北 方 园 艺
Northern Horticulture
2017(17):80-86 ·研究简报·

doi:10.11937/bfyy.20170016

低温胁迫对设施小青菜叶片抗衰老特性的影响

刘 伟[1],杨再强[1,2],薛思嘉[1],李煜珊[1]

(1.南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心,江苏 南京 210044;
2.南京信息工程大学 江苏省农业气象重点实验室,江苏 南京 210044)

摘 要:以小青菜品种"新场青一号"为试材,利用人工环境控制试验研究的方法,研究了低温胁迫对设施小青菜的叶绿素含量、保护酶活性、细胞膜透性及抗衰老特性的影响,以期为小青菜设施种植的低温灾害防控提供指导。结果表明:在-6~0 ℃范围内,小青菜叶片的叶绿素含量随着低温胁迫强度的加剧和持续时间的延长而明显下降;叶片组织的超氧化物歧化酶(SOD)活性随着胁迫温度的降低而不断升高,过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性随着处理时间的延长,均表现出先升高后降低的趋势;丙二醛(MDA)含量则表现出了先升高后降低再升高的特点;叶片的相对电导率随着胁迫温度的降低而升高,而温度越低,增长幅度越大。研究认为,小青菜叶片的抗衰老特性随气温降低而降低,细胞膜透性变得越差,-4 ℃持续 9 h 时,细胞活性受到不可恢复的伤害,因此,该温度为小青菜低温胁迫产生结构性伤害的临界温度。

关键词:小青菜;低温胁迫;叶绿素;膜透性;保护酶活性

中图分类号:S 636.626 **文献标识码**:B **文章编号**:1001-0009(2017)17-0080-07

小青菜(*Brassica campestris* L.)又名小白菜、不结球白菜、青菜。原产于我国,在南北各地均有分布;由于小青菜植株生长速度快,生长周期短,富含矿物质和维生素,因此深受人们喜欢。在冬春季设施小青菜生产过程中,低温灾害时常发生,低温致使小青菜植株生长变缓,根系活力下降,产量降低,品质变差,严重时甚至导致植物死亡[1-2]。因此研究低温对设施小青菜衰老特性及细胞膜透性的影响对揭示低温致灾机理和灾害防御具有重要意义。

前人关于低温对植物抗衰老特性研究有较多报道。在低温胁迫下,植物的抗衰老特性受到严重影响,叶片叶绿素含量降低[3-5]。研究表明水稻幼苗叶片的叶绿素荧光参数在 4 ℃的低温处理下大幅度下降[6]。低温影响了叶绿素合成所需的大部分酶的活性,最终导致了叶绿素的合成受阻[7]。低温胁迫会产生活性氧自由基,造成细胞膜系统的损伤,严重时会导致细胞的死亡[8-9]。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)等是植物在逆境胁迫中保护自身的重要的酶[10],因此保护酶活性是植物抗衰老能力的一个重要衡量指标。在低温胁迫下,抗寒性强的品种 SOD 活性和 POD 活性均比抗寒性弱的品种高[11-12],孟雅宁等[13]在对不同品种的辣椒幼苗抗氧化酶活性和质膜透性时发现,耐低温弱光较强品种的 SOD、POD、CAT 活性相对较高,而 MDA 含量和质膜透性相对较低且变化幅度较小,MDA 含量和电导率是细胞膜受损程度的重要衡量标准,黄瓜幼苗在低温胁迫下 MDA 含量呈现先增高后降低的特点[14],辣椒幼苗在低温胁迫下抗氧

第一作者简介:刘伟(1993-),男,硕士研究生,研究方向为设施气象灾害。E-mail:yzq@nuist.edu.cn.

责任作者:杨再强(1967-),男,博士,教授,硕士生导师,现主要从事设施环境调控等研究工作。E-mail:yzq@nuist.edu.cn.

基金项目:"十二五"国家科技支撑计划资助项目(2014BAD10B07)。

收稿日期:2017-02-28

化酶活性提高，减缓了 MDA 含量和细胞膜透性的持续增大[15]。而且 MDA 含量过高会对植物造成一定的伤害。DHINDSA[16] 的研究结果表明，外源 MDA 抑制山赤藓、牛角藓和豌豆叶片中的蛋白质合成。

迄今为止，关于小青菜在低温胁迫下抗衰老特性研究较少，其影响机理尚不清楚。因此，该研究以小青菜为试材，通过人工控制试验，研究了低温胁迫对叶绿素含量、保护酶活性及电导率的影响，旨在为小青菜设施种植低温灾害提供科学的指导，并为抗逆生理研究提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试小青菜品种为“新场青一号”，种子取自上海市农科院园艺研究所，放入土壤箱中种植，待长到适宜程度后移植，进行试验。

1.2　试验方法

试验于 2016 年 10—12 月在南京信息工程大学农业气象试验站进行。当苗达到高 10 cm、3 片小叶时，移至盆中定植，定期浇水施肥，保持养分和水分在适宜的水平，待生长到 10～12 叶时放入南京信息工程大学气候箱（TPG-2009，Australian）中进行处理。设置温度为 0、－2、－4、－6 ℃ 4 个水平，以 25 ℃处理为对照（CK），处理时间分别为 3、6、9、12 h，试验期间，控制人工气候箱相对湿度为 75%，光合有效辐射为 800 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$。每个处理 3 次重复。

1.3　项目测定

1.3.1　叶片叶绿素含量的测定

使用 SPAD-502 叶绿素仪直接获取目标叶片的叶绿素含量。

1.3.2　保护酶活性的测定

选择叶面积较大、颜色呈深绿色的成熟叶片，将其置于液氮中迅速处理 15 min 后置于冰箱中继续冷藏。测定时，称取约 0.5 g 样品放入研钵中，研磨时加入 1 mL pH 7.8 的磷酸缓冲液（0.2 $mol \cdot L^{-1}$ KH_2PO_4 和 0.2 $mol \cdot L^{-1}$ $KHPO_4$ 配制）和少量石英砂，匀浆时倒入离心管中，于 0 ℃、4 000 $r \cdot min^{-1}$冷冻离心机中离心 20 min。采用氮蓝四唑（NBT）比色法测定超氧化物歧化酶（SOD）活性[17]；采用紫外吸收法测定过氧化氢酶（CAT）活性[18]；采用愈木酚显色法测定过氧化物酶（POD）活性[19]；采用硫代巴比妥酸（TBA）比色法测定丙二醛（MDA）含量[20]。

1.3.3　相对电导率的测定

先取洁净烧杯，加入 40 mL 蒸馏水，利用电导率仪测得其电导率 R_0。选取目标叶片用蒸馏水洗净，自然晾干，避开主要的叶脉，使用打孔器取直径 5 mm 的叶肉组织，置于烧杯中，将烧杯保鲜膜封好浸泡 5～6 h，测出其电导率 R_1。再放入水浴锅中煮沸 30 min，放置至常温后测定电导率 R_2。其中每份取样大约 10 片，重复测定 3 次。相对电导率的计算公式为 $R=(R_1-R_0)/(R_2-R_3)$。

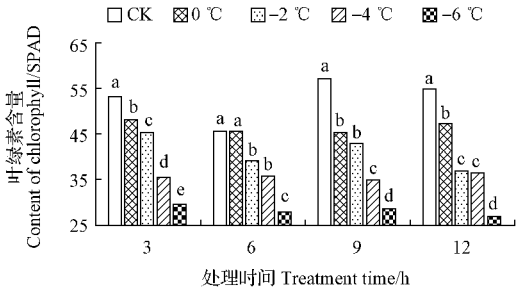
1.4　数据分析

利用 Excel 2010 和 DPS 7.5 软件进行统计分析。

2　结果与分析

2.1　低温胁迫对叶绿素含量的影响

植物光合作用中起捕获光能作用的重要物质就是叶绿素，其含量对植物光合能力有重要的影响。由图 1 可知，经过低温处理后的小青菜叶绿素含量均低于 CK，小青菜在经受不同程度低温胁迫之后，叶绿素含量同 CK 相比表现出随着时



注：小写字母表示利用 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平下差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters show significant differences within each column according by the LSD range test ($P<0.05$). The same below.

图 1　低温胁迫对小青菜叶绿素含量的影响

Fig. 1　Effect of low temperature stress on content of chlorophyll in the *Brassica chinensis*

间的延长和胁迫程度的加强而下降的趋势，处理时间越长，下降的幅度越大，在处理 3、6 h 时，0 ℃与 CK 相比仅下降了 9.6%和 0.5%，但在 9、12 h 时，降幅达到了 20.0%和 13.5%。胁迫温度越低，下降的幅度越大，其中 9 h、－6 ℃和 12 h、－6 ℃与 CK 相比 SPAD 值分别降低了 28.47 和 27.91，降幅分别为 50.0%和 51.0%。表明处理时间长短和胁迫温度的高低均会对叶绿素含量产生较大的影响。

2.2 低温胁迫对保护酶活性和丙二醛含量的影响

由图 2 可知，经过处理后的超氧化物歧化酶(SOD)活性随着处理时间的延长，呈现出上升的趋势，并且所有处理的 SOD 活性均高于 CK，在 12 h、－6 ℃时 SOD 活性达到最高，3 h、0 ℃时 SOD 活性则最低。在相同的处理时间里，酶活性都是随着胁迫温度的降低而逐渐升高；在 3、6 h 时 SOD 活性的最大值相较于 CK 增加的幅度远大于 9、12 h，增长幅度分别为 17.6%和 16.3%，但是随着处理时间的延长，SOD 活性增长的幅度则是降低的，在 9、12 h 增加的幅度则为 9.3%和 11.5%。对于过氧化氢酶(CAT)来说，所有处理的 CAT 活性随着处理温度的降低，呈现出上升的趋势，而且所有的处理 CAT 活性均高于 CK，其中以 9 h、－6 ℃最高，3 h、0 ℃最低。在相同的处理时间内，随着胁迫温度的降低，CAT 活性均逐渐升高；当处理温度为 0 ℃时，随着处理时间的延长，活性逐渐上升，但是在－2、－4、－6 ℃ 3 个处理温度下，CAT 活性先上升，在9 h时达到最大值之后开始下降。对于过氧化物酶(POD)来说，所有处理的 POD 活性均大于 CK，在 9 h、－6 ℃时 POD 活性达到最大值，在 12 h、－6 ℃时 POD 活性达到最小值。在 3、6、9 h 时，随着处理温度的降低，酶活性均升高，但在处理时间为 12 h 时，在－2 ℃时 POD 活性达到最高，之后 POD 活性开始下降；0、－2、－4、－6 ℃ 4 个低温胁迫处理均随着处理时间的增长，POD 活性在 9 h 达到最大值之后开始降低。丙二醛(MDA)含量随着处理温度的降低呈现上升的趋势，并且所有的处理 MDA 含量均高于 CK，其中，在 6 h、－6 ℃时，MDA 含量达到最高值，与 CK 相比增加了约 60%，3 h、0 ℃时 MDA 含量为最低值。随着处理时间的延长，MDA 含量在不同温度表现出不同的变化特点，0 ℃，MDA 含量先升高在 9 h 之后

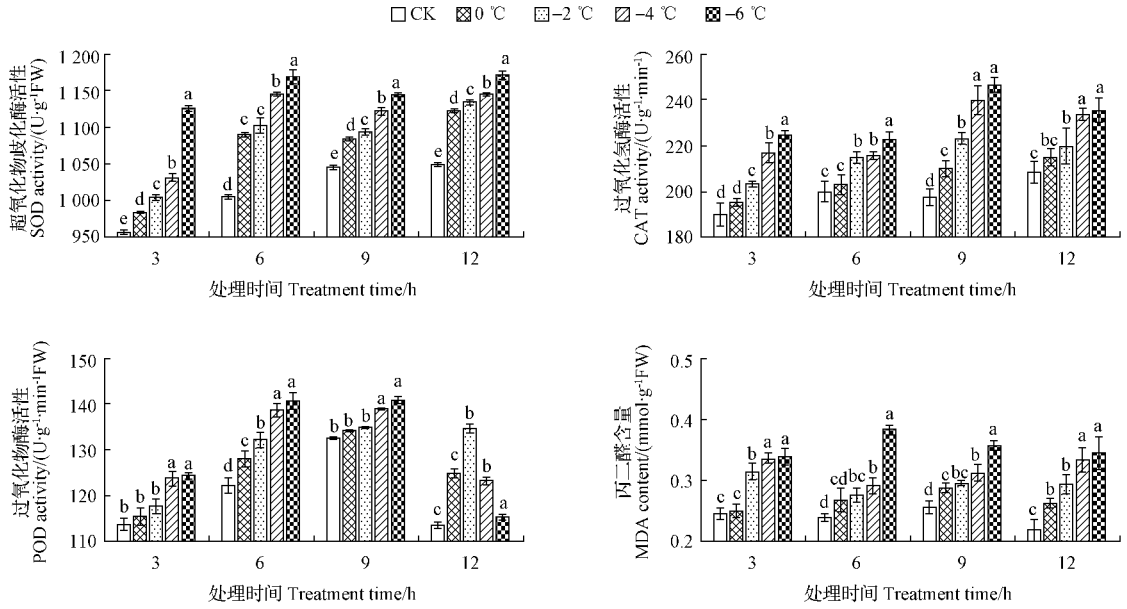


图 2 低温胁迫对小青菜保护酶活性和丙二醛(MDA)含量的影响

Fig. 2 Effect of low temperature stress on protective enzymes activity and content of MDA in *Brassica chinensis*

降低，－2 ℃，MDA 含量先升高，之后降低之后再次升高，－4 ℃，MDA 含量升高之后降低然后再升高，－6 ℃，MDA 含量先升高之后降低。

2.3　低温胁迫对细胞膜透性的影响

相对电导率是衡量细胞膜透性的重要指标，其值越大表示电解质的渗漏量越多，细胞膜受害程度越重。细胞膜透性的大小可间接用组织的相对电导率衡量。组织相对电导率越高，说明细胞膜完整性遭到破坏的程度就越大。由图 3 可知，相同处理时间内，随着处理温度的逐渐降低，相对电导率很明显的升高，在 12 h、－6 ℃出现最高值 77.86%，最高增长幅度高达 21.5 倍，最低值出现在 3 h、0 ℃。3、6 h 时，不同胁迫温度相对电导率高低差异明显，但是相邻温差之间增加的幅度并不明显，涨幅为 20%；在 9、12 h 时，－4、－6 ℃相对电导率比较接近，并且与 0 ℃相比增加幅度巨大，约 300%。

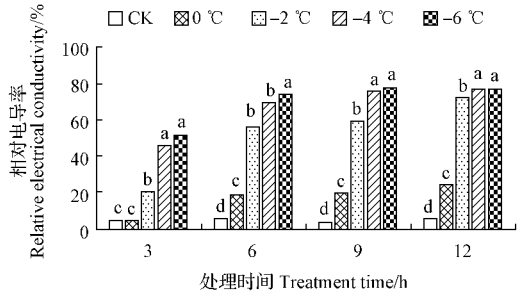


图 3　低温胁迫对小青菜相对电导率的影响

Fig. 3　Effect of low temperature stress on relative electrical conductivity of *Brassica chinensis*

3　讨论与结论

低温胁迫影响光合作用，导致光合速率降低，首先受影响的就是叶绿素含量，叶绿素是植物光合作用中不可或缺的关键色素，对低温胁迫敏感程度很高，也是植物受低温胁迫伤害的一个重要指标。经过低温处理后的小青菜叶绿素含量均低于 CK，小青菜在经受不同程度低温胁迫之后，叶绿素含量同 CK 相比表现出随着时间的延长和胁迫程度的加强而下降的趋势，即温度越低，处理时间越长，叶绿素含量越低。这与绿萝幼苗、辣椒幼苗叶片、甜瓜幼苗和棉花在低温胁迫下的叶绿素含量的变化情况是相似的[21-24]。低温胁迫下叶绿素含量减少的原因有很多，低温胁迫下，叶绿素降解加剧，而合成能力降低，导致叶绿素含量总量降低[25]。SHIMAZAKI 等[26]的研究发现，经过 SO_2 处理的叶片中形成 MDA 的同时，叶绿素 a 同时遭到了破坏，即 MDA 有可能引起叶绿素的分解，低温胁迫下小青菜的 MDA 含量呈现出升高的趋势，叶绿素含量与 MDA 含量表现出了比较明显的负相关；另一方面，低温胁迫会使植物细胞内各种酶的活性受到限制，使得叶绿素的合成受到阻碍，需要进一步的试验进行探究。

活性氧自由基学说与植物抗逆性关系的研究正在日益深入[27-29]，自由基伤害学说[30]认为，在正常情况下，植物细胞中存在着活性氧的产生和消除 2 个过程，正常情况下，活性氧处于较低水平，不会对植物产生危害，但当植株受到胁迫，活性氧会爆发，致使生物膜脂过氧化，对植物产生氧化伤害。植物通过超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）、过氧化氢酶（CAT）等协同作用，使氧自由基维持在一个低水平，从而防止氧自由基伤害[31-33]。研究表明，低温胁迫下保护酶与活性氧发生超氧化歧化反应，保护了细胞膜，因此保护酶的活性与植物的抗低温胁迫能力有关系。

经过处理后的小青菜的 SOD 活性，均高于 CK 的 SOD 活性，随着处理温度的降低，SOD 活性相对于 CK 来说都是越来越高的，这与大叶女贞、大叶黄杨、辣椒幼苗、野牛草等 SOD 活性先升高后降低的表现是不同的[34-36]，这些研究表明较低的胁迫温度影响 SOD 活性，使得 SOD 活性降低，但是该试验小青菜 SOD 活性并没有下降的趋势，这种现象一种原因可能是胁迫温度设置没有低到影响小青菜 SOD 活性的程度，另一种原因可能是小青菜 SOD 活性有其独特的生理特征，这需要进一步试验来验证。过氧化氢酶（CAT）和过氧化物酶（POD）活性随着处理温度的降低均表现出上升的趋势，并且活性均高于 CK。但是当处理温度降低时，随着处理时间的加长，这 2 种酶的活性均表现出升高之后下降的趋势，而且 POD 活性下降的更快一些。这与木薯、野牛草、韭菜的 CAT 活性和 POD 活性在低温胁迫下的变化类似[35-37]。即低温胁迫诱发 CAT 活性和 POD 活性的升高，但是随着胁迫温度的降低，低温对酶活性的影响超过了低温胁迫对 CAT 活性和 POD

活性诱导的影响,导致这2种酶活性降低。总体来说,小青菜SOD活性受低温的影响比POD活性和CAT活性的小。

过量的活性氧自由基会启动膜脂过氧化反应,MDA含量的变化是细胞膜膜脂过氧化反应的反映。MDA含量随着温度的降低呈现出上升的趋势,而且所有处理的MDA含量均高于CK。有研究表明,黄瓜幼苗和茄子幼苗在低温胁迫下,MDA含量与保护酶活性存在一定的负相关[2,38],这与该研究结果类似。小青菜的MDA含量在不同处理温度下随着时间的延长均出现了先升高后降低再升高的现象,这与保护酶活性的变化存在一定的负相关,小青菜的保护酶除SOD活性外,POD活性和CAT活性均表现出了先升高后降低的变化特点,即低温引起活性氧自由基的大量积累,使得丙二醛的量开始积累,含量升高,低温诱导使保护酶活性升高,减轻活性氧自由基对细胞的影响,减轻膜脂过氧化作用,使得MDA含量降低。0 ℃下,MDA含量先升高后降低,即低温胁迫先引起MDA含量的升高,随后保护酶活性升高,使得MDA含量有所降低;-2、-4 ℃下,MDA含量在升高、降低之后又出现了升高的现象,这表明温度随着处理时间的延长开始降低保护酶的活性,使其对植物细胞的保护作用减弱,导致活性氧自由基对细胞膜的伤害又开始加剧,导致MDA含量上升;-6 ℃下,MDA含量升高然后下降,之后没有继续升高,猜测是较低的胁迫温度使得细胞代谢异常,需要进一步的研究。

植物抗寒能力的一个重要指标是细胞膜透性,聂庆娟等[34]对北方常见的4种阔叶林木的抗寒性对比中发现,电导率变化小的黄杨的抗寒能力明显高于电导率变化相对较高的大叶女贞、小叶女贞和广玉兰。在低温胁迫条件下,小青菜的相对电导率急剧升高;当胁迫温度低到-4、-6 ℃,当处理时间延长之后,电导率的差异没有明显的变化,这表明在这个温度下,低温使小青菜细胞膜出现了结构性的损伤,有可能产生了不可逆的伤害。

综上所述,小青菜具有较强的抗寒能力,但当胁迫温度达到-4 ℃,且持续时间超过9 h时,可能会对小青菜产生较强的结构损伤,保护酶的活性开始有所降低,MDA含量又出现了升高的趋势,相对电导率值不再出现比较明显的变化。在设施农业种植小青菜的过程中,如果低温胁迫达到-4 ℃,并且持续较长的低温时,需要人工增温,以防止减产。

该试验仅对小青菜在低温胁迫下各项生理指标进行了研究,但是低温胁迫后小青菜产量和品质的影响需要进一步的试验研究;对小青菜在低温之后的恢复能力没有进一步的跟踪研究。另一方面,对于保护酶在长时间的低温胁迫下活性降低原因没有进一步明确,具体是因为保护酶的生理特点还是低温产生的影响,需要进一步的研究。

参考文献

[1] 谭文,杨再强,李军.基于温光效应的小白菜营养品质模拟模型研究[J].中国农业气象,2016,37(1):59-67.

[2] 王春萍,黄启中,雷开荣,等.低温弱光下辣椒幼苗叶绿素荧光特性及其与品种耐性的关系[J].园艺学报,2015,42(9):1798-1806.

[3] 梁芳,郑成淑,孙宪芝,等.低温弱光胁迫及恢复对切花菊光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J].应用生态学报,2010,21(1):29-35.

[4] JEONG S W,CHOI S M,LEE D S,et al. Differential susceptibility of photosynthesis to light-chilling stress in rice (*Oryza sativa* L.) depends on the capacity for photochemical dissipation of light[J]. Molecules & Cells,2002,13(3):419-428.

[5] WOO N S,BADGER M R,POGSON B J. A rapid,non-invasive procedure for quantitative assessment of drought survival using chlorophyll fluorescence[J]. Plant Methods,2008,4(1):27.

[6] 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.

[7] ZHOU J S,XIONG H Y,YANG C J,et al. Chemical compositions of volatile oil from fruiting body of *Armillaria luteovirens*[J]. Agricultural Science & Technology,2008,9(2):90-92.

[8] ROY C S,CHOUDHURI M A. Hydrogen peroxide metabolism as an index of water stress tolerance in jute[J]. Physiologia Plantarum,2010,65(4):476-480.

[9] 卢佳华,张敏,谢晶,等.低温胁迫下黄瓜果实膜透性和保护酶活性的变化[J].广东农业科学,2012,39(22):42-44.

[10] FRIDOVICH I. The biology of oxygen radical[J]. Science,1978,201(4359):875-880.

[11] LUO X Y,FENG C J,LI H,et al. Study on changes of SOD and proline activity during low temperature stress on *Medicago sativa* L. cv. Zhaodong[J]. Grassland of China,2004,26(4):79-81.

[12] XIA M,LIU Y X,ALA M,et al. Relationship between chill-

ing resistance and POD isoenzyme on alfalfa leaves[J]. Grassland of China,2003,25(4):41-45.

[13] 孟雅宁,严立斌,范妍芹. 低温弱光对不同品种甜(辣)椒幼苗抗氧化酶活性与质膜透性的影响[J]. 山东农业科学,2016,48(11):38-42.

[14] 刘伟,艾希珍,梁文娟,等. 低温弱光下水杨酸对黄瓜幼苗光合作用及抗氧化酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(2):441-445.

[15] 张帆,郁继华,颉建明,等. 外源 ALA 和 Spd 对低温弱光下辣椒幼苗光合作用及抗氧化系统的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(11):2298-2306.

[16] DHINDSA R S. Inhibition of protein synthesis by products of lipid peroxidation[J]. Phytochemistry,1982,21(2):309-313.

[17] RABINOWITCH H D, SKLAN D. Sunscald tolerance in tomatoes:Role of superoxide dismutase[J]. Planta,1980,148(2):162-167.

[18] CHANCE B,MAEHLY A C. Assay of catalase and peroxidase[M]//Methods of Enzymology. New York:Education Press,1954,55(1):755-764.

[19] LI H S. Plant physiological and biochemical priciples and experimental techniques[M]. Beijing: Higher Education Press,1955:164-167.

[20] BRADFORD M M. A Rapid and sensitive method for the determination of microgram quantities of protein utilizing the prinple of protein-dye binding[J]. Anlytical Biochemistry,2015,72(s1-2):248-255.

[21] 王晶,徐志英,盛云燕. 低温对绿萝幼苗叶片氮素及叶绿素含量的影响[J]. 现代农业科技,2011(15):208-209.

[22] 白青华,郭晓冬,王萍,等. 低温对辣椒幼苗叶片氮素及叶绿素含量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2009,44(6):48-51.

[23] 和红云,薛琳,田丽萍,等. 低温胁迫对甜瓜幼苗叶绿素含量及荧光参数的影响[J]. 北方园艺,2008(4):13-16.

[24] 武辉,周艳飞,侯丽丽,等. 低温弱光胁迫对棉花幼苗叶绿素荧光特性及能量分配的影响[J]. 新疆农业科学,2012,49(3):393-399.

[25] 逮明辉,娄群峰,陈尽枫. 黄瓜的冷害及耐冷性[J]. 植物学报,2004,21(5):575-586.

[26] SHIMAZAKI K,SAKAKI T,KONDO N,et al. Active oxygen participation in chlorophyll destruction and lipid peroxidation in SO_2-fumigated leaves of spinach[J]. Plant & Cell Physiology,1980,21(7):1193-1204.

[27] 张翠利,付丽娜,杨小云,等. 活性氧自由基与细胞衰老关系的研究进展[J]. 广州化工,2015(19):5-7.

[28] MARCELA S, SUSANE P. Oxygen radical generation by isolated microsomes from soybean seedling[J]. Plant Physiology,1992,100(3):1263-1268.

[29] JOHN G S. Oxygen stress and superoxide dismutase[J]. Plant Physiology,1993,101(1):7-12.

[30] MCCORD J M, FRIDOVICH J. Superoxide dismutase: An enzymic function for erythrocuprein(Hemocaprein)[J]. J Biol Chem,1969,224:6049-6055.

[31] KUK Y I,SHIN J S,BURGOS N R,et al. Antioxidative enzymes offer protection from chilling damage in rice plants[J]. Crop Sci,2003,43(6):2109-2117.

[32] ÍSMAIL T,BOR M,ÖZDEMIR F,et al. Differential responses of lipid-peroxidationand antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius*,gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediatedwater stress[J]. Plant Science,2005,168(1):223-231.

[33] DEMIRAL T,TRKAN I. Does exogenous glycinebetaine affect antioxidative system of rice seedlings under NaCl treatment[J]. Journal Plant Physiology,2004,161(10):1089-1100.

[34] 聂庆娟,孟朝,梁海永. 低温胁迫对 4 种常绿阔叶植物膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 植物研究,2007,27(5):578-581.

[35] 段曦,魏佑营,曹克友,等. 低温弱光胁迫及恢复过程对 CMS 三系辣椒幼苗保护酶活性与渗透调节物质的影响[J]. 天津农业科学,2012,18(1):11-15.

[36] 沈静,杨青川,曹致中,等. 低温胁迫对野牛草细胞膜和保护酶活性的影响[J]. 中国草地学报,2010,15(2):98-102.

[37] 康冬鸽,李瑞梅,胡新文,等. 低温胁迫下木薯几种保护酶活性变化及其与耐寒性的关系[J]. 热带作物学报,2009,30(7):908-911.

[38] 李建设,耿广东,程智慧. 低温胁迫对茄子幼苗抗寒性生理生化指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,31(1):90-92,96.

Effects of Low Temperature Stress on Anti-senility of *Brassica chinensis*

LIU Wei[1], YANG Zaiqiang[1,2], XUE Sijia[1], LI Yushan[1]

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

doi:10.11937/bfyy.20170385

辣椒品种的聚类及主成分分析

聂楚楚,王秀峰,毛芙蓉,惠云芝,刘燕妮

(吉林省蔬菜花卉科学研究院,吉林 长春 130033)

摘 要:以辣椒为试材,对57份辣椒材料的12个农艺性状进行了聚类分析,对6个数量性状进行了主成分分析,旨在为辣椒资源分类以及亲本筛选提供依据。结果表明:聚类分析将57份辣椒材料划分为四大类群,单果质量成为影响聚类结果的最重要因素;主成分分析结果表明,前3个主成分就可以表达原6个数量性状所表达的遗传特性。

关键词:辣椒;聚类分析;主成分分析;资源分类;亲本筛选

中图分类号:S 641.301 **文献标识码**:B **文章编号**:1001-0009(2017)17-0086-06

辣椒(*Capsicum annuum* L.)属茄科辣椒属作物,原产于拉丁美洲热带地区。辣椒是餐桌上常见的蔬菜之一,不仅含有丰富的维生素、辣椒素,还含有辣椒红素,具有很好的抗氧化作用。除此以外,辣椒还有一系列食疗作用,它具有健胃、助消化,预防胆结石,改善心脏功能,降血糖,预防感冒,降脂减肥等功效,因而越来越受到消费者们的追捧。辣椒田间的农艺性状表现是育种工作者关注的重中之重,尽管各种同工酶标记和DNA分子标记已经被广泛应用于植物种质资源的鉴定和分类研究,但农艺性状的鉴定和描述仍然是辣椒种质资源最基本的方法和途径[1]。

近年来,多元统计分析方法已越来越多地被

第一作者简介:聂楚楚(1986-),女,硕士,研究实习员,研究方向为辣椒遗传育种。E-mail:527883358@qq.com.

基金项目:吉林省现代农业产业技术体系建设资助项目(201621)。

收稿日期:2017-04-06

Abstract: *Brassica campestris* L. 'Xinchangqing 1' was used as test material, the effects of low temperature stress on the chlorophyll, protective enzyme activity, and cell membrane permeability of *Brassica chinensis* were studied by using artificial environment control experiment. The results showed that the chlorophyll content of *Brassica chinensis* leaves decreased with the increasing of low temperature stress intensity and prolonged duration in the range from −6 ℃ to 0 ℃. SOD activity of leaf tissue increased with the decrease of stress temperature, the activities CAT and POD increased first and then decreased with the prolonging of treatment time. The content of MDA increased first, then decreased and increased again. The relative electrical conductivity of leaves increased with the decrease of temperature, while the lower the temperature, the greater the growth rate. The results showed that the anti-aging properties of the leaves of *Brassica chinensis* decreased with the decrease of temperature and the cell membrane permeability became worse. When the temperature was −4 ℃ for 9 hours, the cell viability was irreversibly damaged. Therefore, it was the critical temperature of structural damage of *Brassica chinensis* under low temperature stress.

Keywords: *Brassica campestris* L.; low temperature stress; chlorophyll; membrane permeability; protective enzyme activity