

低温下4种秋菊叶片和根系膜脂脂肪酸组分比较

李永华, 史春会, 李永, 杨秋生*

河南农业大学林学院, 郑州450002

摘要: 本文应用气相色谱技术, 以早秋菊‘太平的小鼓’、‘金锋铃’和晚秋菊‘星光灿烂’、‘墨宝’4个菊花品种为试材, 研究低温处理下叶片和根系中的膜脂脂肪酸组分与含量的变化。结果表明: 4种秋菊叶片和根系中膜脂脂肪酸种类主要有棕榈酸(C_{16:0})、亚油酸(C_{18:2})和亚麻酸(C_{18:3}), 叶片中不饱和脂肪酸以亚麻酸(C_{18:3})为主, 根系中以亚油酸(C_{18:2})为主, 分别占总脂肪酸含量的49.81%和35.49%以上, 饱和脂肪酸以棕榈酸(C_{16:0})为主。低温有利于不饱和脂肪酸的形成和IUFA值的提高, 在零下低温时, 晚秋菊IUFA值受温度影响较为显著。叶片中不饱和脂肪酸含量随温度降低逐渐增加, 整个处理过程中叶片不饱和脂肪酸含量远高于根系的, 叶片和根系在膜脂低温响应上存在一定差异。

关键词: 菊花; 低温; 不饱和脂肪酸; 叶片; 根系

Comparison of Membrane Fatty Acids Components in Leaf and Root of Four Autumn Chrysanthemum Cultivars under Low Temperature

LI Yong-Hua, SHI Chun-Hui, LI Yong, YANG Qiu-Sheng*

College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

Abstract: Early-flowering cultivars ‘Taipingdexiaogu’, ‘Jinfengling’ and late-flowering cultivars ‘Mobao’, ‘Xingguanganlan’ were used as experimental materials in this paper, components and contents of fatty acid in leaf and root under different temperatures were determined by gas chromatography technology. The results showed that membrane fatty acid in leaves and roots of 4 autumn chrysanthemum cultivars were mainly composed of palmitic acid (C_{16:0}), linoleic acid (C_{18:2}) and linolenic acid (C_{18:3}), the main component of unsaturated fatty acid was linolenic acid (C_{18:3}) in leaves, and linoleic acid (C_{18:2}) in roots, the contents of which were more than 49.81% and 35.49% in total fatty acids, respectively. The palmitic acid (C_{16:0}) was main kind of saturated fatty acid. Low temperature contributed to the formation of unsaturated fatty acids and the increment of IUFA, the IUFA of late-flowering cultivars were more significantly affected by subzero low temperature. Unsaturated fatty acids contents in leaves ascended gradually with the decline of temperature, unsaturated fatty acid contents in leaves were higher evidently than those in roots in whole experiments, there were some differences in membrane lipids response to low temperature in leaf and root.

Key words: *Dendranthema × grandiflorum*; low temperature; unsaturated fatty acids; leaf; root

菊花是菊科菊属多年生宿根草本植物, 抗寒性是其重要的性状之一。秋菊在开花过程中经常遭受低温伤害, 因此耐寒品种的选育已成为菊花育种的热点。植物抗寒研究中发现, 脂肪酸在生物膜结构中具有重要作用, 膜脂不饱和脂肪酸的比例和含量与植物的耐寒性关系密切(Murata和Los 1997)。一般认为, 膜脂不饱和脂肪酸含量越高, 脂肪酸不饱和指数(index of unsaturated fatty acid, IUFA)越大, 植物的抗寒性就会越强, 膜脂不饱和脂肪酸含量、不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比值(unsaturated/saturated fatty acid ratio, USFA/SFA)与植物的抗寒性成正相关(Murata等1992)。

也有研究者认为低温下膜脂不饱和脂肪酸的增加只是植物适应低温的一种普通反应, 如De La Roche等(1973)发现小麦叶绿素类囊体膜脂肪酸的含量与抗寒性并无直接关系。有关菊花抗寒性的研究中, 郑路等(1994)比较了菊花抗寒性与营养特性的关系; Anderson和Gesick (2004)通过田间统计秋季菊花脚芽的数量确定了不同品种的抗寒性; 许瑛等(2008, 2009)则以脚芽为材料比较了8个菊

收稿 2012-12-10 修定 2013-03-28

资助 河南省重大科技专项(091100110200)。

* 通讯作者(E-mail: qsyang@henau.edu.cn; Tel: 0371-63555758)。

花品种的低温半致死温度及其抗寒性,并建立了可靠的菊花耐寒性评价体系,但是低温胁迫下秋菊膜脂脂肪酸的研究却未见报道。因此,本研究以4个秋菊品种为材料,在低温条件下分别对其叶片和根系中脂肪酸的种类和含量进行测定,探讨低温胁迫下秋菊叶片和根系抗性机制的差异,以期为菊花抗寒机理的深入研究及抗寒育种提供基础资料。

材料与amp;方法

1 材料

以秋菊 [*Dendranthema × grandiflorum* (Ramat) Kitam]早花品种‘太平的小鼓’和‘金锋铃’、晚花品种‘星光灿烂’和‘墨宝’为试验材料,由开封市园林菊花研究所提供。盆栽基质为草炭:蛭石:珍珠岩=1:1:1 (V/V/V)。将生长健壮的菊花幼苗置于人工气候室中培养,温度(25±2) °C,空气湿度(50±5) %,光照强度(36±0.36) μmol·m⁻²·s⁻¹,光照时间10 h·d⁻¹,常规管理。待株高达(17±2) cm、叶片数量达(11±1) 枚时,进行低温试验处理。

2 方法

试验设4种温度处理:16、5、-4和-8 °C (4种秋菊半致死温度在-8 °C左右,16 °C为适宜生长温度,为了客观了解低温处理的影响及拉开处理温度梯度,选择5和-4 °C)。将供试菊花植株冲洗干净,放入塑料瓶中,置于高精度低温恒温槽中(Scientz公司, Model: GDH-1006)进行不同温度处理,每种处理3株。匀速降温2 °C·h⁻¹,当达到所要求的温度后维持12 h。16和5 °C处理后直接取样,-4和-8 °C处理后置于4 °C环境中缓慢解冻6 h,然后取样。在每个处理温度下,取植株根系和生长健壮、无病虫害的功能叶片,蒸馏水反复冲洗后用定性滤纸吸干,用于脂肪酸组分及含量测定。3次重复。

样品于105 °C烘箱中杀青5 min,50 °C恒温烘干。准确称取样品(叶片0.2 g和根0.5 g)置于100 mL干燥具塞磨口锥形瓶中,加入新鲜配制的10% (V/V)硫酸甲醇溶液10 mL,置70 °C水浴锅中加热30 min,水面以稍高于瓶中样品液面为宜。离心,取上清液,移入分液漏斗中,加入20 mL蒸馏水轻轻摇匀,无水乙醚5 mL萃取。萃取液加适量无水

硫酸钠干燥,0.25 μm微孔滤膜过滤后待用。

用岛津GC2010气相色谱仪测定脂肪酸组成,DB-WAXFTLP毛细管柱(60.0 m×0.53 mm ID)。WBI温度300 °C,FID温度350 °C。载气:氮气,总流量14.4 mL·min⁻¹,尾吹流量10.0 mL·min⁻¹,氢气流量40.0 mL·min⁻¹,空气流量400.0 mL·min⁻¹。采用脉冲不分流进样,脉冲压109.0 kPa,进样量3 μL。柱温采用程序升温:140 °C维持2 min,以40 °C·min⁻¹升至200 °C,维持1 min,以5 °C·min⁻¹升至220 °C,维持20 min。以样品保留时间确定不同的脂肪酸组分,采用外标法进行定量计算。

公式如下:饱和脂肪酸(SFA)=C_{14:0}+C_{16:0}+C_{18:0}+C_{22:0};不饱和脂肪酸(USFA)=C_{18:1}+C_{18:2}+C_{18:3};脂肪酸不饱和指数(IUFA)=C_{18:1}+(C_{18:2})×2+(C_{18:3})×3。

结果与amp;讨论

1 低温下4种秋菊叶片中脂肪酸组分及其相关指标分析

1.1 脂肪酸组分分析

表1可知,菊花叶片中脂肪酸种类主要有肉豆蔻酸(C_{14:0})、棕榈酸(C_{16:0})、硬脂酸(C_{18:0})、山嵛酸(C_{22:0})、油酸(C_{18:1})、亚油酸(C_{18:2})和亚麻酸(C_{18:3}),含量较多的是棕榈酸、亚油酸和亚麻酸。饱和脂肪酸中以棕榈酸为主,随温度降低,棕榈酸含量总体呈下降趋势,16 °C时为11.86%~15.27%,-8 °C时为8.53%~10.22%;同一品种中,16和5 °C处理与-4和-8 °C处理之间差异显著,-4和-8 °C处理之间差异不显著。而不饱和脂肪酸中以亚麻酸含量最高,随温度降低,亚麻酸含量则表现出逐渐上升趋势,16 °C为49.81%~57.76%,-8 °C时为59.34%~66.09%;同一品种中,16和5 °C处理与-4和-8 °C处理之间差异显著。肉豆蔻酸和山嵛酸两种脂肪酸含量相对较小,分别占总脂肪酸的1.63%~2.51%和0.25%~0.73%。

1.2 不饱和脂肪酸相关指标分析

从表2中可以看出,随温度降低,不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比率(USFA/SFA)和脂肪酸不饱和指数(IUFA)变化趋势大致相同,除‘金锋铃’外,USFA/SFA呈上升趋势,IUFA值亦有不同程度的增加。5 °C的IUFA与16 °C相比,早秋菊‘金锋铃’、‘太平的小鼓’上升幅度达16.49%、15.46%,晚秋菊

表1 低温处理下菊花叶片中脂肪酸组分与含量

Table 1 Components and contents of fatty acid in leaves of chrysanthemum under low temperature

秋菊品种	温度/°C	脂肪酸含量/%						
		C _{14:0}	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{22:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
‘太平的小鼓’	16	1.63±0.14 ^b	12.30±0.29 ^a	4.74±0.37 ^{ab}	0.45±0.04 ^{ab}	6.73±0.32 ^a	21.16±0.19 ^a	52.96±0.42 ^b
	5	1.80±0.08 ^{ab}	11.62±0.07 ^a	5.11±0.36 ^a	0.54±0.04 ^a	4.02±0.29 ^b	21.62±0.20 ^a	55.27±0.38 ^b
	-4	1.98±0.06 ^a	10.50±0.81 ^b	4.30±0.13 ^b	0.34±0.14 ^c	2.82±0.41 ^c	17.64±1.86 ^b	62.43±2.73 ^a
	-8	1.88±0.11 ^b	10.22±0.69 ^b	3.57±0.20 ^c	0.38±0.02 ^c	3.29±0.13 ^c	17.17±0.13 ^b	63.49±0.94 ^a
‘金锋铃’	16	2.05±0.08 ^c	12.27±1.82 ^a	7.18±0.26 ^c	0.49±0.21 ^a	6.84±0.67 ^a	16.54±0.46 ^{ab}	54.63±1.04 ^b
	5	2.05±0.09 ^c	11.03±0.23 ^a	7.61±0.54 ^{bc}	0.73±0.06 ^a	5.12±0.15 ^b	16.85±0.16 ^a	56.60±0.43 ^b
	-4	2.39±0.15 ^{ab}	10.04±0.54 ^b	9.92±1.66 ^a	0.58±0.37 ^a	3.13±0.41 ^c	15.23±1.12 ^c	58.70±3.44 ^a
	-8	2.45±0.29 ^a	9.84±0.16 ^b	9.38±1.16 ^{ab}	0.45±0.14 ^a	3.07±0.03 ^c	15.48±0.06 ^{bc}	59.34±1.29 ^a
‘墨宝’	16	1.83±0.02 ^c	11.86±0.16 ^a	4.84±0.29 ^b	0.55±0.16 ^a	6.89±0.17 ^a	16.28±0.22 ^{ab}	57.76±0.34 ^c
	5	1.87±0.21 ^c	10.31±0.92 ^b	6.29±0.35 ^a	0.60±0.15 ^a	4.66±0.16 ^b	16.12±0.27 ^{ab}	60.16±0.62 ^{bc}
	-4	2.51±0.15 ^a	8.62±0.64 ^c	5.13±0.41 ^b	0.55±0.10 ^a	2.76±0.06 ^d	17.92±2.26 ^a	62.54±2.59 ^{ab}
	-8	2.23±0.08 ^b	8.53±1.14 ^c	5.16±0.31 ^b	0.47±0.02 ^a	3.50±0.28 ^c	15.48±0.11 ^b	64.63±1.00 ^a
‘星光灿烂’	16	2.20±0.78 ^a	15.27±1.71 ^a	3.06±0.71 ^b	0.30±0.26 ^{ab}	7.22±1.41 ^a	22.02±0.49 ^a	49.81±3.96 ^c
	5	2.08±0.14 ^a	11.35±1.18 ^b	5.63±0.67 ^a	0.57±0.12 ^a	4.52±0.11 ^b	22.33±0.30 ^a	53.51±1.33 ^c
	-4	2.04±0.41 ^a	9.66±0.84 ^c	3.75±0.77 ^b	0.25±0.05 ^b	3.40±0.51 ^{ab}	21.16±2.62 ^a	59.74±3.97 ^b
	-8	1.66±0.30 ^a	9.89±1.88 ^c	3.56±0.52 ^b	0.30±0.04 ^{ab}	2.29±0.42 ^b	16.21±0.33 ^b	66.09±3.44 ^a

数据为均值±标准误差; n=3。同列每个品种不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同此。

表2 低温处理下菊花叶片中不饱和脂肪酸相关指标分析

Table 2 Analysis of unsaturated fatty acids related indexes in leaves of chrysanthemum under low temperature

秋菊品种	温度/°C	USFA/SFA	IUFA	C _{18:3} /(C _{18:1} +C _{18:2})	C _{18:3} /(C _{18:1} +C _{18:2} +C _{18:3})	C _{18:2} /(C _{18:1} +C _{18:2} +C _{18:3})
‘太平的小鼓’	16	4.23±0.10 ^b	624.54±76.16 ^b	1.90±0.04 ^b	0.65±0.01 ^b	0.26±0 ^a
	5	4.24±0.08 ^b	738.75±25.53 ^a	2.16±0.02 ^b	0.68±0.01 ^b	0.27±0 ^a
	-4	4.85±0.28 ^a	512.63±75.93 ^c	3.08±0.44 ^a	0.75±0.03 ^a	0.22±0.03 ^b
	-8	5.25±0.37 ^a	593.19±19.21 ^{bc}	3.10±0.04 ^a	0.76±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b
‘金锋铃’	16	3.57±0.37 ^a	620.89±60.40 ^a	2.34±0.09 ^b	0.70±0.01 ^b	0.21±0 ^a
	5	3.67±0.10 ^a	743.45±57.56 ^a	2.58±0.02 ^b	0.72±0 ^b	0.21±0.01 ^a
	-4	3.39±0.42 ^a	304.08±33.37 ^b	3.22±0.43 ^a	0.76±0.02 ^a	0.20±0.02 ^a
	-8	3.53±0.28 ^a	425.45±106.22 ^b	3.20±0.06 ^a	0.76±0 ^a	0.20±0 ^a
‘墨宝’	16	4.24±0.09 ^b	831.38±36.77 ^a	2.49±0.02 ^c	0.71±0.01 ^c	0.20±0 ^a
	5	4.25±0.22 ^b	887.18±62.80 ^a	2.90±0.02 ^{bc}	0.74±0 ^b	0.20±0 ^a
	-4	4.96±0.11 ^a	271.26±5.58 ^c	3.05±0.44 ^{ab}	0.75±0.03 ^{ab}	0.22±0.03 ^a
	-8	5.13±0.47 ^a	410.60±43.04 ^b	3.40±0.05 ^a	0.77±0.01 ^a	0.19±0.01 ^a
‘星光灿烂’	16	3.90±0.88 ^b	702.86±27.69 ^b	1.72±0.22 ^c	0.63±0.03 ^c	0.28±0.01 ^a
	5	4.11±0.36 ^{ab}	787.56±96.50 ^{ab}	1.99±0.07 ^{bc}	0.67±0.01 ^{bc}	0.28±0.01 ^a
	-4	5.38±0.42 ^{ab}	474.53±60.52 ^c	2.47±0.46 ^b	0.71±0.04 ^b	0.25±0.04 ^a
	-8	5.63±1.18 ^a	865.73±56.83 ^a	3.58±0.33 ^a	0.78±0.02 ^a	0.19±0.01 ^b

‘墨宝’、‘星光灿烂’上升幅度为6.29%、10.75%; -8 °C的IUFA与-4 °C相比, 早秋菊‘金锋铃’、‘太平的小鼓’上升幅度达28.53%、13.58%, 晚秋菊‘墨宝’、‘星光灿烂’上升幅度达33.94%、45.19%, 晚秋菊2品种的IUFA相差将近1倍。在零上低温处理中, 早秋菊IUFA受温度影响较大, 而在零下低温处

理时, 晚秋菊IUFA受温度影响显著。亚麻酸/(亚油酸+油酸)的比值和亚麻酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)的比值随温度降低均呈增加趋势, 并且亚麻酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)的比值明显高于亚油酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)的比值, 叶片低温抗性中亚麻酸的作用大于亚油酸。同一品种中, 除‘金锋铃’外,

16和5 °C处理的USFA/SFA、IUFA和亚麻酸/(亚油酸+油酸)与-4和-8 °C处理之间差异显著。

不同植物体内不饱和脂肪酸组分各异,在逆境胁迫下其含量及IUFA也存在较大差异(Badea和Basu 2009)。在油菜籽(Tasseva等2004)、马铃薯(De Palma等2008)的研究中发现,低温可改变质膜脂肪酸的组成,诱导不饱和脂肪酸比例提高,增加不饱和脂肪酸含量(如亚油酸和亚麻酸)。植物受到低温胁迫时,主要是通过提高不饱和脂肪酸含量和比例来提高抗寒性。夏明等(2002)通过对低温下苜蓿叶片膜脂脂肪酸组分研究,确定了棕榈烯酸和亚麻酸为苜蓿的抗寒指示性脂肪酸。尹田夫等(1989)通过对大豆叶片线粒体膜进行研究,确定了棕榈酸和亚麻酸为抗寒指示性脂肪酸。秋菊叶片中亚麻酸与(亚油酸+油酸)的比值差异显著,可作为鉴别品种间耐寒性差异的有效指标。

2 低温下4种秋菊根系中脂肪酸组分及其相关指标分析

2.1 脂肪酸组分分析

由表3可知,菊花根系中的脂肪酸组分包括肉豆蔻酸(C_{14:0})、棕榈酸(C_{16:0})、硬脂酸(C_{18:0})、山嵛酸(C_{22:0})、油酸(C_{18:1})、亚油酸(C_{18:2})和亚麻酸(C_{18:3})。不同品种菊花叶片和根系的脂肪酸组分虽然相同,但其含量存在差异。饱和脂肪酸中以棕

榈酸为主,其在总脂肪酸中的含量要高于叶片;除‘太平的小鼓’外,其它品种中,16、5 °C处理棕榈酸含量与-4、-8 °C处理之间差异显著。不饱和脂肪酸以亚油酸含量最高,在总脂肪酸中的含量为35.49%~46.97%,这与叶片中不饱和脂肪酸以亚麻酸为主不同;同一品种中,16、5 °C处理的亚油酸与-4、-8 °C处理之间差异显著。亚麻酸含量随温度降低表现出先升后降的趋势,这与叶片中的变化趋势不同。肉豆蔻酸、硬脂酸和山嵛酸三种脂肪酸含量相对较小,分别占总脂肪酸的1.17%~3.36%、1.43%~4.60%和1.04%~2.75%。

2.2 不饱和脂肪酸相关指标分析

从表4可以看出,除‘星光灿烂’外,各品种USFA/SFA和IUFA随温度降低均有不同程度的增加,但USFA/SFA和IUFA的变化趋势均与叶片中的响应模式表现出一定的差异。-8 °C处理的IUFA与-4 °C相比,早秋菊‘金锋铃’、‘太平的小鼓’上升幅度达5.68%和3.31%,晚秋菊‘墨宝’、‘星光灿烂’上升幅度达5.99%和14.65%。晚秋菊IUFA上升幅度较大,低温处理促使根系不饱和脂肪酸含量增加,这与叶片中的结果基本一致。

根系中亚油酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)的比值高于亚麻酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)和亚麻酸/(油酸+亚油酸)的比值,根系的抗寒性中亚油酸的作用

表3 低温处理下菊花根系脂肪酸组分与含量

Table 3 Components and contents of fatty acid in roots of chrysanthemum under low temperature

秋菊品种	温度/°C	脂肪酸含量/%						
		C _{14:0}	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{22:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
‘太平的小鼓’	16	1.72±0.02 ^a	22.45±0.09 ^a	2.75±0.17 ^b	1.85±0.17 ^b	17.73±0.94 ^a	39.49±0.75 ^b	14.01±0.62 ^a
	5	1.37±0.15 ^a	17.39±1.27 ^b	3.89±0.68 ^a	2.75±0.47 ^a	14.94±0.87 ^b	42.00±3.50 ^b	17.66±5.37 ^a
	-4	1.38±0.09 ^a	23.61±0.20 ^a	1.89±0.13 ^c	1.20±0.37 ^b	14.86±0.07 ^b	43.49±0.80 ^a	13.57±1.09 ^a
	-8	1.87±1.43 ^a	23.20±0.80 ^a	1.43±0.12 ^c	1.31±0.25 ^b	16.44±0.71 ^a	42.35±0.80 ^a	13.39±0.64 ^a
‘金锋铃’	16	1.62±0.05 ^a	22.53±0.08 ^b	3.24±0.21 ^b	2.24±0.07 ^a	14.85±0.57 ^a	44.34±0.80 ^b	11.19±0.60 ^c
	5	1.47±0.05 ^b	21.83±0.12 ^b	3.98±0.40 ^a	2.09±0.18	13.31±0.15 ^b	43.36±3.54 ^b	11.82±0.38 ^{bc}
	-4	1.42±0.01 ^b	25.05±0.37 ^a	2.06±0.01 ^c	1.72±0.04 ^a	11.39±0.42 ^c	45.51±0.17 ^a	12.85±0.58 ^{ab}
	-8	1.32±0.02 ^c	24.05±1.24 ^a	1.51±0.18 ^d	2.51±1.15	13.52±0.91 ^b	45.50±0.07 ^a	13.72±1.10 ^a
‘墨宝’	16	3.36±1.71 ^a	20.49±0.23 ^c	4.17±0.16 ^b	2.09±0.15 ^a	13.45±0.34 ^b	41.50±0.66 ^{ab}	14.94±0.35 ^b
	5	2.24±0.05 ^{ab}	20.82±0.13 ^c	4.60±0.16 ^a	2.08±0.04 ^a	13.29±0.46 ^b	41.03±0.64 ^b	15.92±0.07 ^a
	-4	1.66±0.03 ^b	22.91±0.06 ^b	2.57±0.20 ^c	1.59±0.09 ^b	14.14±0.16 ^a	42.59±0.50 ^a	14.54±0.26 ^b
	-8	1.50±0.03 ^b	24.84±0.20 ^a	1.73±0.06 ^d	1.71±0.19 ^b	14.56±0.13 ^a	42.39±0.55 ^a	14.27±0.77 ^b
‘星光灿烂’	16	2.29±0.04 ^a	22.24±0.04 ^b	3.71±0.23 ^a	2.05±0.28 ^{ab}	17.11±2.35 ^a	35.49±1.00 ^b	13.88±1.72 ^{ab}
	5	1.30±0.32 ^b	20.78±2.33 ^b	3.40±0.07 ^{ab}	2.46±0.89 ^a	13.68±2.67 ^{ab}	40.13±5.96 ^b	18.26±5.88 ^a
	-4	1.45±0.05 ^b	25.48±0.29 ^a	2.54±0.94 ^{bc}	1.04±0.49 ^b	11.95±0.72 ^b	46.97±0.88 ^a	13.82±1.87 ^{ab}
	-8	1.17±0.08 ^b	25.94±0.10 ^a	1.81±0.20 ^c	1.67±0.32 ^{ab}	11.66±0.48 ^b	46.49±0.49 ^a	11.25±0.74 ^b

表4 低温处理下菊花根系中不饱和脂肪酸相关指标分析

秋菊品种	温度/°C	USFA/SFA	IUFA	$C_{18:3}/(C_{18:1}+C_{18:2})$	$C_{18:3}/(C_{18:1}+C_{18:2}+C_{18:3})$	$C_{18:2}/(C_{18:1}+C_{18:2}+C_{18:3})$
‘太平的小鼓’	16	2.48±0.03 ^b	93.36±7.64 ^a	0.25±0.02 ^a	0.20±0.01 ^a	0.56±0.01 ^a
	5	2.94±0.18 ^a	94.30±26.61 ^a	0.32±0.13 ^a	0.23±0.07 ^a	0.56±0.06 ^a
	-4	2.56±0.07 ^b	125.14±23.69 ^a	0.23±0.02 ^a	0.19±0.02 ^a	0.60±0.15 ^a
	-8	2.60±0.15 ^b	129.42±14.87 ^a	0.23±0.02 ^a	0.18±0.01 ^a	0.59±0.01 ^a
‘金峰铃’	16	2.38±0.03 ^{ab}	88.08±10.95 ^c	0.19±0.01 ^c	0.16±0.01 ^c	0.63±0.01 ^a
	5	2.40±0.02 ^b	95.90±10.57 ^{bc}	0.20±0.01 ^{bc}	0.17±0.01 ^{bc}	0.64±0.01 ^a
	-4	2.31±0.04 ^c	109.69±6.12 ^{ab}	0.23±0.01 ^{ab}	0.18±0.01 ^{ab}	0.65±0 ^a
	-8	2.41±0.22 ^{ab}	116.30±3.77 ^a	0.24±0.03 ^a	0.19±0.02 ^a	0.61±0.04 ^a
‘墨宝’	16	2.33±0.14 ^b	93.30±8.90 ^a	0.27±0 ^b	0.21±0.01 ^b	0.59±0.01 ^a
	5	2.36±0.04 ^{ab}	98.41±4.96 ^a	0.29±0 ^a	0.23±0 ^a	0.58±0.01 ^a
	-4	2.48±0.03 ^a	95.35±11.50 ^a	0.26±0.01 ^b	0.20±0.01 ^b	0.60±0.01 ^a
	-8	2.36±0.03 ^{ab}	101.43±5.93 ^a	0.26±0.02 ^b	0.20±0.01 ^b	0.59±0.01 ^a
‘星光灿烂’	16	1.98±0.04 ^c	86.24±15.01 ^b	0.26±0.04 ^a	0.21±0.03 ^a	0.54±0.01 ^b
	5	2.61±0.37 ^a	89.75±13.36 ^b	0.36±0.19 ^a	0.26±0.09 ^a	0.55±0.06 ^b
	-4	2.67±0.11 ^a	103.75±4.32 ^{ab}	0.23±0.04 ^a	0.19±0.02 ^a	0.65±0.02 ^a
	-8	2.27±0.02 ^b	121.56±10.86 ^a	0.19±0.02 ^a	0.16±0.01 ^a	0.67±0.01 ^a

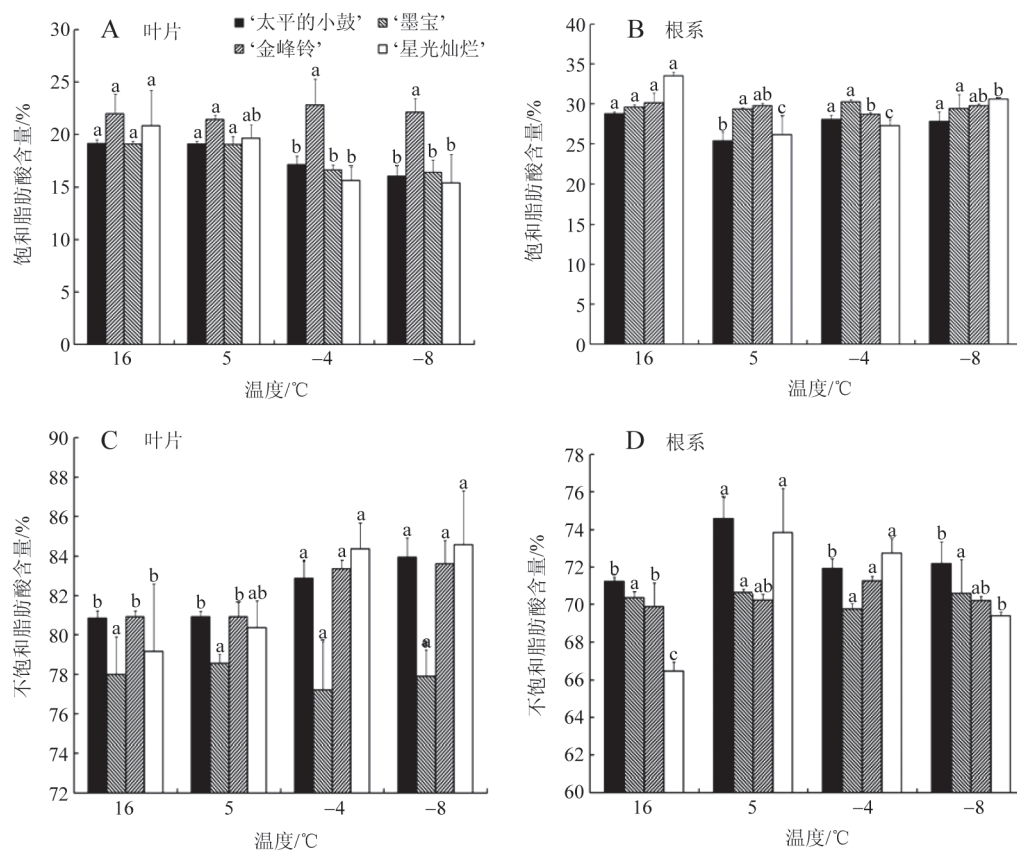


图1 低温处理下秋菊叶片、根系的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量的变化

Fig.1 Changes in contents of saturated fatty acid and unsaturated fatty acid in leaves and roots of autumn chrysanthemum under low temperature

数据为均值±标准误差; $n=3$ 。每个品种不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

高于亚麻酸。根系中亚麻酸/(油酸+亚油酸)和亚麻酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)的比值与叶片相比存在明显差异。叶片和根系中脂肪酸含量表现出不同的低温响应机制,这种差异可能与植物种类以及植物的不同器官有关(张玮等2012)。菊花为多年生草本花卉,以地下根系宿存越冬,Anderson和Gesick (2004)研究表明,菊花宿存越冬的根系萌发的脚芽越多,该品种的耐低温能力越强;植物根系质膜脂类物质的不饱和程度与耐寒性关系密切(Lee等2005)。可以推测,菊花根系中亚油酸/(油酸+亚油酸+亚麻酸)的比值可以作为菊花耐寒性检测的有效指标,这需要对抗寒性不同的菊花品种进一步探讨。

3 叶片和根系中饱和脂肪酸含量与不饱和脂肪酸含量的变化

随处理温度降低,除‘金锋铃’外,叶片中饱和脂肪酸含量呈下降趋势,不饱和脂肪酸含量呈上升趋势,同一品种中,16和5 °C处理与-4和-8 °C处理之间差异显著(图1)。根系中饱和脂肪酸含量变化不明显,不饱和脂肪酸含量在5 °C处理时上升,随后下降且保持相对稳定。4种秋菊叶片中饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸含量分别占总脂肪酸的15.41%~22.79%、77.21%~84.59%,根系中为25.40%~33.20%、66.48%~74.60%,饱和脂肪酸含量叶片低于根系,不饱和脂肪酸含量叶片高于根系。随着温度的降低,秋菊叶片和根系中不饱和脂肪酸的含量呈增加趋势,膜脂脂肪酸组分随温度降低进行适应性调整,脂肪酸去饱和化,不饱和脂肪酸含量增加,改善了低温环境下质膜的流动性,这与常春藤、葡萄等作物上的研究结果相一致(沈漫2003; 邓令毅和王洪春1982)。

16和5 °C处理时,‘太平的小鼓’、‘星光灿烂’不饱和脂肪酸含量明显高于其它两个品种。-4和-8 °C处理时,早花品种‘金锋铃’叶片饱和脂肪酸含量明显高于其它三个品种,不饱和脂肪酸含量则相反。关于秋菊脂肪酸不饱和度及抗寒性与花期关系的报道很少,许瑛等(2008)认为菊花植株抗

寒性与花期相关性不显著,这种情况还有待深入研究。

参考文献

- 邓令毅,王洪春(1982). 葡萄的膜脂和脂肪酸组分与抗寒性关系的研究. 植物生理学报, 8 (3): 273~283
- 沈漫(2003). 不同温度条件下常春藤叶片磷脂变化的比较分析. 园艺学报, 30 (4): 431~435
- 夏明,刘亚学,阿拉木斯,李志勇(2002). 低温下苜蓿叶片膜脂脂肪酸组分的研究. 中国草地, 24 (6): 28~37
- 许瑛,陈发棣(2008). 菊花8个品种的低温半致死温度及其抗寒适应性. 园艺学报, 35 (4): 559~564
- 许瑛,陈煜,陈发棣,陈素梅(2009). 菊花耐寒特性分析及其评价指标的确定. 中国农业科学, 42 (3): 974~981
- 尹田夫,宋英淑,刘丽君,王以芝,鲍凤,许文瑞(1989). 干旱对大豆线粒体膜脂的磷脂和脂肪酸组分的影响. 植物生理学通讯, (4): 16~18
- 张玮,黄树燕,吴继林,谢锦忠(2012). 低温胁迫对麻竹叶片和根系抗性生理指标的影响. 生态学杂志, 31 (3): 513~519
- 郑路,傅玉兰,陈树桃,朱冠来(1994). 菊花抗寒性与营养特性的研究. 园艺学报, 21 (2): 185~188
- Anderson N, Gesick E (2004). Phenotypic markers for selection of winter hardy garden chrysanthemum (*Dendranthema* × *grandiflora* Tzvelv.) genotypes. *Sci Hortic*, 101: 153~167
- Badea C, Basu SK (2009). The effect of low temperature on metabolism of membrane lipids in plants and associated gene expression. *Plant Omics J*, 2 (2): 78~84
- De La Roche I, Andrews CJ, Kates M (1973). Changes in phospholipid composition of a winter wheat cultivar during germination at 2 °C and 24 °C. *Plant Physiol*, 51 (3): 468~473
- De Palma M, Grillo S, Massarelli I, Costa A, Balogh G, Vigh L, Leone A (2008). Regulation of desaturase gene expression, changes in membrane lipid composition and freezing tolerance in potato plants. *Mol Breed*, 21: 15~26
- Lee SH, Ahn SJ, Im YJ, Cho K, Chung G, Cho B, Han O (2005). Differential impact of low temperature on fatty acid unsaturation and lipoxygenase activity in figleaf gourd and cucumber roots. *Biochem Biophys Res Commu*, 330: 1194~1198
- Murata N, Ishizaki-Nishizawa O, Higashi S, Hayashi H, Tasaka Y, Nishida I (1992). Genetically engineered alteration in the chilling sensitivity of plants. *Nature*, 356: 710~713
- Murata N, Los DA (1997). Membrane fluidity and temperature perception. *Plant Physiol*, 115: 875~879
- Tasseva G, Davy de Virville J, Cantrel C, Moreau F, Zachowski A (2004). Changes in the endoplasmic reticulum lipid properties in response to low temperature in *Brassica napus*. *Plant Physiol Biochem*, 42: 811~822