧化作用,从而使

植物体受到伤害,代谢活动逐渐减弱。本研究结果显示,所选 3 个辣椒品种幼苗叶片在所设定的三个低温条件下,SOD 酶活性下降,POD 酶活性上升,表明所设的 3 个低温已使所选 3 个品种辣椒幼苗叶片启动了细胞膜的氧化进程,植株开始受到伤害,温度愈低,受害愈重(图 1)。另一方面,辣椒幼苗叶片受低温影响后,体内保护酶系统受损,清除活性氧的能力下降,有利于自由基的产生,引起膜脂过氧化作用,使膜的过氧化产物 MDA 积累(图 5),造成膜系统结构和功能的损伤,电解质大量泄漏,而且低温胁迫程度越大,这种现象越严重(图 3)。可溶性蛋白是植物体内的重要渗透调节物质。在逆境条件下,辣椒幼苗可溶性蛋白大量积累,提高细胞液的浓度(图 7),维持细胞的膨压,防止原生质过度脱水。张子学等^[22]、任旭琴等^[23]、隋益虎等^[24]、边静等^[25]、刘慧英等^[26]的研究均表明,低温处理使辣椒叶片的可溶性蛋白含量升高,且温度愈低,升高愈多。本研究的结果与这些结论相一致(图 7),本研究结果进一步显示:虽然 3 个辣椒品种幼苗与低温相关的生理指标随温度变化的趋势一致,但品种间差异显著。

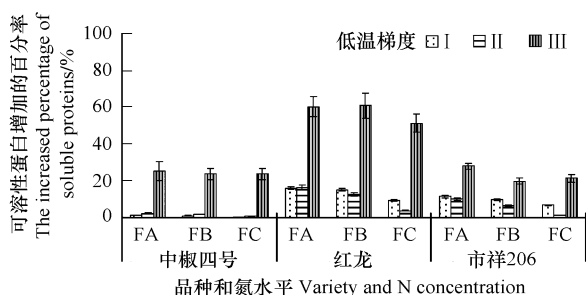


图 7 3 个氮素水平下培养的 3 个品种辣椒幼苗经 3 个低温处理后叶片可溶性蛋白含量的变化

Fig.7 Variations of soluble proteins concentrations of leaves of three pepper varieties seedling grown in three N concentrations treated with 3 grads low temperature

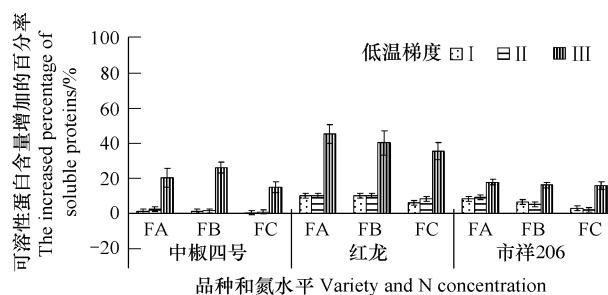


图 8 经 3 个低温处理的 3 个氮素水平下培养的 3 个品种辣椒幼苗在常温下 6d 后叶片可溶性蛋白含量变化

Fig.8 Variations of soluble proteins concentration of leaves of three pepper varieties seedlings grown in three N concentrations treated subsequently for 6 days under normal temperature

3.2 不同低温对辣椒幼苗影响差异分析

本研究显示模拟自然变温,连续 3d 5℃/11℃ 低温(Ⅲ)下,所选的 3 个辣椒品种幼苗叶片无论是保护酶系统和膜过氧化指标出现明显的跃变,这表现为,此条件下这些指标不仅与对照相比有极显著的差异,而且与连续 3d 7℃/13℃ 低温(Ⅱ)和 9℃/15℃ 低温(Ⅰ)条件下的指标也有显著差异。更为重要的是,连续 3d 7℃/13℃ 低温(Ⅱ)或 9℃/15℃ 低温(Ⅰ)条件处理后,经过 6d 常温(18℃/25℃)培育后,各项生理指标与对照的差异显著缩小,表明在低温Ⅰ和Ⅱ条件下,辣椒幼苗生长虽然会受到影响,但当温度恢复致适宜时,其仍然能正常生长。但 5℃/11℃ 低温条件(Ⅲ)下的各指标虽与对照的差异有所缩小,但仍保持较高水平。表明在低温Ⅲ条件下,即使温度恢复致适宜时,辣椒幼苗已不能恢复正常生长(图 2,图 4,图 6,图 8)。

文献中低温对辣椒幼苗影响的结果大多为在恒温或两段变温条件下进行的^[4-26],因此在低温设置上本文在人工气候箱内模拟自然降温过程,这虽然比过去研究中低温设置多为恒温或两段变温更接近自然降温过程的实际。但模拟自然变温得到的结果与恒温或两段变温下的结果究竟差异多大,仍需要做大量实验。

3.3 氮素水平与辣椒幼苗受低温影响程度的关系

3 个氮素水平下所选 3 个辣椒品种幼苗叶片在相同的低温条件下均表现出随氮素水平升高(FC)生理指标与对照差异较小的趋势。但连续 3d 5℃/11℃ 低温(Ⅲ)处理后,所选 3 个辣椒品种幼苗叶片即便在较高氮素水平(FC)下,也不能恢复正常生长(图 2,图 4,图 6,图 8)。这个结果表明:在一定低温范围内,良好氮素营养条件有利于提高辣椒幼苗抵御低温能力,受低温影响后恢复较快。但当低温达到连续 3d 5℃/11℃(Ⅲ)时,良好的氮的条件也不能使辣椒幼苗恢复正常生长了。

一般认为作物氮素水平高会降低其抗低温的能力。本研究和陈先知^[27]研究显示,并不是氮素水平低抗

低温能力就愈强,而是在一定范围内氮素水平高,作物抗低温的能力也随之升高,例如陈先知认为番茄育苗床土中的速效氮含量为 $120\text{--}150\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,有利于秧苗的健壮生长^[27]。本研究结果表明辣椒幼苗抗低温能力与氮素营养在试验所设的 3 个水平内,氮素水平高,抗低温能力强。氮素在什么水平下辣椒幼苗抗低温的能力随氮素水平升高而降低,是需要进一步研究的具有实践意义的问题。

4 结论

氮素水平对辣椒幼苗抵御低温的能力有影响,在本实验 3 个水平下,氮素水平较高时(FC)提高了辣椒幼苗抵御低温的能力。较高的氮素水平虽能减轻低温对辣椒幼苗的危害程度,但不能完全抵消低温的影响。当辣椒幼苗经连续 3d $5^{\circ}\text{C}/11^{\circ}\text{C}$ (Ⅲ)低温处理后各生理指标与对照相比差异较大,受害严重,3 个品种和 3 个氮素水平下均不能完全恢复正常。经连续 3d $7^{\circ}\text{C}/13^{\circ}\text{C}$ 低温(Ⅱ)或 $9^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$ 低温(Ⅰ)条件处理的辣椒幼苗,常温下 6d 后均已恢复正常生长,且氮素水平愈高,恢复愈好。

References:

- [1] Huang Z W, Guo H Q, Wang H M. Investigations of pepper plantation and developing strategies. *Shanghai Vegetables*, 2007, (2):10-11.
- [2] Kaniuga Z. Chilling response plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. *Plant Biology*, 2008, 10(2):171-184.
- [3] De Swart E A M, Marcelis L F M, Voorrips R E. Variation in relative growth rate and growth traits in wild and cultivated *Capsicum* accessions grown under different temperatures. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2006, 81(6):1029-1037.
- [4] Rasche F, Trondl R, Naglreiter C, Reichenauer T G. Chilling and cultivar type affect the diversity of bacterial endophytes colonizing sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Canadian Journal of Microbiology*, 2006, 52(11):1036-1045.
- [5] Kang Y I, Kim H J, Lee S Y, Chun H, Kang N J, Jeong B R. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves and flowers under different irradiance and night temperature regimes. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 2008, 49(6):397-402.
- [6] Jang Y, Cho Y, Rhee H, Um Y. Effects of rootstock and night temperature on the growth and yield of grafted pepper (*Capsicum annuum* L.). *Horticulture Environment and Biotechnology*, 2008, 49(2):63-71.
- [7] Qian Z L, Ding L P, Cao S C. Effects of low temperature stress on pepper seedling lipid peroxidation and protective enzyme activity. *Acta Horticulturae Sinica*, 1994, 21(2):203-204.
- [8] Yang G D, Guo Q P. Effects of low temperature on sweet pepper seedling POD and SOD activity. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 1998, 26(4):44-47.
- [9] Zou Z R, Lu G Y. The effects of chilling stress on membrane lipid peroxidation and protective enzyme in pepper seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 1994, 3(3):51-56.
- [10] Xie J M, Yu J H, Huang G B, Xie M H. Effects of light intensity on photo inhibition in pepper seedlings treated under low temperature and poor irradiance. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(5):231-234.
- [11] Chai W C, Ma R L, Xing G M, Jiao Y S. Research progress on low temperature tolerance in pepper. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2009, 37(1):85-87.
- [12] Xu W H, Wang L L, Wang Z G. Effects of low temperature on physiological and biochemical characteristics of pepper seedlings. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2006, 41(3):56-59.
- [13] Wang L P, Wang X, Zou C L. Effect of low temperature and poor light on activity of SOD and content of MDA of pepper. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2008, (3):18-20.
- [14] Shaked R, Rosenfeld K, Pressman E. The effect of low night temperatures on carbohydrates metabolism in developing pollen grains of pepper in relation to their number and functioning. *Scientia Horticulturae*, 2004, 102(1):29-36.
- [15] Korkmaz A, Korkmaz Y, Demirkiran A R. Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedlings by exogenous application of 5-aminolevulinic acid. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, Available online 28 July.
- [16] Li X G, Bi Y P, Zhao S J, Meng Q W, He Q W, Zou Q. Effects of short-term chilling stress on the photosystems and chloroplast ultrastructure in sweet pepper. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(6):1226-1231.
- [17] Li X G, Zhao J P, Xu P L, Meng J J, He Q W. Effects of cyclic electron flow inhibitor (Antimycin A) on photosystem photoinhibition of sweet pepper leaves upon exposure to chilling stress under low irradiance. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(7):506-511.
- [18] Xie J M, Xie M H, Yu J H, Zhang J F. Changes of chloroplast pigments of pepper leaves under low temperature and poor light stress and relations between these changes and varietal tolerance. *China Vegetables*, 2008, (4):12-16.
- [19] Ma Y Q, Dai X Z. Influences of low temperature stress on pepper's physiological index related to resistance to coldness. *Journal of Hunan*

- Agricultural University(Natural Sciences), 2000,26(6):461-462.
- [20] Xie J M, Yu J H, Xie M H, Feng Z. Changes of three osmotic regulatory metabolites in leaves of pepper under low temperature and poor light stress and relations between its and varietal tolerance. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009,29 (1):105-110.
- [21] Zhang Z L, Qu W J. The Experimental Guide for Plant Physiology (3rd Edition). Beijing: Higher Education Press, 2003:159-160,268-270,274-277.
- [22] Zhang Z X, Zhang R, Sui Y H, Cui G R, Zhang C Y. The effect of temperature stress on partial physiological characteristics in *Capsicum*. *Journal of Anhui Science and Technology University*, 2007,21 (3):1-6.
- [23] Reng X Q, Zhang L Q, Sun M. Study on physiology response of pepper leaf to low temperature. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*,2006,34 (24):6 439-6 440.
- [24] Sui Y H, Zhang Z X, Xing S Z, Ning S K, Ling T Z. Using method of delphi to judge the resistance of chili to temperature stress. *Journal of Anhui Technical Teachers College*,2004,18 (5):24-27.
- [25] Bian J, Hu Y X. Preliminary study on screening for pepper tolerant to low temperature and low light intensity. *Liaoning Agricultural Science*,1994, (4):37-40.
- [26] Liu H Y, Wang Z L, Wang Y H. Studies on the chilling tolerance of different pepper varieties during germination of seeds and seedlings. *Journal of Shihezi University (Natural Science Edition)*, 2002, 6 (1):23-26.
- [27] Chen X Z. Effects of light intensity, temperature and nutrition at seedling stage on the occurrence of malformed fruit in "Chuanfan Zanjiao No.1" tomato. The paper of master's degree of Sichuan Agricultural University, 2005, 35-36.

参考文献:

- [1] 黄智文,郭汉权,王恒明. 广东辣椒种植业调查与发展策略. *上海蔬菜*,2007,(2):10-11.
- [7] 钱芝龙,丁犁平,曹寿春. 低温胁迫对辣(甜)椒幼苗膜脂过氧化水平及保护酶活性的影响. *园艺学报*,1994,21(2):203-204.
- [8] 杨广东,郭庆萍. 低温对青椒幼苗过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性的影响. *山西农业科学*,1998,26(4):44-47.
- [9] 邹志荣,陆帼一. 低温对辣椒幼苗膜脂过氧化保护酶系统变化的影响. *西北农业学报*,1994,3(3):51-56.
- [10] 颜建明,郁继华,黄高宝,颜敏华. 持续低温弱光及之后强光对辣椒幼苗光抑制的影响. *农业工程学报*,2008,24(5):231-234.
- [11] 柴文臣,马蓉丽,邢国明,焦彦生. 辣椒耐低温研究进展. *山西农业科学*,2009, 37 (1): 85-87.
- [12] 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. *甘肃农业大学学报*, 2006,41(3):56-59.
- [13] 王丽萍,王鑫,邹春蕾. 低温弱光胁迫下辣椒保护酶活性与膜脂过氧化产物含量的变化. *辽宁农业科学*, 2008, (3):18-20.
- [16] 李新国,毕玉平,赵世杰,孟庆伟,何启伟,邹琦. 短时低温胁迫对甜椒叶绿体超微结构和光系统的影响. *中国农业科学*, 2005,38(6): 1226-1231.
- [18] 颜建明,颜敏华,郁继华,张俊峰. 低温弱光下辣椒叶片光合色素的变化及与品种耐性的关系. *中国蔬菜*, 2008, (4):12-16.
- [19] 马艳青,戴雄泽. 低温胁迫对辣椒抗寒性相关生理指标的影响. *湖南农业大学学报(自然科学版)*,2000,26(6):461-462.
- [20] 颜建明,郁继华,颜敏华,冯致. 低温弱光下辣椒3种渗透调节物质含量变化及其与品种耐性的关系. *西北植物学报*, 2009,29(1): 105-110.
- [21] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京:高等教育出版社,2003: 159-160,268-270,274-277.
- [22] 张子学,张蕊,隋益虎,崔广荣,张从宇. 温度胁迫对辣椒部分生理特性的影响. *安徽科技学院学报*,2007,21(3):1-6.
- [23] 任旭琴,张林青,孙敏. 辣椒叶片对低温的生理响应研究. *安徽农业科学*,2006,34(24):6 439-6 440.
- [24] 隋益虎,张子学,邢素芝,宁世奎,凌同忠. 辣椒抗逆温生理强弱的 Delphi 法评判. *安徽技术师范学院学报*,2004,18(5):24-27.
- [25] 边静,胡迎雪. 青椒耐低温、弱光鉴定的初步研究. *辽宁农业科学*,1994, (4):37-40
- [26] 刘慧英,王祯丽,王玉华. 不同品种辣椒种子发芽和苗期耐冷性差异的研究. *石河子大学学报(自然科学版)*,2002,6(1):23-26.
- [27] 陈先知. 苗期光、温、养分对“川番杂交一号”番茄畸形果发生的影响. *四川农业大学硕士学位论文*,2005.