

自然越冬过程中3个茶树品种的生理特性变化及抗寒性评价

李叶云^①, 舒锡婷, 周月琴, 江昌俊

(安徽农业大学 农业部茶树生物学与茶叶加工重点实验室, 安徽 合肥 230036)

摘要:以茶树[*Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze]品种‘舒茶早’(‘Shuchazao’)、‘乌牛早’(‘Wuniuzao’)和‘平阳特早’(‘Pingyangtezao’)为实验材料,分析了自然越冬过程中(2011年10月至2012年3月)茶树叶片主要渗透调节物质(可溶性糖、可溶性蛋白质、热稳定蛋白质和脯氨酸)含量、抗氧化酶(SOD、CAT和POD)活性、PS II原初光能转化效率(F_v/F_m)和总叶绿素含量的变化,并应用主成分分析结合隶属函数法对3个茶树品种抗寒性进行综合评价。结果表明:自然越冬期3个茶树品种叶片生理指标随时间推移呈规律性变化,越冬期(12月和1月)与越冬前期(10月)、越冬后期(2月和3月)各指标总体上差异显著,且品种间各指标也有一定差异。可溶性糖、可溶性蛋白质、热稳定蛋白质和脯氨酸含量以及SOD活性均呈先升后降的变化趋势,且峰值多出现在12月或2月;CAT和POD活性、 F_v/F_m 值和总叶绿素含量则呈先降后升的变化趋势,且均在1月降至最低。主成分分析结果显示:第1主成分(X1)包括可溶性糖含量、SOD活性、CAT活性、POD活性、 F_v/F_m 和总叶绿素含量,贡献率达到57.97%;第2主成分(X2)包括可溶性蛋白质含量、热稳定蛋白质含量和脯氨酸含量,贡献率达到26.89%。综合评价结果显示:自然越冬期3个茶树品种抗寒性的综合评价值均随时间推移呈先升后降的变化趋势,且均在12月达到最高,据此判断3个茶树品种中‘舒茶早’的抗寒性最强、‘乌牛早’的抗寒性最弱,‘平阳特早’的抗寒性介于二者之间。研究结果显示:在自然越冬过程中供试3个茶树品种的抗寒性与其生理指标变化及生长表现一致,表明综合评价法可用于茶树抗寒性评价。

关键词: 茶树; 自然越冬; 生理指标; 主成分分析; 综合评价值; 抗寒性

中图分类号: Q945.78; S571.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2014)03-0052-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2014.03.07

Change in physiological characteristics and cold resistance evaluation of three cultivars of *Camellia sinensis* during natural overwintering period LI Yeyun^①, SHU Xiting, ZHOU Yueqin, JIANG Changjun (Key Laboratory of Tea Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2014, 23(3): 52-58

Abstract: Taking cultivars ‘Shuchazao’, ‘Wuniuzao’ and ‘Pingyangtezao’ of *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze as experimental materials, changes in main osmoregulation substance (soluble sugar, soluble protein, heat-stable protein and proline) content, antioxidant enzyme (SOD, CAT and POD) activity, the maximum quantum efficiency of PS II (F_v/F_m) and total chlorophyll content in leaf of *C. sinensis* during natural overwintering period (from Oct. 2011 to Mar. 2012) were researched, and cold resistance of three cultivars of *C. sinensis* was comprehensively evaluated by principal component analysis combined with subordinate function method. The results show that during natural overwintering period, there is a regular change in physiological indexes in leaf of three cultivars with the passage of time, and difference in each index among overwintering stage (Dec. and Jan.), pre-winter stage (Oct.) and post-winter stage (Feb. and Mar.) is generally significant and there is a certain difference in each index among different cultivars. Contents of soluble sugar, soluble protein, heat-stable protein and proline and SOD activity

收稿日期: 2013-12-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31270729); 国家星火计划项目(2012GA710001)

作者简介: 李叶云(1972—),男,安徽岳西人,博士,副教授,主要研究方向为茶树种质资源与育种。

^①通信作者 E-mail: lyy@ahau.edu.cn

increase firstly and then decrease, and the peak value mostly appears at Dec. or Feb. While CAT and POD activities, F_v/F_m value and total chlorophyll content decrease firstly and then increase, and all appear the minimum at Jan. The result of principal component analysis shows that the first principal component (X_1) includes soluble sugar content, activities of SOD, CAT and POD, F_v/F_m and total chlorophyll content with the contribution rate of 57.97%, and the second principal component (X_2) includes contents of soluble protein, heat-stable protein and proline with contribution rate of 26.89%. The result of comprehensive evaluation shows that during natural overwintering period, the comprehensive evaluation value of cold resistance of three cultivars all increases firstly and then decreases with the passage of time, and all reach the maximum at Dec. According to this evaluation, cold resistance of cultivar 'Shuchazao' is the strongest in three cultivars, that of cultivar 'Wuniuzao' is the weakest, and that of cultivar 'Pingyangtezao' is between them. It is suggested that during natural overwintering period, cold resistance of three cultivars tested is consistent with physiological index change and growth appearance, as a result, comprehensive evaluation method can be used to evaluate cold resistance of *C. sinensis*.

Key words: *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze; natural overwintering; physiological index; principal component analysis; comprehensive evaluation value; cold resistance

茶树[*Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze]是一种喜暖畏寒的多年生木本经济作物,在中国农业经济中占有重要地位。寒冻害是中国北方和南方高山茶区主要的自然灾害之一,冬季持续低温和倒春寒对茶叶产量和品质有很大影响,研究茶树抗寒性机制、选育抗寒性强的优良品种是解决该问题的根本途径。

茶树的抗寒性是其长期适应低温胁迫的过程中通过自然选择而逐步发展和形成的一类形态和生理生化特性,茶树多项生理生化特征的变化均与其抗寒性相关^[1]。近年来,研究者多以茶树叶片的渗透调节物质^[2]、保护酶活性^[3]和叶绿素荧光参数^[4]等为参考指标研究其抗寒性;也有研究者对低温胁迫后茶树基因表达差异进行分析^[5],以期揭示茶树抗寒性的分子机制,但目前对茶树越冬过程中生理生化指标的动态变化鲜有研究。植物的抗寒性是一个复杂的多种机制综合作用的结果,利用单一的生长及生理指标很难真实、准确地鉴定植物的抗寒性,因而,在苹果(*Malus pumila* Mill.)^[6]、杨树(*Populus* spp.)^[7]、柿属(*Diospyros* Linn.)种质^[8]、苜蓿(*Medicago sativa* Linn.)^[9]和葡萄(*Vitis vinifera* Linn.)^[10]等植物的抗寒性研究中,研究者均选择多个抗寒相关指标并应用主成分分析和隶属函数法对它们的抗寒性进行综合评价。

茶树的抗寒力需要经过一定的低温驯化才能产生,人工冷驯化对茶树抗寒力的增强作用不及自然驯化^[11]。因此,作者以自然越冬期的茶树为研究对象,测定其渗透调节物质含量、抗氧化酶活性和叶绿素荧光参数等指标的变化,并利用主成分分析结合隶属函

数法对自然越冬期茶树抗寒性的变化进行分析,以期作为茶树抗寒性综合评价指标的选择提供实验数据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的茶树品种‘舒茶早’(‘Shuchazao’)、‘乌牛早’(‘Wuniuzao’)和‘平阳特早’(‘Pingyangtezao’)均为成年无性系,树龄10 a,种植于安徽农业大学农业园(北纬31°31'12"、东经117°10'12")。品种‘舒茶早’和‘乌牛早’均为灌木型、中叶类,分别适宜江北和浙江茶区种植;品种‘平阳特早’为小乔木型、中叶类,适宜江南和江北茶区种植。于2011年10月至2012年3月的每个月的月底采样,选取10株样株,采集无病虫害、长势一致的当年生枝条中部第3至第5位叶,混匀后取样,各重复取样3次。

1.2 方法

1.2.1 月气温确定 根据气象部门发布的天气信息,记录实验区域2011年10月至2012年3月每天的最高气温与最低气温,并计算各月份的月最高气温、最低气温和平均气温(表1)。

1.2.2 指标测定方法 采用蒽酮比色法^{[12]202-204}测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝比色法^{[12]190-192}测定可溶性蛋白质和热稳定蛋白质的含量,其中热稳定蛋白质的提取参照文献[13]的方法并略加修改;采用酸性茚三酮比色法^{[12]278-279}测定脯氨酸含量;采用氮蓝四唑(NBT)显色法^[14]测定SOD活性,将NBT光还原抑制到对照50%的酶量定义为1个酶活性单位

表1 茶树自然越冬期(2011年10月至2012年3月)的月气温变化
Table 1 Change in monthly air temperature during natural overwintering period (from Oct. 2011 to Mar. 2012) of *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze

月份 Month	气温/°C Air temperature		
	最高 Maximum	最低 Minimum	平均 Average
10月 October	22.6	15.0	18.8
11月 November	17.6	10.2	13.9
12月 December	8.3	1.4	4.9
1月 January	5.7	-0.3	2.7
2月 February	6.6	1.0	3.8
3月 March	11.8	5.9	8.8

(U);采用紫外吸收法^{[12]169-170}测定CAT活性,以1 min内 OD_{240} 减少0.01的酶量为1个酶活性单位(U);采用愈创木酚比色法^[15]测定POD活性,以1 min OD_{470} 变化0.01为1个酶活性单位(U);参照庞磊等^[4]的方法测定PS II原初光能转化效率(F_v/F_m);采用分光光度法^{[12]134-136}测定总叶绿素含量。以上指标重复测定3次。

1.3 数据处理

应用SPSS 16.0 统计分析软件中的主成分分析对上述实验数据进行处理,获得各主成分的得分值 X_{i1} 和 X_{i2} 及其贡献率,贡献率累计达到80%则保留主成分;根据各主成分的贡献率分别求其隶属函数值(U)或权重值(W),并据此计算自然越冬期供试3个茶树品种的抗寒性综合评价值(D), D 值越大则抗寒性越强,依此比较茶树品种间的抗寒性差异^[8-9]。隶属函数值计算公式: $U_{ij} = (X_{ij} - X_{j_{\min}}) / (X_{j_{\max}} - X_{j_{\min}})$,式中: U_{ij} 表示*i*品种*j*主成分的抗寒隶属函数值; X_{ij} 表示*i*品种*j*主成分得分值; $X_{j_{\min}}$ 表示所有品种*j*主成分的最小值; $X_{j_{\max}}$ 表示所有品种*j*主成分的最大值;*i*表示某个品种;*j*表示某个主成分。权重值计算公式: $W_j = P_j / \sum P_j$,式中: W_j 表示*j*主成分的权重; P_j 表示*j*主成分的贡献率。综合评价值计算公式: $D_i = \sum (U_{ij} \times W_j)$,式中: D_i 为*i*品种的抗寒性综合评价值; U_{ij} 为*i*品种*j*主成分的隶属函数值; W_j 为*j*主成分的权重。

2 结果和分析

2.1 自然越冬期茶树叶片生理指标的动态变化

2.1.1 主要渗透调节物质的动态变化 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片的可溶性糖、可溶性蛋白质、热稳定蛋白质和脯氨酸含量见表2。由表2可

见:3个茶树品种叶片的各渗透调节物质含量均随时间推移呈先上升后下降的趋势,但变化幅度及变化趋势不同。3个茶树品种叶片的可溶性糖、可溶性蛋白质和热稳定蛋白质含量均在12月达到最高,其中,品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片中可溶性糖含量分别为138.30、110.38和124.64 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是越冬前(10月份)的4.62、1.89和1.98倍;可溶性蛋白质含量分别为56.92、47.12和44.43 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是越冬前的2.51、1.50和1.71倍;热稳定蛋白质含量分别为3.93、3.53和3.72 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是越冬前的1.90、1.52和1.70倍。

3个茶树品种叶片的脯氨酸含量随时间推移缓慢增加,至2012年2月达到最高,品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片中脯氨酸含量分别为54.20、53.86和51.28 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是越冬前的3.36、3.40和3.74倍,而12月份3个品种叶片中脯氨酸含量仅为越冬前的1.77、1.55和1.50倍,且同一月份不同品种间脯氨酸含量差异较小。

测定结果表明:渗透调节物质在越冬期(12月和1月)与越冬前(10月)、越冬后(2月和3月)差异极显著($P < 0.01$)。茶树在越冬前期通过快速积累可溶性糖、可溶性蛋白质和热稳定蛋白质以增强自身抗寒力,它们的积累速率均快于脯氨酸。

2.1.2 抗氧化酶活性的动态变化 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片的SOD、CAT和POD活性见表3。由表3可见:自然越冬期茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片的SOD、CAT和POD活性随时间推移呈不同的变化趋势。自然越冬期3个茶树品种叶片SOD活性随时间推移呈先上升后下降的趋势;在2011年12月份和2012年1月份活性均较高,SOD最高活性比越冬前(10月份)分别增加38.35%~61.49%,差异极显著($P < 0.01$);当低温胁迫(2月份至3月份)逐步解除后,SOD活性逐渐降低,低于或与越冬前水平相当。3个茶树品种叶片CAT和POD活性随时间推移则呈先上升后下降再上升的变化趋势,最冷月(1月份)CAT和POD活性仅为越冬前(10月份)的18.28%~48.40%,差异极显著;随气温逐渐升高,2月份至3月份CAT和POD活性均有所提高,其中,CAT活性接近越冬前水平,而POD活性仍保持较低水平。由表3还可看出:供试的3个品种中,品种‘舒茶早’叶片的SOD、CAT和POD

表2 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)3个茶树品种叶片的主要渗透调节物质含量变化($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 2 Change in main osmoregulation substance content in leaf of three cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze during natural overwintering period (from Oct. 2011 to Mar. 2012) ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

月份 Month	可溶性糖含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Soluble sugar content	可溶性蛋白质 含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Soluble protein content	热稳定蛋白质 含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Heat-stable protein content	脯氨酸含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Proline content
茶树品种‘舒茶早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Shuchazao’				
2011年10月 October, 2011	29.94±0.69eE	22.71±2.95cCD	2.07±0.12dD	16.14±1.81eE
2011年11月 November, 2011	65.01±2.94dD	38.46±1.49bB	2.92±0.08bB	27.01±0.76dD
2011年12月 December, 2011	138.30±3.52aA	56.92±0.72aA	3.93±0.12aA	28.56±0.75dCD
2012年1月 January, 2012	122.76±1.82bB	38.23±2.98bB	2.85±0.20bB	45.51±2.69bB
2012年2月 February, 2012	82.57±4.41cC	25.45±1.24cC	2.43±0.18cC	54.19±4.47aA
2012年3月 March, 2012	67.73±2.47dD	18.14±1.60dD	2.15±0.03dCD	34.44±4.24cC
茶树品种‘乌牛早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Wuniuzao’				
2011年10月 October, 2011	58.33±0.41cC	31.43±0.54bB	2.32±0.10deCD	15.84±1.67fF
2011年11月 November, 2011	77.12±3.96bB	32.93±0.84bB	2.66±0.11bcBC	21.00±0.68eE
2011年12月 December, 2011	110.38±2.65aA	47.12±3.36aA	3.53±0.28aA	24.57±1.13dD
2012年1月 January, 2012	109.21±1.92aA	32.90±3.35bB	2.95±0.17bB	41.32±2.06bB
2012年2月 February, 2012	60.45±1.69cC	24.39±2.54cC	2.44±0.19cdCD	53.86±1.86aA
2012年3月 March, 2012	51.93±2.04dD	15.26±3.63dD	2.00±0.16eD	30.12±2.46cC
茶树品种‘平阳特早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Pingyangtezao’				
2011年10月 October, 2011	63.08±0.35fE	25.97±2.32cCD	2.19±0.13cB	13.72±0.64eC
2011年11月 November, 2011	93.39±2.45cC	30.79±0.15bB	2.57±0.07bB	19.17±1.73dC
2011年12月 December, 2011	124.64±2.57aA	44.43±2.62aA	3.72±0.21aA	20.56±2.16dC
2012年1月 January, 2012	115.30±2.32bB	29.83±1.92bBC	2.31±0.07bcB	44.59±4.09bA
2012年2月 February, 2012	85.87±4.42dD	24.86±1.74cD	2.30±0.12cB	51.28±0.36aA
2012年3月 March, 2012	79.51±1.79eD	18.95±1.16dE	2.21±0.28cB	36.63±4.60cB

¹⁾ 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示同品种同一指标在不同月份间差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$)。Different small letters and capitals in the same column mean the significant ($P<0.05$) and the extremely significant ($P<0.01$) differences in the same index of the same cultivar among different months, respectively.

活性总体上高于另2个品种。

2.1.3 PS II 原初光能转化效率 (F_v/F_m) 和总叶绿素含量的动态变化 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片的 F_v/F_m 和总叶绿素含量变化见表4。由表4可见:自然越冬期茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片的 F_v/F_m 和总叶绿素含量随时间推移均呈先下降后上升的趋势。2011年10月至2012年1月,3个茶树品种叶片的 F_v/F_m 值不断下降,在最冷月(1月份)降到最低,品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片的 F_v/F_m 值分别为越冬前(10月份)的24.00%、18.18%和19.18%,差异极显著 ($P<0.01$);至2012年2月至3月,低温胁迫逐渐解除后, F_v/F_m 值逐渐提高,2012年3月品种‘舒茶早’和‘乌牛早’的 F_v/F_m 值分别达到0.75和0.71,接近正常水平,而品种‘平阳特早’的 F_v/F_m 值增至0.53,仅为正常水平的72.60%。结果表明:与另2个品种相比,自然越冬期品种‘舒茶早’的光系统PS II 活性受抑制程度低、

恢复快。

自然越冬期3个茶树品种叶片中总叶绿素含量的变化趋势也随时间推移均呈先下降后上升的趋势,品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片中总叶绿素含量均在2011年1月降至最低值,分别为1.15、1.08和1.59 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,分别为越冬前总叶绿素含量的41.07%、50.00%和59.11%,差异极显著。在2012年2月至3月,随温度回升,3个茶树品种叶片中总叶绿素含量也逐渐提高。总体上看,自然越冬期供试3个茶树品种叶片的总叶绿素含量差异不明显。

2.2 自然越冬期茶树抗寒性评价

根据自然越冬期(2011年10月至2012年3月)茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’9个生理指标的测定值,应用主成分分析结合隶属函数法对自然越冬期其抗寒性进行分析,3个茶树品种叶片的主成分得分值 $C(x)$ 、隶属函数值 $U(x)$ 和综合评价值 D 见表5。

主成分分析结果表明:第1主成分(X_1)为可溶性

表3 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)3个茶树品种叶片的抗氧化酶活性变化($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 3 Change in antioxidant enzyme activity in leaf of three cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze during natural overwintering period (from Oct. 2011 to Mar. 2012) ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

月份 Month	SOD 活性/U SOD activity	CAT 活性/U CAT activity	POD 活性/U POD activity
茶树品种‘舒茶早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Shuchazao’			
2011年10月 October, 2011	822.80±15.74cD	306.85±32.00bAB	1 641.70±49.48bB
2011年11月 November, 2011	903.02±61.33cD	349.60±3.72aA	1 911.25±48.04aA
2011年12月 December, 2011	1 257.81±97.06aA	258.53±7.47bcBC	969.80±43.68eE
2012年1月 January, 2012	1 254.11±62.89aAB	169.19±9.37dD	615.59±55.30fF
2012年2月 February, 2012	1 060.37±122.81bBC	248.10±10.35cC	1 061.03±31.83dD
2012年3月 March, 2012	872.34±34.60cD	340.52±33.43abA	1 169.63±7.18cC
茶树品种‘乌牛早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Wuniuzao’			
2011年10月 October, 2011	834.59±111.00cdC	291.44±18.69abAB	1 311.92±16.12bB
2011年11月 November, 2011	877.62±22.29cdBC	325.92±30.07aA	1 614.51±59.14aA
2011年12月 December, 2011	1 149.63±113.07abAB	300.67±21.28aAB	887.39±55.23cC
2012年1月 January, 2012	1 154.65±140.67aA	141.03±5.17dD	295.13±25.47eE
2012年2月 February, 2012	966.11±125.14bcABC	211.43±17.26cC	607.09±57.93dD
2012年3月 March, 2012	720.90±21.02dC	282.46±14.59bB	674.26±51.13dD
茶树品种‘平阳特早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Pingyangtezao’			
2011年10月 October, 2011	732.71±23.31cD	273.94±10.82bA	1 201.00±47.56bB
2011年11月 November, 2011	793.44±136.80cBC	306.55±11.72aA	1 516.57±27.39aA
2011年12月 December, 2011	1 183.28±100.94aA	224.22±13.37cB	784.83±1.62cC
2012年1月 January, 2012	1 150.52±45.72aA	83.91±9.55dC	378.96±22.32fF
2012年2月 February, 2012	929.46±120.48bAB	206.33±22.84cB	591.33±7.15eE
2012年3月 March, 2012	506.60±60.19dD	229.64±13.37cB	660.13±9.00dD

¹⁾ 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示同品种同一指标在不同月份间差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$)。Different small letters and capitals in the same column mean the significant ($P<0.05$) and the extremely significant ($P<0.01$) differences in the same index of the same cultivar among different months, respectively.

表4 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)3个茶树品种叶片的PS II原初光能转化效率(F_v/F_m)和总叶绿素含量的变化($\bar{X}\pm SD$)¹⁾Table 4 Changes in the maximum quantum efficiency of PS II (F_v/F_m) and total chlorophyll content in leaf of three cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze during natural overwintering period (from Oct. 2011 to Mar. 2012) ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

月份 Month	不同品种的 F_v/F_m F_v/F_m of different cultivars			不同品种的总叶绿素含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ Total chlorophyll content of different cultivars		
	SCZ	WNZ	PYTZ	SCZ	WNZ	PYTZ
2011年10月 October, 2011	0.75±0.03aA	0.77±0.03aA	0.73±0.03aA	2.80±0.09aA	2.16±0.04aA	2.69±0.05aA
2011年11月 November, 2011	0.75±0.03aA	0.74±0.02bAB	0.69±0.04bB	2.23±0.31abABC	2.03±0.27abAB	2.23±0.31aAB
2011年12月 December, 2011	0.33±0.05cC	0.26±0.04dD	0.21±0.05eE	1.89±0.25cC	1.26±0.20deCD	1.62±0.27cC
2012年1月 January, 2012	0.18±0.06dD	0.14±0.03eE	0.14±0.02fF	1.15±0.25cC	1.08±0.30eD	1.59±0.30cC
2012年2月 February, 2012	0.68±0.04bB	0.56±0.06cC	0.38±0.06dD	2.06±0.32bcBC	1.50±0.33cdCD	1.80±0.17bcBC
2012年3月 March, 2012	0.75±0.02aA	0.71±0.04bB	0.53±0.12cC	2.56±0.15aAB	1.68±0.16bcBC	2.23±0.33abABC

¹⁾ SCZ: 茶树品种‘舒茶早’ *Camellia sinensis* ‘Shuchazao’; WNZ: 茶树品种‘乌牛早’ *Camellia sinensis* ‘Wuniuzao’; PYTZ: 茶树品种‘平阳特早’ *Camellia sinensis* ‘Pingyangtezao’。同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$)。Different small letters and capitals in the same column mean the significant ($P<0.05$) and the extremely significant ($P<0.01$) differences, respectively.

糖含量、SOD 活性、CAT 活性、POD 活性、PS II 原初光能转化效率 (F_v/F_m) 和总叶绿素含量, 贡献率达到 57.97%, 权重值为 0.683; 第 2 主成分 (X_2) 为可溶性蛋白质含量、热稳定蛋白质含量和脯氨酸含量, 贡献率达到 26.89%, 权重值为 0.317。

综合评价价值 D 表示抗寒性大小, D 在 0 ~ 1 之间,

D 值越接近 1 表示抗寒性越强, 反之则抗寒性越弱。由表 5 可见: 茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’的 D 值均随时间推移呈先升高后降低的变化趋势, 在 2011 年 12 月达到最大, 分别为 0.954、0.829 和 0.868, 表明自然低温驯化对茶树抗寒性的提高及安全越冬有重要作用。根据 3 个茶树品种 12 月份的 D

表5 自然越冬期(2011年10月至2012年3月)3个茶树品种叶片的主成分得分值 $C(x)$ 、隶属函数值 $U(x)$ 和综合评价值 D
 Table 5 Principal component value $C(x)$, subordinate function value $U(x)$ and comprehensive evaluation value D of three cultivars of *Camellia sinensis* (Linn.) Kuntze during natural overwintering period (from Oct. 2011 to Mar. 2012)

品种 Cultivar	月份 Month	$C(x)$		$U(x)$		D
		X_{i1}	X_{i2}	U_{i1}	U_{i2}	
茶树品种‘舒茶早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Shuchazao’	2011年10月 October, 2011	-3.514	0.375	0.000	0.487	0.154
	2011年11月 November, 2011	-1.821	2.023	0.246	0.826	0.430
	2011年12月 December, 2011	2.910	2.872	0.933	1.000	0.954
	2012年1月 January, 2012	3.373	-0.505	1.000	0.306	0.780
	2012年2月 February, 2012	-0.188	-0.995	0.483	0.205	0.395
	2012年3月 March, 2012	-2.372	-0.427	0.166	0.322	0.215
茶树品种‘乌牛早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Wuniuzao’	2011年10月 October, 2011	-1.999	0.644	0.220	0.542	0.322
	2011年11月 November, 2011	-1.585	1.373	0.280	0.692	0.411
	2011年12月 December, 2011	2.244	1.964	0.836	0.813	0.829
	2012年1月 January, 2012	3.349	-1.143	0.997	0.175	0.736
	2012年2月 February, 2012	0.434	-1.972	0.573	0.005	0.393
	2012年3月 March, 2012	-1.729	-1.699	0.259	0.061	0.196
茶树品种‘平阳特早’ <i>Camellia sinensis</i> ‘Pingyangtezao’	2011年10月 October, 2011	-2.557	0.222	0.139	0.455	0.239
	2011年11月 November, 2011	-1.559	1.128	0.284	0.642	0.397
	2011年12月 December, 2011	2.734	1.821	0.907	0.784	0.868
	2012年1月 January, 2012	2.848	-1.995	0.924	0.000	0.631
	2012年2月 February, 2012	0.736	-1.875	0.617	0.025	0.429
	2012年3月 March, 2012	-1.303	-1.811	0.321	0.038	0.231

值可以初步判断品种‘舒茶早’的抗寒性最强、品种‘平阳特早’的抗寒性次之、品种‘乌牛早’的抗寒性最弱。

3 讨 论

植物细胞中渗透调节物质的类型和含量水平与植物抗寒性密切相关,具有提高细胞液浓度、增强细胞保水能力和维持细胞膜正常功能等作用^[16]。在自然越冬过程中,茶树品种‘舒茶早’、‘乌牛早’和‘平阳特早’叶片中渗透调节物质(包括可溶性糖、可溶性蛋白质、热稳定蛋白质和脯氨酸)含量的变化规律一致,均呈先升高后降低的单峰曲线,其中,可溶性糖、可溶性蛋白质和热稳定性蛋白质含量的峰值出现在12月份。在抗寒性较强的品种‘舒茶早’中,可溶性糖、可溶性蛋白质和热稳定性蛋白质含量水平及其增幅都远大于抗寒性较弱的品种‘乌牛早’,表明可溶性糖、可溶性蛋白质和热稳定蛋白质含量与茶树抗寒性关系密切,其含量的增加有利于茶树安全越冬,增强茶树的抗寒性。而3个品种的脯氨酸含量在3月份之前持续增加,与四翅滨藜 [*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.]^[17]和杏 (*Armeniaca vulgaris* Lam.)^[18]等植物一

致。3个茶树品种间脯氨酸含量水平及其增幅的差异不显著,说明其含量高低与抗寒性大小并无对应关系,这与亓白岩等^[19]的研究结果基本一致。

在逆境环境影响下植物体内保护性酶类与其他保护物质相互协调作用以清除自由基,保护植物免受自由基的毒害,其中,SOD、CAT和POD活性的变化具有酶系与物种间的差异。低温胁迫时,SOD活性会一定程度上升,SOD活性高低决定树种的抗寒性强弱^[20]。本研究中,3个茶树品种叶片的SOD活性在越冬过程中呈现先上升后下降的变化规律,与香蕉 (*Musa nana* Lour.)^[21]的SOD活性变化一致。在12月份SOD活性最高,茶树品种‘舒茶早’的SOD活性高于品种‘平阳特早’和‘乌牛早’,表明SOD活性与茶树抗寒性有较好的相关性。越冬过程中3个茶树品种叶片的CAT和POD活性呈先降后升的变化趋势,与杏和白兰花 (*Michelia alba* DC.)^[22]等植物的CAT和POD活性变化趋势一致,推测可能CAT和POD活性变化与茶树抗寒性关系不大。

在低温胁迫条件下植物利用光能的能力下降,其中PSⅡ原初光能转化效率(F_v/F_m)是植物发生光抑制的敏感指标^[23-24]。Mishra等^[24]利用叶绿素荧光技术对拟南芥 [*Arabidopsis thaliana* (Linn.) Heynh.]的抗

寒性进行了研究,认为 F_v/F_m 可作为评价植物抗寒力的有效指标,该方法在茶树抗寒性鉴定中也有应用^[4]。本研究中,自然越冬过程中3个茶树品种叶片的 F_v/F_m 值对气温变化敏感,均随时间推移呈先降后升的趋势,与气温的变化趋势基本一致。温度降低时,抗寒性强的品种‘舒茶早’的 F_v/F_m 值降幅低于品种‘平阳特早’和‘乌牛早’,温度回升时其 F_v/F_m 值提升速率较快,说明 F_v/F_m 值可作为茶树抗寒性评价的一个重要参考指标。叶绿素是植物光合作用过程中最重要的光合色素,其含量在一定程度上反映了植物光合作用的水平。在自然越冬过程中茶树叶绿素含量变化与 F_v/F_m 值相似,低温胁迫下其含量降低,但从最冷月茶树叶片中叶绿素含量水平及降幅来看,叶绿素含量变化与茶树抗寒性并没有较好的对应关系。

运用主成分分析和隶属函数法综合分析了自然越冬期茶树的抗寒性,3个茶树品种的抗寒性综合评价均随时间推移呈先升后降的变化趋势,与茶树部分生理指标及生长适应性的变化趋势相符,也与王连翠^[25]和杨华等^[26]的研究结果基本一致。说明采用这些生理指标可以对茶树抗寒性进行综合评价,也可用于茶树抗寒性的鉴定。

参考文献:

- [1] 骆颖颖,梁月荣. 茶树抗寒性的间接鉴定[J]. 茶叶科学技术, 1998(3): 1-7.
- [2] 朱政,蒋家月,江昌俊,等. 低温胁迫对茶树叶片SOD、可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(1): 24-26.
- [3] 罗军武,唐和平,黄意欢,等. 茶树不同抗寒性品种间保护酶类活性的差异[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2001, 27(2): 94-96.
- [4] 庞磊,周小生,李叶云,等. 应用叶绿素荧光法鉴定茶树品种抗寒性的研究[J]. 茶叶科学, 2011, 31(6): 521-524.
- [5] 程国山,游新才,武艳,等. 低温胁迫后抗寒茶树品种‘紫阳圆叶’的基因差异表达分析[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(4): 38-43.
- [6] 高爱农,姜淑荣,赵锡温,等. 苹果品种抗寒测定方法的研究[J]. 果树科学, 2000, 17(1): 17-21.
- [7] 史清华,高建社,王军,等. 5个杨树无性系抗寒性的测定与评价[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11): 1937-1941.
- [8] 赵红星,耿攀,杨勇. 39份柿属种质资源的抗寒性综合评价[J]. 西北农业学报, 2010, 19(12): 128-133.
- [9] 南丽丽,师尚礼,陈建纲,等. 不同根型苜蓿根系对低温胁迫的响应及其抗寒性评价[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 619-625.
- [10] 张文娥,王飞,潘学军. 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. 果树学报, 2007, 24(6): 849-853.
- [11] 杨亚军,郑雷英,王新超. 冷驯化和ABA对茶树抗寒力及其体内脯氨酸含量的影响[J]. 茶叶科学, 2004, 24(3): 177-182.
- [12] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [13] BLACKMAN S A, OBENDORF R L, LEOPOLD A C. Maturation proteins and sugars in desiccation tolerance of developing soybean seeds[J]. Plant Physiology, 1992, 100: 225-230.
- [14] XU S C, LI Y P, HU J, et al. Responses of antioxidant enzymes to chilling stress in tobacco seedlings[J]. Agricultural Sciences in China, 2010, 9: 1594-1601.
- [15] 张正竹. 茶叶生物化学实验教程[M]. 北京:中国农业出版社, 2009: 125-127.
- [16] 于晶. 寒地冬小麦东农冬麦1号抗寒机理研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学生命科学学院, 2009: 3.
- [17] 李小燕,丁丽萍. 自然越冬状态下四翅滨藜抗寒性生理指标的动态变化[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(5): 11-12.
- [18] 南丽丽,师尚礼,朱星强,等. 田间越冬期不同根型苜蓿根系的生理生化特性[J]. 核农学报, 2011, 25(2): 369-374.
- [19] 元白岩,周冬琴,於朝广,等. 8种含笑属植物的抗寒性研究[J]. 江苏农业科学, 2010(5): 258-263.
- [20] 王建华,刘鸿先,徐同. 超氧化物歧化酶(SOD)在植物逆境和衰老生理中的作用[J]. 植物生理学通讯, 1989(1): 1-7.
- [21] 周碧燕,陈杰忠,季作梁,等. 香蕉越冬期间SOD活性和可溶性蛋白质含量的变化[J]. 果树科学, 1999, 16(3): 192-196.
- [22] 余文琴. 白兰花的耐寒性及其越冬期保护酶活性的变化[J]. 福建农业大学学报, 2000, 29(4): 440-443.
- [23] FRACHEBOUD Y, HALDIMANN P, LEIPNER J, et al. Chlorophyll fluorescence as a selection tool for cold tolerance of photosynthesis in maize (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50: 1533-1540.
- [24] MISHRA A, MISHRA K B, HÖERMILLER I I, et al. Chlorophyll fluorescence emission as a reporter on cold tolerance in *Arabidopsis thaliana* accessions[J]. Plant Signaling and Behavior, 2011, 6: 301-310.
- [25] 王连翠. 临沂地区引进不同茶树品种的抗寒性研究[D]. 济南:山东师范大学生命科学学院, 2007: 42.
- [26] 杨华,唐茜,黄毅,等. 用电导法配合Logistic方程鉴定茶树的抗寒性[J]. 福建茶叶, 2006(3): 30-32.

(责任编辑:张明霞)