

乌塌菜主要形态特征与品种低温耐受性的关系

邵璐 汪承刚* 宋江华 张慧 王帅帅 杨静

(安徽农业大学 园艺学院,合肥 230036)

摘要 从形态和生理等水平对乌塌菜耐寒特性进行研究,探究各耐寒指标之间的关系,为乌塌菜大规模品种耐寒性评价及耐寒新品种选育和推广奠定基础。以6份乌塌菜品种为试验材料,对部分幼苗在低温(0℃)胁迫5d,测定叶片的电导率、叶绿素含量、丙二醛含量和可溶性糖含量,其余幼苗在大田栽培,待成熟时测定其12个形态特征,以各单项指标的耐寒系数作为衡量耐寒性的依据,运用主成分分析和隶属函数分析方法对其耐寒性进行综合评价。结果表明:低温条件下,不同乌塌菜品种叶绿素含量的变化与不同品种低温耐受性的相关性不显著,各品种可溶性糖含量都有所增加;通过主成分分析将19个单项指标转换为4个相互独立的综合指标,叶色、叶片面积、株型和紧实程度是反映乌塌菜主要的形态性状,电导率和丙二醛含量是反映乌塌菜耐寒性鉴定的主要指标。通过隶属函数值法分析将6份乌塌菜品种按耐寒性强弱划分为2类。叶色深、叶片面积小、株型小和紧实的品种耐寒性强;叶色浅、叶片面积大、株型大和松散的品种耐寒性弱。

关键词 乌塌菜;耐寒性;生理特性;形态特征

中图分类号 S 634.4

文章编号 1007-4333(2014)04-0095-08

文献标志码 A

Relationship of major morphological characteristics with low temperature tolerance in savoy

SHAO Lu, WANG Cheng-gang*, SONG Jiang-hua, ZHANG Hui, WANG Shuai-shuai, YANG Jing

(Horticulture College, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract To evaluate the cold tolerance of savoy (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *rosularis* Tsen), physiological and morphological characteristics in savoy were studied under low temperature; the relationship between different indexes of cold tolerance were revealed, which would provide a theoretical basis for discovery and promotion of cold tolerant germplasm, evaluation on cold tolerance of a large number of savoy varieties and breeding of new cold-tolerant varieties. The cold resistance of 6 savoy varieties were test materials, the cold comprehensive evaluation of chilling tolerant coefficient (CTC) about relative electric conductivity, chlorophyll content, relative MDA content and relative soluble sugar content in leaves of savoy seedlings under low temperature stress (0℃, 5 d) and the rest of the seedlings grown in field, waiting for mature determines their 12 morphological characteristics, were evaluated by principal components analysis and subordinate function analysis. During low temperature treatment, no significant correlation was found between pigments content with chilling tolerance of savoy various cultivars and soluble sugar content of each type were increased; the 19 single indexes could be classified into 4 independent comprehensive components. Leaf color, Leaf color, leaf area, plant type, degree of compaction were reflecting the main morphological characters of savoy; relative electric conductivity and relative MOD content reflected savoy cold tolerance identification of the main indicators. The subordinate function analysis was used to divide 6 savoy cultivars into three chilling-tolerance types. Leaf color depth, small size, small plant type, tight varieties of cold resistance was strong. Leaf color, leaf area, plant type, the variety of loose cold resistance was weak.

Key words savoy; cold resistance; physiological property; morphological characteristics

收稿日期: 2014-01-03

基金项目: 安徽省高校自然科学基金项目(KJ2012A109)

第一作者: 邵璐, 硕士研究生, E-mail: 895677178@qq.com

通讯作者: 汪承刚, 研究员, 主要从事蔬菜遗传育种与分子生物学研究, E-mail: ahszywgcg@ahau.edu.cn

乌塌菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *rosularis* Tsen)是十字花科不结球白菜的一个变种,是叶片为产品器官的二年生草本植物^[1]。其类型和品种十分丰富,在我国栽培历史悠久,是冬季蔬菜佳品。乌塌菜一般在晚秋或冬季进行栽培,尽管乌塌菜喜凉爽气候,但在温度较低的情况下,其生长也受到低温胁迫,从而抑制其正常的生长^[2]。随着栽培面积的逐年扩大,向北方寒冷地区保护地引种栽培,选育耐寒性品种是乌塌菜育种热点之一。研究乌塌菜主要形态特征与品种低温耐受性的关系,提高乌塌菜耐寒性鉴定和筛选的效率,具有直观和简便快捷等优点,为育种和栽培提供参考。关于乌塌菜主要形态特征与耐性研究,形态性状数据是种以上或种内分类的不可缺少的重要依据之一^[3],胡春梅等^[4]研究发现乌塌菜由于光合产物在向糖积累方向的转化维持较好的平衡,提高叶片的修复功能,有助于增强其耐冷性。在低温胁迫下,植物的生理功能会发生显著变化,渗透调节物质像可溶性糖,可溶性蛋白以及游离脯氨酸还有保护酶活性等都会发生变化^[5]。关于甘蓝和白菜等芸薹属植物耐寒性研究,前人^[6-7]作了大量工作,而对乌塌菜耐寒性研究较少,尤其对乌塌菜的主要形态特性与品种低温耐受性关系的研究还未见报道。本试验对6份乌塌菜品种的主要形态特征与耐寒性的关系进行综合分析,采用主成分分析和隶属函数分析,以期对乌塌菜的耐寒性评价、选育和鉴定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验选用的材料为‘塌地乌6号’、‘徽乌1号’、‘徽乌2号’、‘塌地乌2号’、‘塌地乌1号’和‘塌地乌3号’。6份材料的叶片颜色、叶片面积、株型大小、紧实程度和单株重量等主要形态特征有明显差异。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

本研究于2012年9月28日在安徽农业大学农萃园试验地进行,取上述供试材料的饱满种子,每份200粒播于试验地,待试验苗培育至5~6片真叶时,将部分苗移栽到温室营养钵(10 cm×10 cm)中,温度设20℃,缓苗一个星期,选长势一致的幼苗,一组20℃为对照,另组放入低温冰箱0℃低温处理5 d,处理温度误差为±0.5℃,在处理过程中

第1、3和5天取样测定。每品种各处理分别取20株,采用混合取样法取各品种功能叶混匀,进行各生理生化指标测定,均重复3次。其余的苗于10月26日定植,株行距为25 cm×25 cm,采用随机区组设计,3次重复,每小区种植30株,小区面积4.5 m²,常规栽培管理。

1.2.2 测定项目及方法

低温处理前与处理第1、3和5天,分别取样测定植物叶片丙二醛含量和可溶性糖含量。低温处理前及处理1 d取样测定叶片叶绿素含量及电导率。丙二醛含量(硫代巴比妥酸比色法)^[8];可溶性糖含量(蒽酮比色法)^[9];叶绿素含量(分光光度计法)^[8];细胞膜透性(电导率法)^[8]。各小区乌塌菜产品器官成熟,随机抽取10株,以品种为单位,记录外叶色、内叶色、紧实程度、叶柄色4项质量性状,测量叶片长、叶片宽、叶柄长、叶柄宽、叶片数、株高、展幅和单株产量8项数量性状。试验地的土壤农化性状的测定:土壤容重测定采取环刀法;全氮测定采用全自动凯氏定氮法;全磷采用硫酸—高氯酸消煮、钼锑抗比色法测定;土壤pH采用便携式pH计测定;土壤含水量的测定烘干法^[10]。

1.2.3 数据处理

数据处理利用Excel软件进行,应用SPSS软件进行主成分分析。耐寒系数(CTC)为处理测定值与对照测定值的比值。质量性状均进行赋值标准化处理便于统计分析(表1)^[11]。综合指标隶属函数: $U(C_j) = (C_j - C_{\min}) / (C_{\max} - C_{\min})$ $j=1, 2, \dots, n$ 式中, C_j 表示第j个综合指标; C_{\min} 表示第j个综合指标的最小值; C_{\max} 表示第j个综合指标的最大值^[12]。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫对乌塌菜幼苗叶绿素含量的影响

由表2可知,对照条件下,‘塌地乌3号’的叶绿素a和叶绿素b含量最高,其次是‘徽乌1号’。叶绿素a/叶绿素b值‘塌地乌2号’最高,各品种叶绿素含量差异显著。低温处理1 d时,‘塌地乌6号’叶绿素a,叶绿素b,叶绿素含量与各自的对照均无显著差异,其余品种叶绿素a,叶绿素含量都有较显著变化,其中‘塌地乌2号’与‘塌地乌3号’受低温胁迫叶绿素含量上升较多,分别比对照组提高35.86%和28.57%。‘徽乌1号’和‘塌地乌3号’叶绿素a/叶绿素b值无显著差异,其余品种较对照有所增加。

表1 乌塌菜形态性状鉴定项目及标准

Table 1 Main morphological characters and their criteria for savoy evaluation

形态性状 Morphological character	记载标准 Criteria for recording
外叶色 Color of outer leaf	外叶颜色: 黄=1; 浅绿=2; 绿=3; 深绿=4; 墨绿=5
心叶色 Color of interior leaf	心叶颜色: 金黄=1; 黄=2; 黄绿=3; 浅绿=4; 绿=5; 墨绿=6
紧实程度 Compaction degree	植株的紧实程度: 特散=1; 散=2; 微散=3; 紧实=4
叶柄色 Petiole color	叶柄颜色: 白=1; 浅绿=2; 绿=3
叶片长/cm Leaf length	最大基生叶叶片基部到叶片先端的长度
叶片宽/cm Leaf width	最大基生叶叶片的最宽处宽度
叶柄长/cm Petiole length	最大基生叶叶柄基部到叶片基部的长度
叶柄宽/cm Petiole width	最大基生叶叶柄的最宽处宽度
叶片数/片 Number of blade/slice	植株叶面积超过 1 cm ² 的叶片总数量
株高/cm Plant height	产品器官成熟期植株最高处距离地面的最大高度
展幅/cm Spread width	正常功能叶片开展的最大距离
单株重/g Weight of single plant	单株植株的总重量

表2 低温处理对各品种叶片叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of low temperature on chlorophyll content in leaves of different cultivars

处理 Treatment	品种 Cultivar	叶绿素 a/(mg/g) Chlorophyll a	叶绿素 b/(mg/g) Chlorophyll b	叶绿素/(mg/g) Chlorophyll	叶绿素 a/叶绿素 b Chlorophyll a/Chlorophyll b
对照 Control	塌地乌 6 号 Tadiwu6	5.80±0.42 e	2.38±0.30 d	8.18±0.64 e	2.45±0.27 c
	徽乌 1 号 Huiwu1	9.49±0.48 d	3.77±0.12 c	13.26±0.54 d	2.51±0.12 c
	徽乌 2 号 Huiwu2	4.17±0.16 f	1.64±0.21 e	5.82±0.37 f	2.55±0.22 bc
	塌地乌 2 号 Tadiwu2	2.62±0.15 i	0.81±0.16 f	3.43±0.03 i	3.32±0.83 ab
	塌地乌 1 号 Tadiwu1	3.25±0.09 gh	1.20±0.34 ef	4.45±0.42 gh	2.83±0.71 abc
	塌地乌 3 号 Tadiwu3	11.74±0.13 b	5.20±0.22 b	16.94±0.13 b	2.26±0.11 c
	塌地乌 6 号 Tadiwu6	6.09±0.37 e	2.27±0.28 d	8.37±0.61 e	2.70±0.18 abc
低温 Low temperature	徽乌 1 号 Huiwu1	9.92±0.27 c	4.23±0.59 c	14.16±0.62 c	2.37±0.32 c
	徽乌 2 号 Huiwu2	3.26±0.23 gh	1.32±0.24 ef	4.59±0.47 g	2.49±0.28 c
	塌地乌 2 号 Tadiwu2	3.60±0.08 g	1.06±0.16 f	4.66±0.12 g	3.45±0.61 a
	塌地乌 1 号 Tadiwu1	2.90±0.09 hi	0.87±0.11 f	3.77±0.02 hi	3.37±0.50 a
	塌地乌 3 号 Tadiwu3	15.18±0.16 a	6.59±0.28 a	21.78±0.13 a	2.31±0.12 c

注: 同列小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

Note: Different normal letters mean significant difference at 0.05 level. The same as the following tables.

2.2 低温胁迫对乌塌菜幼苗丙二醛含量的影响

由表3可知,各品种在对照条件下,随着时间的延长,丙二醛含量变化不显著。在低温胁迫 1 d 时,

‘塌地乌 1 号’和‘塌地乌 3 号’叶片丙二醛含量较对照组升高,分别提高 287% 和 103%,其他品种较对照组降低。随着低温胁迫时间的延长,各品种丙二

醛含量变化规律不同。低温胁迫 5 d 后,‘塌地乌 1 号’和‘徽乌 2 号’丙二醛含量变化量最大,分别是胁迫前的 169%和 75%。‘塌地乌 2 号’和‘塌地乌 3

号’的丙二醛含量变化幅度最小,分别是胁迫前的 0.6%和 2.9%。各品种低温处理后丙二醛含量较对照组差异性显著。

表 3 低温处理对各品种叶片丙二醛含量的影响

Table 3 Effects of low temperature on MDA content in leaves of different cultivars $\mu\text{mol/g}$

处理 Treatment	品种 Cultivar	处理时间/d Treatment time		
		1	3	5
对照 Control	塌地乌 6 号 Tadiwu6	1.79±0.05 b	1.75±0.08 b	1.68±0.03 a
	徽乌 1 号 Huiwu1	1.52±0.15 c	1.63±0.10 c	1.49±0.03 b
	徽乌 2 号 Huiwu2	1.13±0.09 d	1.20±0.02 f	1.14±0.09 d
	塌地乌 2 号 Tadiwu2	1.74±0.05 b	1.66±0.06 bc	1.71±0.07 a
	塌地乌 1 号 Tadiwu1	0.38±0.17 g	0.38±0.03 i	0.43±0.05 e
	塌地乌 3 号 Tadiwu3	1.36±0.02 c	1.50±0.04 d	1.40±0.09 b
	塌地乌 6 号 Tadiwu6	1.40±0.11 c	0.84±0.05 h	1.44±0.02 b
低温 Low temperature	徽乌 1 号 Huiwu1	0.84±0.05 e	1.15±0.04 f	1.23±0.04 c
	徽乌 2 号 Huiwu2	0.56±0.06 f	1.42±0.04 de	0.29±0.03 f
	塌地乌 2 号 Tadiwu2	0.95±0.04 e	1.39±0.05 e	1.72±0.03 a
	塌地乌 1 号 Tadiwu1	1.47±0.03 c	0.94±0.04 g	1.16±0.04 d
	塌地乌 3 号 Tadiwu3	2.76±0.09 a	2.52±0.03 a	1.44±0.04 b

2.3 低温胁迫对乌塌菜幼苗可溶性糖含量的影响

由表 4 可知,在对照组中,各品种可溶性糖含量差异显著,低温胁迫 5 d 导致各品种叶片可溶性糖含量都有所增加,‘塌地乌 6 号’和‘塌地乌 2 号’在胁迫 3 d 可溶性糖含量上升,胁迫 5 d 下降,其他品种

的可溶性糖含量则随着低温胁迫时间的延长持续上升。随低温胁迫时间的延长,‘塌地乌 3 号’可溶性糖含量较对照组变化量最大,分别是 156%、195%和 252%,‘徽乌 2 号’变化量最小,分别是 0.8%、1.5%和 15%。各品种低温胁迫后可溶性糖含量较对照组差异性显著。

表 4 低温处理对各品种叶片可溶性糖含量的影响

Table 4 Effects of low temperature on soluble sugar content in leaves of different cultivars $\mu\text{g/g}$

处理 Treatment	品种 Cultivar	处理时间/d Treatment time		
		1	3	5
对照 Control	塌地乌 6 号 Tadiwu6	7.38±0.03 g	8.30±0.17 i	7.77±0.11 j
	徽乌 1 号 Huiwu1	10.94±0.05 c	10.88±0.10 f	11.31±0.11 e
	徽乌 2 号 Huiwu2	11.65±0.08 b	12.65±0.06 d	11.94±0.05 d
	塌地乌 2 号 Tadiwu2	10.79±0.03 c	10.08±0.12 h	10.64±0.08 g
	塌地乌 1 号 Tadiwu1	6.84±0.05 h	6.88±0.07 j	7.07±0.04 k
	塌地乌 3 号 Tadiwu3	6.30±0.03 i	6.46±0.03 k	6.26±0.04 m
	塌地乌 6 号 Tadiwu6	9.73±0.04 e	12.38±0.05 e	11.17±0.09 f
低温 Low temperature	徽乌 1 号 Huiwu1	9.93±0.08 d	16.78±0.08 b	17.88±0.02 b
	徽乌 2 号 Huiwu2	11.56±0.12 b	12.84±0.05 c	13.73±0.16 c
	塌地乌 2 号 Tadiwu2	8.81±0.21 f	10.42±0.04 g	9.09±0.06 h
	塌地乌 1 号 Tadiwu1	4.49±0.09 j	6.36±0.07 k	8.15±0.06 i
	塌地乌 3 号 Tadiwu3	16.15±0.08 a	19.10±0.06 a	22.04±0.07 a

2.4 乌塌菜幼苗耐寒性的综合分析

2.4.1 试验地的土壤农化特性

土壤为黄棕壤，土壤的容重平均值为 1.41 kg/cm³，土壤含水量平均值为 15.8%，土壤 pH 平均值为 7.50，全氮含量平均值为 1.84 g/kg，全磷含量平均值为 792.00 mg/kg。

2.4.2 各单项指标的耐寒系数及形态性状

由表 5 可知，‘塌地乌 6 号’经低温处理后，幼苗叶片的丙二醛含量与低温胁迫前相比有所减少 (CTC<1)，其他的指标都有所增加。‘徽乌 2 号’幼

苗叶片可溶性糖含量较低温胁迫前有所上升 (CTC>1)，其他指标都有所下降。‘塌地乌 3 号’幼苗叶片电导率与低温胁迫前相比有所下降，其他指标都有所上升。不同品种乌塌菜各单项指标的变化幅度不尽相同。‘塌地乌 1 号’和‘塌地乌 2 号’属于叶色较浅，株型为中型，单株重量重的品种；‘徽乌 2 号’和‘徽乌 1 号’属于叶色中等，株型为小型，单株重量轻的品种；‘塌地乌 6 号’和‘塌地乌 3 号’属于叶色较深，株型大型，单株重量中等的品种。各品种的各项指标差异性显著。

表 5 低温胁迫乌塌菜各单项指标及形态性状

Table 5 Chilling tolerant coefficient(CTC) of each single index of leaves of savoy under stress and recovery of low temperature and their main morphological characters

品种 Cultivar	电导率/% Relative electric conductivity	叶绿素 a/ (mg/g) Relative chlorophyll a	叶绿素 b/ (mg/g) Relative chlorophyll b	叶绿素/ (mg/g) Relative chlorophyll content	叶绿素 a/ 叶绿素 b Relative chlorophyll a/ chlorophyll b	丙二醛/ (μmol/g) Relative MDA content	可溶性糖/ (μg/g) Relative soluble sugar content	外叶色 Color of outer leaf	内叶色 Color of interior leaf	紧实程度 Compaction degree
塌地乌 6 号 Tadiwu6	1.37 a	1.05 c	0.95 c	1.02 c	1.10 a	0.71 d	1.42 b	5 a	5 a	3 a
徽乌 1 号 Huiwu1	0.77 b	1.05 c	1.12 b	1.07 c	0.94 a	0.70 d	1.34 b	4 a	5 a	3 a
徽乌 2 号 Huiwu2	0.67 c	0.78 e	0.8 d	0.79 e	0.98 a	0.64 e	1.05 c	3 b	3 b	4 a
塌地乌 2 号 Tadiwu2	0.35 d	1.37 a	1.31 a	1.36 a	1.04 a	0.80 c	0.90 c	2 b	3 b	3 a
塌地乌 1 号 Tadiwu1	0.72 bc	0.89 d	0.73 d	0.85 d	1.19 a	3.01 a	0.91 c	2 b	2 b	4 a
塌地乌 3 号 Tadiwu3	0.39 d	1.29 b	1.27 a	1.29b	1.02 a	1.58 b	3.01 a	5 a	6 a	2 b

品种 Cultivar	叶柄色 Petiole color	叶片长/cm Leaf length	叶片宽/cm Leaf width	叶柄长/cm Petiole length	叶柄宽/cm Petiole width	叶片数 Number of blade	株高/cm Plant height	展幅/cm Spread width	单株重/g Weight of single plant
塌地乌 6 号 Tadiwu6	3 a	17.3 a	16.8 a	13.8 a	3.9 b	22 b	23 a	44 a	410 b
徽乌 1 号 Huiwu1	3 a	10.2 c	12.3 c	7.1 cd	4.6 a	28 a	14 c	28 d	350 c
徽乌 2 号 Huiwu2	1 b	9.8 d	12.5 bc	6.4 d	4.8 a	15 c	14 c	27 d	190 d
塌地乌 2 号 Tadiwu2	1 b	9.7 d	13.9 b	11.2 b	3.5 bc	30 a	18 b	33 c	400 b
塌地乌 1 号 Tadiwu1	1 b	11.4 b	12.7 bc	8.2 c	4.8 a	22 b	15 c	31 c	450 a
塌地乌 3 号 Tadiwu3	3 a	9.7 d	9.6 d	10.7 b	3.3 c	16 c	23 a	38 b	320 c

2.4.3 主成分分析

主成分分析能有效地简化数据,分析各指标间的关系,起到了浓缩数据的作用^[13]。主成分分析见表6,利用主成分分析法将所测定的19项指标进行综合分析,输出特征向量值较大的前4个综合指标 $C_1 \sim C_4$,其累计贡献率已达到94.438%。则其他的综合指标可忽略不计。因此,可以用前4个主成分进行耐寒性分析。第一主成分的贡献率为41.916%,特征向量绝对值较大的性状是紧实程度(-0.957)、叶柄宽(-0.891)、株高(0.875)、内叶色

(0.841),主要反映植物形态的情况;第二主成分的贡献率为23.99%,特征向量绝对值较大的性状是叶片长(0.950)、电导率(0.879)、叶片宽(0.820),主要反映膜透性和植物形态的情况;第三主成分的贡献率为17.206%,特征向量绝对值较大的性状是外叶色,叶片数和单株重;第四主成分的贡献率为11.327%,特征向量绝对值较大的性状是丙二醛含量。将19个单项指标转换为4个新的相互独立的综合指标,并代表了原始指标携带的绝对部分信息。

表6 各综合指标的系数及贡献率

Table 6 Coefficients of comprehensive indexes [C_X] and proportion

主成分 Principle factors	综合指标值 Comprehensive index				
	C_1	C_2	C_3	C_4	
特征根 Eigen values	7.964	4.558	3.269	2.152	
贡献率/% Contributive ratio	41.916	23.990	17.206	11.327	
累计贡献率/% Cumulative contributive ratio	41.916	65.906	83.112	94.438	
特征向量 Eigen vector					
	电导率	0.009	0.879	-0.379	-0.254
	叶绿素 a	0.787	-0.290	0.541	-0.060
	叶绿素 b	0.766	-0.498	0.329	-0.237
	叶绿素	0.785	-0.364	0.489	-0.107
	叶绿素 a/叶绿素 b	-0.177	0.663	0.435	0.583
	丙二醛	-0.297	0.130	0.296	0.840
	可溶性糖	0.744	-0.292	-0.379	0.463
	外叶色	0.725	0.175	-0.652	-0.008
	内叶色	0.841	-0.090	-0.478	-0.080
	紧实程度	-0.957	0.257	0.016	-0.058
	叶柄色	0.738	0.135	-0.469	-0.106
	叶片长	0.248	0.950	-0.145	-0.118
	叶片宽	-0.034	0.820	0.189	-0.508
	叶柄长	0.741	0.555	0.291	0.006
	叶柄宽	-0.891	0.124	-0.316	-0.087
	叶片数	0.056	0.033	0.696	-0.582
	株高	0.875	0.330	-0.012	0.255
	展幅	0.754	0.611	0.020	0.174
	单株重	0.185	0.522	0.680	0.148

注: C_1 :第一主成分; C_2 :第二主成分; C_3 :第三主成分; C_4 :第四主成分。

Note: C_1 : The first principal component; C_2 : The second principal component; C_3 : The third principal component; C_4 : The fourth principal component.

根据所对应的特征向量获得前 4 个主成分表达式

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 0.009X_1 + 0.787X_2 + 0.766X_3 + \\
 &0.785X_4 - 0.177X_5 - 0.297X_6 + 0.744X_7 + \\
 &0.725X_8 + 0.841X_9 - 0.957X_{10} + 0.738X_{11} + \\
 &0.248X_{12} - 0.034X_{13} + 0.741X_{14} - 0.89X_{15} + \\
 &0.056X_{16} + 0.875X_{17} + 0.754X_{18} + 0.185X_{19} \\
 C_2 &= 0.879X_1 - 0.29X_2 - 0.498X_3 - \\
 &0.364X_4 + 0.663X_5 + 0.13X_6 - 0.292X_7 + \\
 &0.175X_8 - 0.09X_9 + 0.257X_{10} + 0.135X_{11} + \\
 &0.950X_{12} + 0.820X_{13} + 0.555X_{14} + 0.124X_{15} + \\
 &0.033X_{16} + 0.33X_{17} + 0.611X_{18} + 0.522X_{19} \\
 C_3 &= -0.379X_1 + 0.541X_2 + 0.329X_3 + \\
 &0.489X_4 + 0.435X_5 + 0.296X_6 - 0.379X_7 - \\
 &0.652X_8 - 0.478X_9 + 0.016X_{10} - 0.469X_{11} - \\
 &0.145X_{12} + 0.189X_{13} + 0.291X_{14} - 0.316X_{15} + \\
 &0.696X_{16} - 0.012X_{17} + 0.020X_{18} + 0.680X_{19} \\
 C_4 &= -0.254X_1 - 0.06X_2 - 0.237X_3 -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &0.107X_4 + 0.583X_5 + 0.84X_6 + 0.463X_7 - \\
 &0.008X_8 - 0.08X_9 - 0.058X_{10} - 0.106X_{11} - \\
 &0.118X_{12} - 0.508X_{13} + 0.006X_{14} - 0.087X_{15} - \\
 &0.582X_{16} + 0.255X_{17} + 0.174X_{18} + 0.148X_{19}
 \end{aligned}$$

式中： $X_1 \sim X_{19}$ 分别为所测定的 19 个单项指标，依次为：电导率、叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素含量、叶绿素 a/叶绿素 b 值、丙二醛含量、可溶性糖含量、外叶色、内叶色、紧实程度、叶柄色、叶片长、叶片宽、叶柄长、叶柄宽、叶片数、株高、展幅和单株重。

2.4.4 隶属函数分析

将各指标的耐寒系数带入 4 个主成分分析表达式通过隶属函数综合分析乌塌菜耐寒性的强弱。有表 7 可知，耐寒性较强的是‘徽乌 2 号’、‘徽乌 1 号’、‘塌地乌 3 号’，耐寒性较弱的品种是‘塌地乌 6 号’、‘塌地乌 2 号’、‘塌地乌 1 号’。表明株型小，叶色深，叶片面积小，紧实的品种耐寒性强，株型大，叶色浅，叶片面积大，松散的品种耐寒性弱。

表 7 隶属函数法评价乌塌菜品种耐寒性差异

Table 7 Difference on cold tolerance in savoy by subordinate function value

品种 Cultivar	综合指标值 Comprehensive index				隶属函数值 Subordinate function value					排序 Rank
	C_1	C_2	C_3	C_4	$U(C_1)$	$U(C_2)$	$U(C_3)$	$U(C_4)$	平均值 Average	
塌地乌 6 号 Tadiwu6	151.05	289.64	292.17	50.78	1.00	1.00	0.83	0.82	0.91	2
徽乌 1 号 Huiwu1	112.56	230.81	254.26	36.33	0.49	0.59	0.63	0.43	0.54	5
徽乌 2 号 Huiwu2	74.95	146.02	138.54	20.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6
塌地乌 2 号 Tadiwu2	128.67	263.44	295.59	44.16	0.71	0.82	0.85	0.64	0.75	3
塌地乌 1 号 Tadiwu1	126.73	287.86	322.63	57.48	0.68	0.99	1.00	1.00	0.92	1
塌地乌 3 号 Tadiwu3	129.51	221.93	225.57	46.03	0.72	0.53	0.47	0.69	0.60	4

注： $U(C_1)$ ：第一主成分隶属函数； $U(C_2)$ ：第二主成分隶属函数； $U(C_3)$ ：第三主成分隶属函数； $U(C_4)$ ：第四主成分隶属函数。下表同。

Note: $U(C_1)$: The first principal component membership function; $U(C_2)$: The second principal component membership function; $U(C_3)$: The third principal component membership function; $U(C_4)$: The fourth principal component membership function. The same as in the following table.

3 讨论与结论

在大田生产中，低温胁迫往往在短时间内迅速发生并减缓，导致作物没有足够时间做出适应性反应，而一般认为作物苗期发生低温胁迫会对作物生长产生不利影响可能正是基于此原因^[14]。对植物耐低温特性的评价有形态指标，生理生化指标和分子指标等一系列完整的鉴定体系。植物受低温影响

会使细胞质膜透性发生不同程度的增大，造成电解质外渗，使电导率增大^[15]，因此，测定电导率作为耐寒性检测指标。叶绿素 a 和叶绿素 b 主要参与光能的捕获和能量的转化，叶绿素 a/叶绿素 b 的变化能反映叶片的光合活性^[4]。本研究中，各品种叶绿素含量差异显著，低温处理后不同品种叶绿素含量变化不同，叶绿素 a 和叶绿素 b 含量变化也因品种而异。对照和低温处理的各品种叶绿素 a/叶绿素 b

值未发生显著变化,与胡春梅等^[4]的研究结果相类似。而朱为民等^[16]研究认为叶片中叶绿素含量可以用作鉴定番茄耐低温、弱光性能的指标之一,通常耐低温、弱光的品种在低温、弱光下叶片中的叶绿素含量呈上升趋势,与本试验研究结果不一致。

丙二醛含量的变化是植物在遭遇逆境胁迫时受伤害程度的重要标志^[17]。罗娅等^[18]对低温处理条件下的草莓进行研究,发现在 0℃处理条件下,草莓叶片中 MDA 的含量迅速上升,4 h 时达到最大值,之后随着处理时间的延长,MDA 的含量开始下降,但 72 h 内仍然显著高于对照(25℃处理条件)中的含量。所以通过测定 MDA 含量变化能在一定程度上反应该品种的抗寒能力。从所测定结果看,各品种丙二醛含量的变化随胁迫时间的延长变化趋势不同,谭艳玲等^[17]认为丙二醛含量随低温胁迫时间的延长而升高的结论不一致,可能是因为试验的植物和低温胁迫程度不同所致。糖类可作为直接的能源物质以减轻胁迫的伤害,或作为渗透调节物质以提高质膜的稳定性,并起到维持细胞膨压的作用^[19]。陈根辉等^[20]通过对 23 份不同品种橡胶树幼苗材料进行研究,发现在低温胁迫条件下,叶片中可溶性糖含量极显著增加,与本试验结果相似。低温胁迫,各乌塌菜品种可溶性糖含量都有所增加,但增加的幅度不同,‘塌地乌 3 号’增加的幅度大,‘徽乌 2 号’增加的幅度小。

植物抗逆性是受到多因子影响的复杂性状,不同品种的耐寒机制不相同,因此孤立的使用某一个单项指标很难反映植物的耐寒本质^[12]。主成分分析可将原来数量较多的单项指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标,进一步利用模糊数学的隶属函数分析方法求出各综合指标评价值,综合评价耐寒性强弱。本研究利用主成分分析法将低温胁迫乌塌菜各单项指标的耐寒系数及形态性状的 19 个指标转换成 4 个彼此独立的综合指标。由主成分分析可知,叶色、叶片面积、株型和紧实程度是反映乌塌菜主要的形态性状,电导率和丙二醛含量是反映乌塌菜耐寒性鉴定的主要指标。通过隶属函数值法分析将 6 份乌塌菜品种按耐寒性强弱划分为 2 类。由隶属函数分析法可知,叶色深、叶片面积小、株型小和紧实的品种耐寒性强;叶色浅、叶片面积大、株型大和松散的品种耐寒性弱。

参 考 文 献

- [1] 舒英杰,周玉丽. 我国的乌塌菜研究[J]. 安徽技术师范学院学报,2005,19(1):15-18
- [2] 吴燕,高青海. 低温胁迫下乌塌菜对外源硅的生理响应[J]. 植物生理学通讯,2010,46(9):928-932
- [3] Parvathaneni R K, Natesan S, Devaraj A A, et al. Fingerprinting in cucumber and melon (*Cucumis* spp) genotypes using morphological and ISSR markers[J]. J Crop Sci Biotech, 2011,14 (1):39-43
- [4] 胡春梅,侯喜林. 不结球白菜主要营养成分与品种低温耐受性的关系[J]. 南京农业大学学报,2010,33(3):37-41
- [5] 王勇,乔永胜,梅霞,等. 不同低温下核桃枝条抗寒性生理生化指标分析[J]. 中国农学通报,2013,29(10):40-44
- [6] 孟凡珍. 田间低温胁迫对大白菜某些理化特性的影响研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(2):84-86
- [7] 宋立晓,高兵. 甘蓝耐寒性生理生化指标研究[J]. 江苏农业学报,2009,25(6):1341-1346
- [8] 赵海泉. 基础生物学实验指导 植物生理学分册[M]. 北京:中国农业大学出版社,2008:25-83
- [9] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2001:131-135
- [10] 黄青,张凯,邓文鑫,等. 合肥城市绿地土壤特点[J]. 城市环境与城市生态,2009,22(2):12-15
- [11] 赵颖,宋江华,汪承刚,等. 安徽乌塌菜种质资源形态特征多样性分析[J]. 安徽农业大学学报,2013,40(3):449-453
- [12] 武辉,侯丽丽,周艳飞,等. 不同棉花基因型幼苗耐寒性分析及其鉴定指标筛选[J]. 中国农业科学,2012,45(9):1703-1713
- [13] 许璞,陈煜,陈发棣,等. 菊花耐寒特性分析及其评价指标的确定[J]. 中国农业科学,2009,42(3):974-981
- [14] James R M, Steven A M. Antioxidant metabolism in cotton seedlings exposed to temperature stress in the field[J]. Crop Science,2005,45:2337-2345
- [15] 李铁冰,杨顺强,任广鑫,等. 低温处理下不同禾本科牧草的生理变化及其抗寒性比较[J]. 生态学报,2009,29(3):1341-1347
- [16] 朱为民. 光合特性作为番茄设施专用品种选育指标的效应[J]. 上海农业学报,2001,17(4):45-48
- [17] 谭艳玲,张艳嫣,高冬冬,等. 低温胁迫对铁皮石斛抗坏血酸过氧化物酶活性及丙二醛和脯氨酸含量的影响[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2012,38(4):400-406
- [18] 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,2007,34(6):1405-1410
- [19] Morsy M R, Jure L, Hansmann J F, et al. Alteration of oxidative and carbohydrate metabolism under abiotic stress in two rice (*Oryza sativa* L) genotypes contrasting in chilling tolerance[J]. J Plant Physiol,2007,164:157-167
- [20] 陈根辉,黄华孙,安泽伟. 橡胶树不同品种幼苗耐寒生理指标研究初报[J]. 热带农业科技,2008,31(2):1-3