

何俊平, 朱家成, 王建平, 等. 甘蓝型油菜幼苗显微组织结构与抗寒性的关系[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1): 19-26.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2017.01.004

甘蓝型油菜幼苗显微组织结构与抗寒性的关系

何俊平, 朱家成, 王建平, 文雁成, 曹金华, 蔡东芳, 赵磊, 王东国, 张书芬
(河南省农业科学院经济作物研究所, 农业部黄淮海油料作物重点实验室, 河南省油料作物遗传改良重点实验室, 河南 郑州 450002)

摘要: 为研究甘蓝型油菜显微组织结构与其抗寒性的关系, 采用石蜡切片法对不同温度和低温胁迫不同时段下的 2 份抗寒型及 2 份寒敏感型甘蓝型油菜材料幼苗叶片与茎进行制片, 再利用光学显微镜观察叶片与茎的显微组织结构并拍照, 进而比较分析各同类组织结构间的异同。结果表明, 不同温度和低温胁迫不同时段下, 各材料幼茎解剖结构间无明显差异; 常温下, 抗寒材料叶片叶肉及主脉显微结构各组织间的辨识度与界限清晰度优于寒敏感材料, 抗寒材料主脉显微结构中维管束鞘外围薄壁细胞的细胞壁厚度小于寒敏感材料; -2°C 胁迫下, 寒敏感材料叶片叶肉各组织的排列较抗寒型材料更为杂乱无章, 随着胁迫时间的延长, 抗寒材料叶肉细胞间隙较寒敏感材料有显著增多增大趋势。可见, 叶片是油菜感知低温逆境胁迫及传导胁迫信号的主要器官; 叶片叶肉与主脉显微结构中各组织间的辨识度、界限清晰度以及主脉维管束鞘外围薄壁细胞的细胞壁厚度可作为评判油菜抗寒性强弱的参考指标。

关键词: 甘蓝型油菜; 抗寒性; 显微结构; 叶片; 茎

中图分类号: S565.401 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)01-0019-08

The relationship between seedling microstructure and cold resistance of *Brassica napus*

HE Jun-ping, ZHU Jia-cheng, WANG Jian-ping, WEN Yan-cheng, CAO Jin-hua, CAI Dong-fang, ZHAO Lei, WANG Dong-guo, ZHANG Shu-fen

(Institute of Industrial Crops, Henan Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Oil Crops in Huanghuaihai Plains, Ministry of Agriculture, Henan Provincial Key Laboratory for Oil Crops Improvement, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this study, the relationship between microstructure and cold resistance of rapeseed (*Brassica napus*) was elucidated. The seedlings of two cold-resistant materials and two cold-sensitive materials of *Brassica napus* were taken as the experimental materials. And then the paraffin sectioning method was taken to make sectioning paraffin blocks of leaves

and stems. The microstructure of leaves and stems was observed and photographed by optical microscope. Finally, the differences and similarities of microstructure of each same organ were compared and analyzed. The results showed there was no significant difference among stem microstructure of each material at different temperature and different periods of low temperature. At room temperature, the identification and boundary clarity of each tissue of the leaf and main vein microstructure in cold-sensitive materials were better than those in cold-sensitive materials, but

收稿日期: 2016-04-07

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项基金项目 (CARS-13); 河南省重大科技专项 (151100111200); 国家自然科学基金面上项目 (31271763)

作者简介: 何俊平 (1979-), 女, 河南扶沟人, 博士, 副研究员, 主要从事油菜遗传育种研究。 (Tel) 15639786687; (E-mail) peace0120@163.com

通讯作者: 张书芬, (Tel) 13838551969; (E-mail) shufenzhang2010@163.com

the cell wall thickness of parenchyma cell around vascular bundle sheath of the main vein microstructure in cold-resistant materials was thinner than that in cold-sensitive materials. Under $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ stress, the arrangement directions of each tissue of leaves anatomical structure in cold-sensitive materials were messier than that in cold-resistant materials. While the treating time was prolonged, compared with cold-sensitive materials, the number and size of intercellular space of leaves in cold-resistant materials increased significantly. In conclusion, the leaves were the key organ owning perception and signal transduction of low temperature stress. The identification and boundary clarity of each tissue of the leaf and main vein microstructure, and the cell wall thickness of parenchyma cell around vascular bundle sheath of the main vein microstructure can be used as reference-criteria to evaluate the cold resistance of rapeseed.

Key words: *Brassica napus* L.; cold resistance; microstructure; leaf; stem

甘蓝型油菜是中国主要油料作物,也是黄淮流域及长江流域唯一大宗冬季油料作物,其适宜的生长温度为 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 过高或过低均会对其生长发育造成不良影响^[1]。当冬季温度降至 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时油菜生长便会停滞, $-3\sim -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3 d 以上时油菜叶片便会表现出冻害症状^[2]。黄淮流域及长江流域冬季常有零度以下低温出现,对甘蓝型油菜的安全越冬有极大隐患。近年来,突如其来的极端低温及“倒春寒”引起的油菜低温冻害亦逐年增加,严重影响了冬油菜的安全生产与食用植物油的供给保障。因此,研究甘蓝型油菜的抗寒性对油菜的生产安全及国民食用植物油的供给均有重要意义。

抗寒性是植物在对低温环境长期适应的过程中形成的一种可遗传的变异。环境不仅影响植物的外部形态特征,同时也影响植物的内部组织结构。与其他器官相比,直接暴露在空气中的植物茎秆与叶片更容易受到环境变化的影响,形成适应于环境的结构特点,因此,在植物的抗寒性研究中,形态解剖结构特征常被作为重要的参考或鉴定指标^[3-4]。目前,形态解剖结构与抗寒性的相关性研究中已报道的植物有桃树^[4]、樟树^[5]、菠萝^[6]、核桃^[7]、椰子^[8]、密橘^[9]、茶树^[10]、油棕^[11]、广玉兰^[12]、番荔枝^[13]等木本植物及小麦^[14]、黄瓜^[15]、甘蓝^[16]、藏茴香^[17]、白菜型油菜^[18]等草本植物,而在甘蓝型油菜的抗寒性研究中,尚未见与形态解剖结构相关的报道。本研究以 2 份抗寒型与 2 份寒敏感型甘蓝型油菜品种(系)幼苗为材料,进行 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温胁迫,并通过石蜡切片法观察比较不同温度和低温胁迫不同时段下各材料间叶片与茎的显微结构异同,旨在探讨甘蓝型油菜显微解剖结构与其抗寒性的关系及甘蓝型油菜抗寒性的解剖学原理,为甘蓝型油菜抗寒种质的选育及鉴别提供理论依据与参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为 2 份抗寒型甘蓝型油菜品种(系)(B、E)与 2 份寒敏感型甘蓝型油菜品种(系)(C、D),均为半冬性类型,其来源及抗寒性特征见表 1。抗寒品种 B、E 耐受的最低极限温度可达 $-10\sim -15\text{ }^{\circ}\text{C}$,在河南省可以越冬,越冬返青率大于 90%;寒敏感品种(系)C、D 耐受的最低极限温度可达 $-2\sim -5\text{ }^{\circ}\text{C}$,在河南省可以部分越冬,越冬返青率 30%~50%。4 个品种(系)均由河南省农业科学院经济作物研究所油菜遗传育种课题组提供,其中品种 B 为抗寒油菜杂交种丰油 10 号的父本。

表 1 供试材料油菜试验代号、田间编号、来源及抗寒性特征

Table 1 Codes, numbers, origins and characteristics of cold resistance of the tested rapeseed materials

代号	编号	来源	抗寒性特征
B	P394-3	P287(杂 59×220),	抗寒
C	P218-2	R279(豫油 2 号×华油 2790)	寒敏感
D	P399-2	华双 3 号	寒敏感
E	P124-1	32C×20151	抗寒

1.2 油菜幼苗培养

以细沙、蛭石 1:2 混合物为培养基质。基质分装至盆钵后,在盛装盆钵的托盘中浇足 $0.5\times\text{Hoagland's}$ 营养液,使基质充分吸收营养液至饱和。同时,选择大小均匀饱满的各品种(系)种子用 75% 酒精消毒 10 min,蒸馏水冲洗数次,于培养皿中浸泡过夜。浸泡过夜的种子点播于基质上,保鲜膜覆盖,置于光照培养箱, $25\text{ }^{\circ}\text{C}/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、16 h 光/8 h 暗培养。种子萌发后,揭去保鲜膜。培养期间,适时补充营养液,保证幼苗正常生长。

1.3 低温处理和样品采集

幼苗生长至3叶1心时,进行 -2°C 低温处理,光照时间不变。分别在处理4 h、12 h、24 h时取叶片样品,各材料每个处理时段选择3个单株,于完全伸展的第2片真叶靠近主脉处横切,3次重复,即每份材料每个胁迫时段制作9张石蜡切片;在处理24 h、48 h时取幼茎样品,幼茎样品取子叶节处茎段,横切制片,重复次数同上。同时取常温生长样品作为对照。

1.4 显微观察

新鲜样品立即保存于FAA(38%甲醛5 ml,冰醋酸5 ml,50%酒精90 ml)固定液中,抽真空后常温保存。制作石蜡切片,并在Leica DMD 108光学显微镜10×物镜下观察拍照。

2 结果与分析

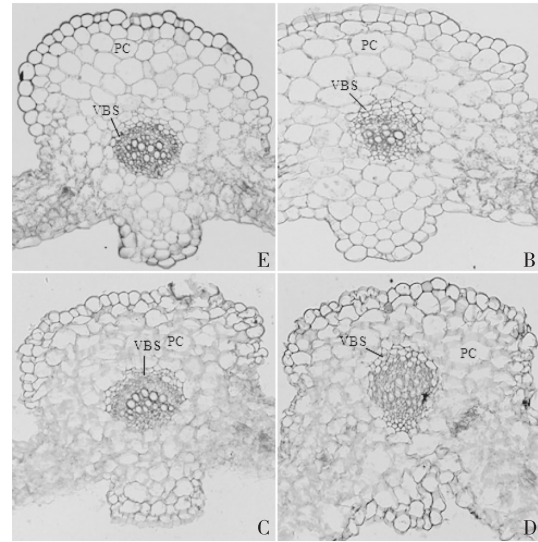
2.1 甘蓝型油菜叶片的显微结构组成

甘蓝型油菜叶片具有典型的双子叶植物叶片组织结构特征,属异面叶,由上下表皮和叶肉组成。叶片的上下表皮均由单层细胞构成,细胞大小不一,呈无规则长圆形。上、下表皮之间为叶肉,叶肉由栅栏组织和海绵组织构成。与上表皮相邻的为栅栏组织,由2层狭长形细胞构成,排列相对整齐且紧密,靠近上表皮的栅栏组织细胞较远离上表皮的栅栏组织细胞长度更长,排列更为整齐。与下表皮相邻的为海绵组织,细胞形状不规则,大小不一,排列相对疏松,约有4层细胞组成。

2.2 不同抗寒性甘蓝型油菜叶片解剖特征比较分析

2.2.1 常温下叶片主脉显微结构的比较分析 观察发现,寒敏感型材料常温下的主脉显微组织结构特征不仅与其胁迫不同时段间有明显差异,与抗寒型材料常温下的主脉显微组织结构亦存在明显差异(图1)。常温下,抗寒型材料B、E主脉显微结构中各组织细胞间的界限清晰明了,主脉突起部位的表皮细胞与紧邻的薄壁细胞以及维管束鞘外围的薄壁细胞的细胞壁厚度相当,差异不显著;寒敏感型材料C、D主脉显微结构中各组织细胞虽可以区分,但大多模糊不清,界限不甚分明,尤其是除主脉突起部位的表皮细胞与紧邻的1~2层薄壁细胞的细胞壁厚度相当外,余下的薄壁细胞组织细胞壁则较厚,胞壁间呈现出晕染状,且该区域内薄壁细胞彼此间界限

难以辨认,与常温下抗寒型材料同区域内的薄壁细胞存在显著差异。以上结果表明,常温下,叶片主脉显微结构中维管束鞘外围的薄壁细胞彼此间的界限可辨度及其细胞壁厚度可作为判别甘蓝型油菜抗寒性强弱的参考指标。

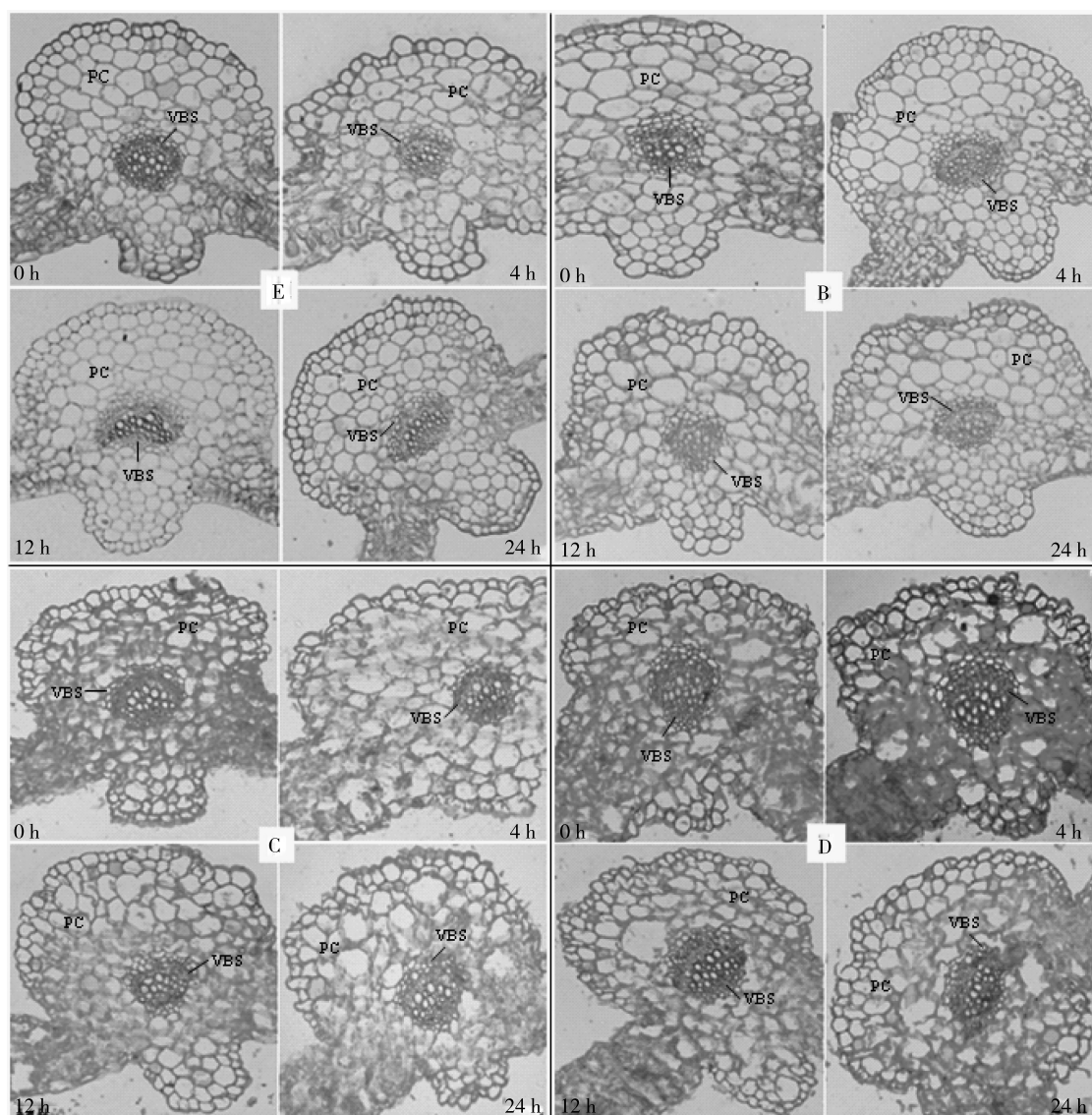


B、E:抗寒油菜品系;C、D:寒敏感油菜品种(系)。PC:薄壁细胞;VBS:维管束鞘。

图1 常温下不同抗寒性甘蓝型油菜叶片的主脉显微结构

Fig.1 Leaf main vein microstructure of different cold resistance *Brassica napus* at room temperature

2.2.2 低温胁迫下叶片主脉显微结构的动态变化与比较分析 低温胁迫下,不同抗寒性材料间主脉显微组织结构存在一定差异,相同材料间主脉显微组织结构相似(图2)。抗寒型材料B、E中,叶片主脉显微结构在常温对照与低温处理不同时段间均无显著差异,表皮细胞、薄壁细胞及维管束组织清晰可见,在低温处理不同时段均未观察到薄壁细胞组织的变形或破损现象。寒敏感型材料C、D中,叶片主脉显微结构在常温对照与低温处理不同时段间存在明显差异,与常温对照叶片主脉显微结构相比,低温胁迫不同时段的主脉维管束鞘周围的薄壁细胞出现变形、破损、瓦解等现象,且随着胁迫时间的延长,该区域薄壁细胞组织的受损程度有逐步加重之趋势。尤其在低温胁迫24 h时,2份寒敏感型材料主脉维管束鞘周围的薄壁细胞组织间出现了较大间隙,表明此区域薄壁细胞组织的细胞壁已被破坏降解,形成了空洞。



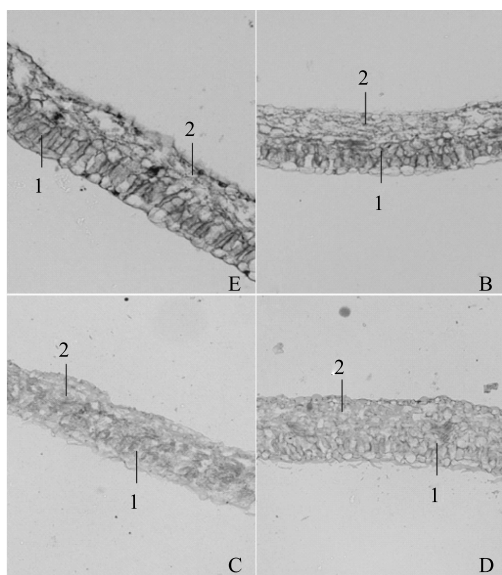
B, E: 抗寒油菜品种; C, D: 寒敏感油菜品种(系)。PC: 薄壁细胞; VBS: 维管束鞘。

图2 -2 °C胁迫下不同抗寒性甘蓝型油菜叶片主脉显微结构

Fig.2 Leaf main vein microstructure of different cold resistance *Brassica napus* under -2 °C stress

2.2.3 常温下叶片叶肉显微结构的比较分析 不同抗寒性油菜叶片的显微结构特征存在一定差异(图3)。抗寒型材料B、E的叶片显微组织结构中,海绵组织、栅栏组织及表皮细胞间界限分明,同类细胞及各类细胞间易于区分出单个细胞组织,清晰明了;而寒敏感型材料C、D的叶片显微组织结构中,不仅海绵组织、栅栏组织及表皮细胞间界限模糊,同类细胞及不同类细胞间均也难以辨认出单个细胞组织,与抗寒型材料的显微结构特征大相径庭。说明常温下油菜叶片显微结构中各类组织细胞间的辨识度可以作为评判其抗寒性强弱的观测指标。

2.2.4 低温胁迫下叶片叶肉显微结构的动态变化与比较分析 由图4可以看出,不同抗寒性油菜叶片的显微结构在常温对照与胁迫处理不同时段间均存在明显差异。常温对照中栅栏组织排列规则、紧密,细胞间隙小;海绵组织排列相对疏松,细胞间隙也较大。低温胁迫处理不同时间段的叶片显微组织结构无一例外地表现出栅栏组织、海绵组织部分瓦解,排列发生混乱,细胞间隙变大,质壁出现分离等现象,且随着胁迫时间的延长,栅栏组织、海绵组织的瓦解程度表现出逐步加重趋势,细胞间隙变大及质壁分离现象亦逐渐加剧。



B、E:抗寒油菜品系;C、D:寒敏感油菜品种(系)。1:栅栏组织;2:海绵组织。

图3 常温下不同抗寒性甘蓝型油菜叶片显微结构

Fig.3 Leaf microstructure of different cold resistance *Brassica napus* at room temperature

此外,相同胁迫时段内,不同抗寒性油菜叶片间显微结构也存在差异。随着胁迫时间的延长,抗寒型材料 B、E 的栅栏组织与海绵组织虽逐步瓦解,排列发生混乱,但依然能够明显地分辨出彼此,且细胞间隙有逐渐增多增大的趋势;寒敏感型材料 C、D 的栅栏组织与海绵组织亦表现出逐步瓦解状态,但排列呈无序混乱状,彼此间难以分辨。尤其在胁迫 12~24 h 时,寒敏感型材料的组织结构似乎被破坏成匀浆状,分布于上下表皮间,基本无法分辨出单一的组织结构。

2.3 不同抗寒性甘蓝型油菜茎段解剖结构的比较分析

为进一步探讨低温胁迫对油菜幼苗显微组织结构的影响,选用 1 份抗寒型材料 E 与 1 份寒敏感型材料 C 进行茎段组织的显微观察比较分析。结果(图 5)表明,在 0~48 h 内,−2 ℃ 胁迫不同时间对不同抗寒性材料幼茎显微组织结构的影响主要体现在薄壁细胞的形状变化上,即与常温下形状为圆形或近圆形的薄壁细胞相比,胁迫 24~48 h 时薄壁细胞开始皱缩变形,呈不规则多边形,导致茎秆萎缩,但处于茎段中央的维管束组织并未观察到明显变化,而且不同抗寒性材料间茎段显微组织结构亦无明显

差别。此结果提示,低温胁迫下叶片是油菜感知温度变化,传递胁迫信号,并通过改变自身内部结构以适应低温胁迫的主要器官。

3 讨论

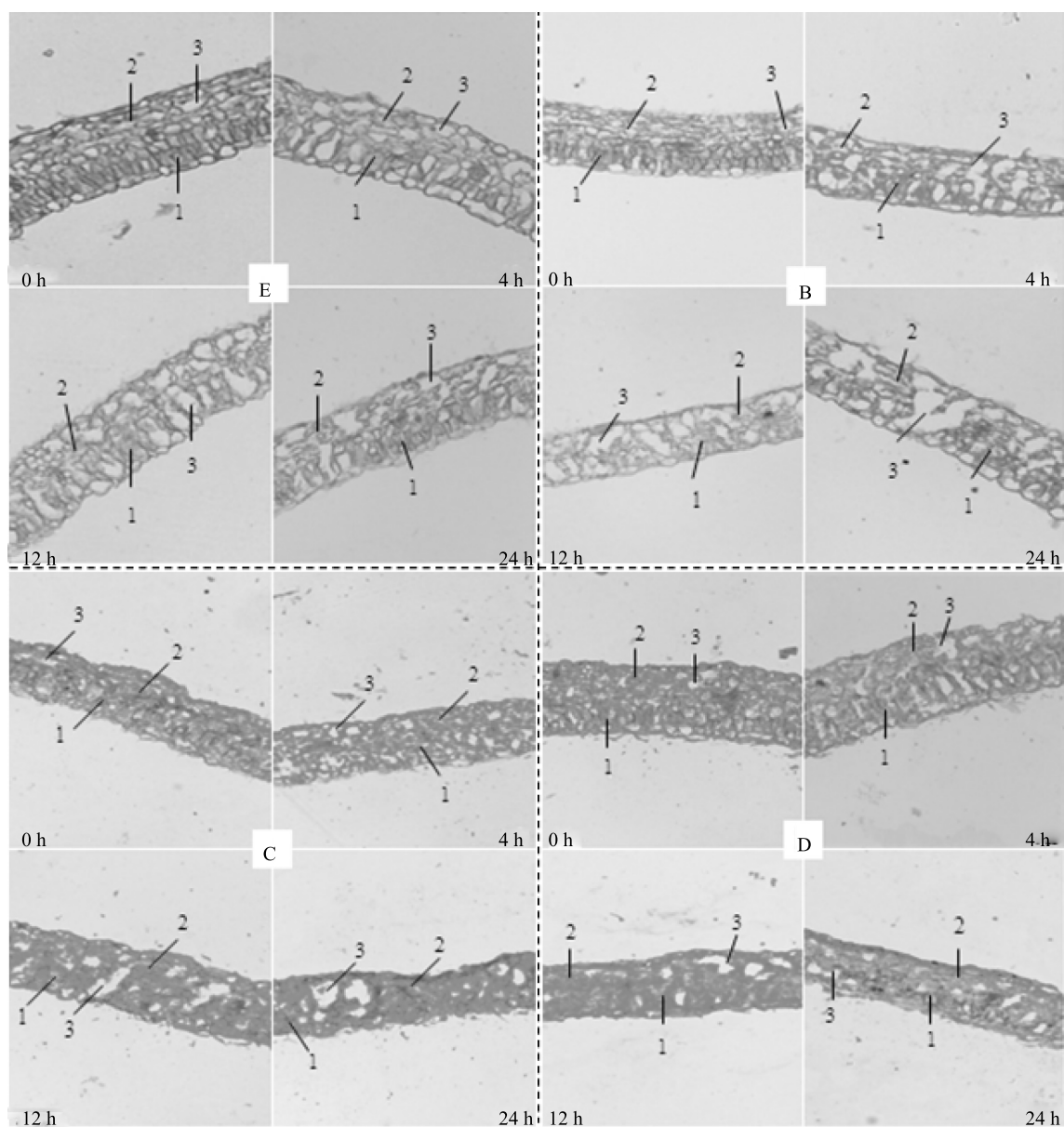
3.1 叶片组织结构与油菜抗寒性的关系

抗寒性是植物在对低温环境长期适应过程中形成的抵御寒冷的能力。叶片是植物进化过程中对环境变化较敏感且可塑性较大的器官,叶片组织结构特征可反映植物对环境变化的响应,对植物在逆境中表现出的抗逆性具有决定性作用^[19-21]。植物叶片组织结构与其抗寒性关系密切,但对不同植物的研究结果不尽相同。木本植物中,有研究者发现,抗寒的葡萄和月季品种的栅栏组织排列紧密且较厚,不抗寒的则海绵组织较厚但排列疏松^[22-23]。草本植物中,叶片横切结构的观察结果显示,栅海比、组织结构紧密度、组织疏松度可以作为评价甘蓝耐寒能力的指标^[16];叶片越厚、主脉维管束直径和大维管束直径越小的狗牙根品种(系)耐寒性越强^[24]。

本研究中,−2 ℃ 处理后,寒敏感型油菜叶片中各组织的排列较抗寒型油菜的更为杂乱无章,此现象与在小麦^[14]中观察到的结果一致。且随着胁迫时间的延长,抗寒型油菜叶片中细胞间隙较寒敏感型油菜有显著增多增大趋势。有研究结果表明,伴随低温出现的质壁分离、胞间隙增大可作为植物抗寒性的指示指标^[25-26]。因为较大的细胞间隙可为胞外结冰提供空间,从而防止胞内结冰,减轻低温胁迫的危害,增强植物耐寒能力^[27]。说明甘蓝型油菜叶片显微结构与其抗寒性密切相关。常温下叶片叶肉和主脉显微结构中各组织间的界限越容易辨认、主脉维管束鞘外围薄壁细胞的细胞壁越薄的油菜种质,抗寒性越强。

3.2 油菜抗寒性鉴定指标

本研究结果表明,常温下抗寒型油菜叶片叶肉及主脉显微结构各组织间的辨识度与界限清晰度均好于寒敏感型油菜,抗寒型油菜主脉显微结构中维管束鞘外围薄壁细胞的细胞壁厚度则小于寒敏感型油菜。基于−2 ℃ 胁迫不同时段不同温度敏感型材料叶片显微组织结构的差异与抗寒性的关系,我们认为常温下叶片叶肉和主脉显微结构中各组织间的辨识度、界限清晰度以及主脉维管束鞘外围薄壁细胞的细胞壁厚度可作为评判油菜抗寒性强弱的参考指标。



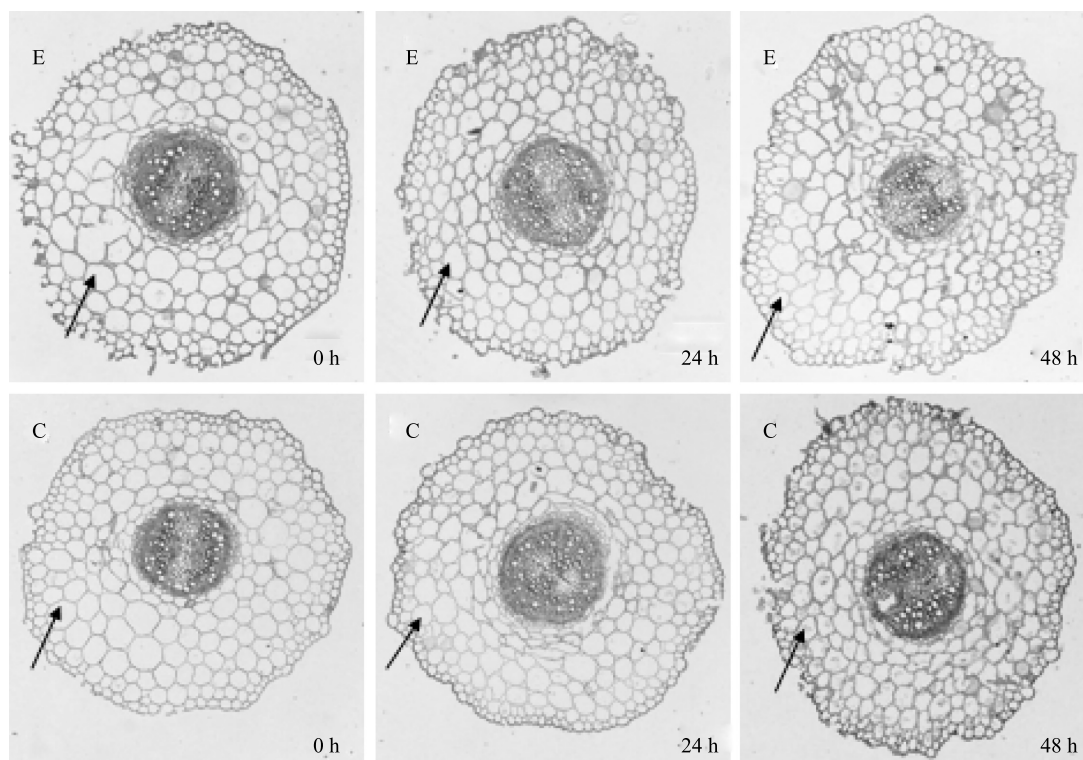
B、E:抗寒油菜品种;C、D:寒敏感油菜品种(系)。1:栅栏组织;2:海绵组织;3:细胞间隙。

图4 -2°C 胁迫下不同抗寒性甘蓝型油菜叶片叶肉的显微结构

Fig.4 Leaf microstructure of different cold resistance *Brassica napus* under -2°C stress

比较胁迫不同时间段的油菜叶片显微组织结构发现,即使同一材料在胁迫不同时间段的叶片组织结构特征也不相同,说明油菜处于低温逆境时,叶片组织结构发生了一系列变化以调动自身抗逆潜力,抵御外界逆境的侵袭。该现象不仅反映了油菜对低温逆境的适应能力,也说明不同油菜品种/系的叶片组织结构特征是其自身遗传本质的反映,可作为衡量其抗寒性强弱的相对客观的指标。然而,植物的抗逆性与多种因素相关,是植物形态构造、生理生态及生

理生化特征的综合反映^[4, 28-29]。但是形态结构指标可能会随生态条件和生理状态的变化而发生变化^[30],在同一物种中出现较大差异,往往不能准确显示植物的抗逆性。因此,在评价油菜种质的抗寒性时,仍需考虑多方面因素,以做出更为科学的判断。本研究中观察到的可用于油菜抗寒性评价的显微结构指标,仅为对幼苗叶片和茎段显微组织结构分析的结果,更准确的抗寒鉴定指标的确定仍有待于对各种综合因素的深入研究。



E:抗寒油菜品系;C:寒敏感油菜品种(系)。箭头所示为薄壁细胞。

图5 常温及 -2°C 胁迫不同时间下不同抗寒性甘蓝型油菜茎段的显微结构

Fig.5 Stem microstructure of different cold resistance *Brassica napus* at different temperature and different periods of low temperature

参考文献:

- [1] 张晓红,冯梁杰,杨特武,等. 冬季低温胁迫对油菜抗寒生理特性的影响[J]. 植物生理学报,2015,51(5):737-746.
- [2] 刘后利. 油菜的遗传育种[M]. 上海:上海科学技术出版社,1985.
- [3] 潘瑞炽,董恩得. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [4] 郭学民,刘建珍,翟江涛,等. 16个品种桃叶片解剖结构与树干抗寒性的关系[J]. 林业科学,2015,51(8):33-43.
- [5] 王宁,袁美丽,苏金乐. 几种樟树叶片结构比较分析及其抗寒性评价的研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):43-49.
- [6] 邹雪娟,李润唐,吴钊,等. 3个菠萝品种叶片组织结构及其与抗寒性的关系研究[J]. 广东农业科学,2012(5):38-40.
- [7] 田景花,王红霞,高仪,等. 核桃属4树种展叶期抗寒性鉴定[J]. 园艺学报,2012,39(12):2439-2446.
- [8] 曹红星,黄汉驹,雷新涛,等. 低温胁迫下椰子叶片解剖结构差异研究[J]. 热带作物学报,2014,35(12):2420-2425.
- [9] 雷翠云,刘冰浩,牛英,等. 不同品种(系)南丰蜜橘叶片解剖结构比较[J]. 南方农业学报,2016,47(11):1885-1890.
- [10] 黄海涛,余继忠,张伟,等. 抗寒茶树品种的筛选研究[J]. 中国农学通报,2012,28(25):219-223.
- [11] 曹红星,黄汉驹,雷新涛,等. 不同低温处理对油棕叶片结构的影响[J]. 热带作物学报,2014,35(3):454-459.
- [12] 刘艳萍,朱延林,康向阳,等. 不同类型广玉兰的抗寒性评价[J]. 林业科学,2013,49(6):178-183.
- [13] 刘世彪,陈菁,胡正海. 7种番荔枝果树的叶片结构及其抗寒性关系研究[J]. 果树学报,2004,21(3):241-246.
- [14] 于晶,周子珊,牟永潮,等. 低温下不同抗寒性冬小麦叶片组织结构比较[J]. 东北农业大学学报,2010,41(4):7-11.
- [15] 郑丽梅,司龙亭,韩贵超. 黄瓜叶结构与耐寒性关系研究[J]. 江苏农业科学,2009(1):169-171.
- [16] 靳哲. 甘蓝耐寒材料叶片结构、生理特征及其 *BoCBF* 基因标记的研究[D]. 北京:中国农业科学院,2012.
- [17] 沈宁东,韦梅琴,李宗仁,等. 高寒地区不同海拔藏茴香茎解剖结构比较研究[J]. 广西植物,2015,35(2):194-199.
- [18] 杨宁宁,孙万仓,刘自刚,等. 北方冬油菜抗寒性的形态与生理机制[J]. 中国农业科学,2014,47(3):452-461.
- [19] 白潇,李毅,苏世平,等. 不同居群唐古特白刺叶片解剖特征对生境的响应研究[J]. 西北植物学报,2013,33(10):1986-1993.
- [20] 吴涛,耿云芬,柴勇,等. 三叶爬山虎叶片解剖结构和光合生理特性对3种生境的响应[J]. 生态环境学报,2014,23(10):1586-1592.
- [21] 宋彬,王得详,张义,等. 13种园林树种解剖结构与其二氧

- 化硫吸收能力的关系[J]. 西北植物学报, 2015, 35(6): 1206-1214.
- [22] 尹立荣, 孙克娟, 宋润刚, 等. 葡萄叶片组织结构与抗寒性的关系[J]. 特产研究, 1990(3): 13-18.
- [23] 王启明, 张银慧, 陈宝晶. 蔷薇属植物抗寒性指标的研究[J]. 吉林林学院学报, 1993, 9(1): 51-58.
- [24] 李秋丽. 4 个狗牙根品种(系)的耐寒性评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [25] 张有福, 陈银萍, 张满效, 等. 两种圆柏属植物不同季节显微和超微结构变化与耐寒性的关系[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1393-1397.
- [26] 姚胜蕊, 曾 骧, 简令成. 桃花芽越冬过程中多糖积累和质壁分离动态与品种抗寒性的关系[J]. 果树学报, 1991, 18(1): 16-20.
- [27] 王 倩, 关雪莲, 胡增辉, 等. 3 种景天植物叶片结构特征与抗寒性的关系[J]. 应用于环境学报, 2013, 19(2): 280-285.
- [28] KRATSCH H A, WISE R R. The ultrastructure of chilling stress [J]. Plant, Cell & Environment, 2000, 23(4): 337-350.
- [29] 常英俏, 徐文远, 穆立嵩, 等. 干旱胁迫对 3 种观赏灌木叶片解剖结构的影响及抗旱性分析[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(3): 36-40.
- [30] 陈 燕, 刘锴栋, 黎海利. 5 种红树植物的叶片结构及其抗逆性比较[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(7): 27-31.

(责任编辑: 张震林)