DOI: 10.5846/stxb201301150109
董瑜, 田昆,肖德荣,张昆,郭绪虎,李娟.区域气候变化对纳帕海湖滨植物生理生化特性的影响.生态学报,2014,34(19):5570-5578.
Dong Y, Tian K, Xiao D R, Zhang K, Guo X H, Li J.Impacts of regional climate condition variations on physiological and biochemical properties of aquatic plants in Napahai Wetland.Acta Ecologica Sinica,2014,34(19):5570-5578.

区域气候变化对纳帕海湖滨植物生理生化特性的影响

董 瑜[1], 田 昆[1,2,*],肖德荣[2],张 昆[2],郭绪虎[1],李 娟[3]
(1. 西南林业大学环境科学与工程学院,昆明 650224; 2. 国家高原湿地研究中心,昆明 650224;
3. 西南林业大学园林学院,昆明 650224)

摘要:高原湿地是我国重要的生态屏障,关乎流域生态安全。随着气候变暖和极端气候事件频发,探讨高原湿地植物对气候变化的生理生化响应及温度胁迫带来的伤害,对维系高原湿地生态系统的稳定,应对全球气候变化具有重要意义。以高原地区典型湿地纳帕海为研究对象,将适应了纳帕海湿地气候条件的 4 种优势植物连同生长基质组成的植物-土壤单元,移至不同区域气候条件的拉市海湿地和昆明滇池流域,分析气候变化影响下,4 种湿地植物原位异地后的丙二醛(MDA)、游离脯氨酸(Pro)、可溶性糖(SS)、过氧化物酶(POD)含量等反映植物受到逆境胁迫的生理生化指标变化。研究结果表明,湿地植物虽是隐域植物,但气候变化对其生长产生显著影响,不同湿地植物对气候变化的适应性不同,水葱(*Scirpus tabernaemontani*)和茭草(*Zizania caduciflora*)等广布种能够很好地适应气候变暖,两者生物量均随温度上升而增加,在拉市海的增长率分别高达 196%和 190%,在昆明分别增至 487%和 408%,MDA、Pro、POD 含量则随温度上升而下降,在拉市海的最高降幅分别为 16%和 24%、27%和 12%、14%和 58%,在昆明的最高降幅分别为 31%和 24%、52%和 25%、48%和 73%,气候的暖化更有利于其生长。刘氏荸荠(*Heleocharis liouana*)虽为广布种,尽管气候变化对其产生了胁迫,但能通过调节自身的代谢物质来抵御这种变化,反映了广布种对气候变化较强的适应性。小黑三棱(*Sparganium simplex*),对气候变化较为敏感,随温度的升高其生物量在拉市海的增长率达 17%,而在温度更高的昆明则减少了 20%,呈现先升高后下降的趋势,同时体内各相关抗逆指标也呈现先下降后上升的趋势,MDA 降至 0.001387 μmol/g,后迅速增至 0.002739 μmol/g、Pro 降至 13.386891 μg/g,后增至 18.172878 μg/g,温度升高到一定程度对其产生了不利影响。对于这样一种生态幅较窄的物种,随着气候条件的改变,其生存将面临极大的挑战,显示了高原湿地在全球变暖大背景下的脆弱性,以及高原湿地生态系统维系存在的潜在危机。

关键词:纳帕海;高原湿地;温度胁迫;生理生化特性;原位异地

Impacts of regional climate condition variations on physiological and biochemical properties of aquatic plants in Napahai Wetland

DONG Yu[1], TIAN Kun[1,2,*], Xiao Derong[2], ZHANG Kun[2], GUO Xuhu[1], LI Juan[3]
1 *College of Environment Science and Engineering*, *Southwest Forestry University*, *Kunming* 650224, *China*
2 *National Plateau Wetlands Research Center*, *Kunming* 650224, *China*
3 *College of Horticulture*, *Southwest Forestry University*, *Kunming* 650224, *China*

Abstract: Plateau wetland provides an ecological protection barrier for the safety of watershed. As appearance of global climate warming and climatic anomaly, to understand the physiological and biochemical response of aquatic plants in the plateau region to the climate change and the harms under the temperature stress is critical for maintaining the plateau ecosystem and dealing with the climate change. 4 dominant plant species of *Scirpus tabernaemontani*, *Zizania caduciflora* and *Heleocharis liouana*, *Sparganium simplex* with their original soils in the lakeside of Napahai, a typical wetland in

基金项目:国家自然科学基金(40971285, 41001332); 973 计划前期研究专项(2012CB426509); 云南省应用基础研究(2011FB069); 云南省科技创新人才计划(2012HC007)
收稿日期:2013-01-15; **网络出版日期**:2014-03-07
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: tlkunp@ swfu.edu.cn

plateau region of northwestern Yunnan were selected to study the impacts of regional climate condition variations on physiological and biochemical properties of those plants. Got with local climate conditions of Napahai in Shangrila those plants with their growing soils were removed as a soil-plant unit to Lashi Lake in Lijiang and Dianchi watershed in Kunming where the climate conditions are different. Comparing with original growing area, the variations of index of physiological and biochemical to indicate adversity stress, including MDA, Pro, SS and POD were analyzed under the impacts of climatic change. The results showed that even though wetland plant is azonal plant but affected significantly by the climate change and the response to the climate change was different from plants. Such widespread species as *Scirpus tabernaemontani* and *Zizania caduciflora* could well adapt to climate warming and grow better. With temperature rise, both of their biomass increased to 196% and 190% in Lashihai Lake and 487% and 408% in Dianchi watershed, respectively. But content of MDA, Pro, POD all fell from 16%, 27%, 14% in Lashi Lake to 31%, 52%, 48% in Dianchi watershed for *Scirpus tabernaemontani*, and 24%, 12%, 58% in Lashihai Lake to 24%, 25%, 73% in Dianchi watershed for *Zizania caduciflora*, respectively. In spite of the stress of climate change, *Heleocharis liouana*, another widespread species could resist the alterability through its own metabolic regulations, which reflected the strong climate adaptability of widespread species. By contrast, *Sparganium simplex*, a narrowly spread species sustained great damage for it was too sensitive to the climate change. With the temperature rise the biomass rising at beginning to 17% in Lashihai Lake, and then dropped to 20% in Dianchi watershed. MDA and Pro decreased at beginning to 0.001387 μmol/g and 13.386891 μg/g, and then increased to 0.002739 μmol/g and 18.172878 μg/g, respectively. For such a narrow distribution species, it would face the survival crisis along with the change of the climate conditions. That reflected the fragility of plateau wetland ecosystem and its importance under global warming. Thus, the potential ecological risk behind the maintaining of plateau wetland ecosystem was revealed.

Key Words: Napahai; plateau wetland; temperature stress; physiological and biochemical properties; ex-situ

随着国际社会对气候变化的广泛关注,气候变化对湿地生态系统的影响成为了国内外研究的热点[1-3]。有研究表明气候变化是导致高寒地区湿地生态系统退化的重要原因之一,也是引起环境变劣、生物多样性下降的重要因素[4]。高原湿地是我国重要的生态屏障,对维系流域生态安全有着重要作用[5],由于其地理位置的特殊性及对气候变化的高度敏感性[6],近年来引起了科学家们的高度关注。湿地植物作为湿地生态系统结构和功能的核心,在维持系统平衡、保护生物多样性方面有着特殊意义[7-10],同时作为隐域植物的湿地植物并不完全随气候带变化而呈现地带性分布的规律,只要条件合适都能生长,特别是广布种生长分布在大多数区域,但植物都有一定的适应性和适应范围,当气候条件改变之后会对湿地植物产生怎样的影响,湿地植物又如何从表观的形态学到调节自身的化学物质去响应这种变化,目前国内外还缺乏相关研究[11-12]。由于气候变化对生态系统的影响是一个长期、复杂的过程,需要时间尺度上的统计分析,目前关于气候变化对植物影响的研究大多是在单一因素变化下进行的,且主要集中在 CO_2、温度、水环境、光照的改变等人为控制实验条件下得出的结果[13-16],但自然湿地生态系统中,自然因素并不是一个恒值,因此本研究采用原位异地技术的研究方法,避开气候研究在时间尺度上的限制,重点研究在自然条件下,气候变化如何对湿地植物产生影响及植物对气候变化做出的调整及适应机制,为应对气候变化,保护高原湿地生态系统提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　实验材料和实验设计

湖滨带是驱动闭合型高原湿地生态系统物质循环和能量流动的关键区域,也是水陆交错系统中对气候变化最为敏感的部分[17]。研究选取滇西北纳帕海湿地湖滨带主要建群植物水葱(*Scirpus tabernaemontani*)、茭草(*Zizania caduciflora*)、刘氏荸荠(*Heleocharis liouana*)、小黑三棱(*Sparganium simplex*)为实验材料,其中,小黑三棱属于对气候变

化敏感的高山区域分布种,常见于云南海拔较高的冷凉地区;水葱、荸草、刘氏荸荠在云南不同区域均有生长,属于适应范围较宽的广布种[18],可反映不同湿地植物受气候变化的影响和响应的差异性。利用云南的立体地形,把这些已经适应了纳帕海气候条件的植物,连同其生长的原位土壤单元一起移至气候条件不同的区域,在保持生长环境,包括土壤、水质、水位等环境条件一致的基础上,分析湿地植物如何响应和适应这种变化,如何从生理上调整以应对气候变化。在供试植物生境实地调查基础上,于植物生长初期,在原生地纳帕海分别挖取植株丛数不低于 100 株的 4 种优势植物群落及其土壤单元(其中土壤厚约 50 cm),分别移栽至区域气候条件不同的丽江拉市海湖滨、昆明滇池流域,置于长 300 cm,宽 150 cm,深 100 cm 的实验池中,植物淹水深度以其原生环境为基准,同时,在生长地纳帕海湖滨建长 300 cm,宽 150 cm,深 100 cm,总长 1200 cm,总宽 450 cm 规格一致的实验池,移栽上述植物-土壤单元作为条件完全一致的对照,实现原位异地研究,每种植物设 3 个重复,以满足分析采样和统计分析要求。经过 1a 的适应期,以对照区纳帕海湿地植物的生长周期为标准,于植物生长初期的 5 月和生长后期的 9 月同时对三地的湿地植物采样(对每个样池内的植物均采用 4 个方位和中间混合取样法取平均值),统一编号后用密封袋装好放入保鲜箱中带回实验室进行游离脯氨酸(Pro)、可溶性糖(SS)、丙二醛(MDA)、过氧化物酶(POD)等生理生化指标的测定。同时,利用 3 个地点均安装的全天候气象自动记录仪(PORTLOG)同步观测记录温度、相对湿度、太阳辐射、降雨量等 4 项主要气象因子。

1.2 指标测定

将植物洗净擦干剪碎混匀后,测量其各自的生化指标。游离脯氨酸(Pro)含量的测定采用酸性茚三酮法,丙二醛(MDA)含量的测定采用巴比妥酸显色法[19]。可溶性糖(SS)含量的测量采用蒽酮法,过氧化物酶(POD)含量的测量采用愈创木酚比色法[20]。

1.3 数据分析

采用 Excel2003 及 SPSS13.0 进行数据分析。多重比较采用 LSD 法在 Sig = 0.05 显著水平下对不同数据间的差异进行检验比较。

2 结果与分析

2.1 3 个不同区域气候条件分析

滇西北位于对气候变化敏感的青藏高原东南缘的横断山腹地,近 50 年来,该区典型湿地纳帕海和拉市海的年均温分别为 5.5—7.5 ℃ 和 12.0—14.5 ℃,年均降雨量分别为 500—850 mm 和 700—1300 mm,滇中地区的昆明年均温在 14—17℃、年均降雨量在 600—1400 mm 之间波动,三地主要气象因子差异较大,在同一时期内表现出温度递增,气候明显变暖,降雨量递减,明显变干趋势(未发表资料)。研究地自动记录仪(PORTLOG)同步观测记录表明,2011 年至 2012 年实验期间,3 个不同区域的年平均温分别为 7.3 ℃、13.6 ℃和 16.7 ℃,年降雨量分别为 710 mm、1000 mm 和 869 mm,与 50 年来该区气候变化趋势一致,这种区域不同引起的气候因子差异为以空间代替时间的试验研究提供了条件。此外,3 个不同区域的气候季节差异也较大(表 1)。植物生长初期的 5 月,纳帕海、拉市海、昆明 3 个区域温度差异明显,但植物生长后期的 9 月差异相对较小。从降雨来看,3 个区域 5 月和 9 月的差异都较明显,但对于水生植物而言,由于三地均保持相同水位,因此降雨量不是主要影响因子。由降水引起的相对湿度的变化,可能对植物产生影响,但试验期间,纳帕海、拉市海、昆明三地的相对湿度差异不大。太阳辐射是引起温度变化的主要因子,许多研究表明,太阳辐射过强会引起植物的抗逆性变化[21]。在植物生长初期的 5 月,纳帕海、拉市海、昆明地区的太阳辐射分别为 240.74 W/m^2、223.36 W/m^2、193.94 W/m^2,在植物生长后期的 9 月,分别为 149.61 W/m^2、121.43 W/m^2、80.55 W/m^2,纳帕海地区太阳辐射最强,但温度反而最低,而太阳辐射较弱的昆明地区温度却最高,呈现出与温度变化显著的负线性相关关系,显著度分别达-0.957 和-0.973,这与研究区地处低纬高原及其立体地形有关,由于受到海拔的影响,太阳辐射增强并不引起温度升高,可以认为太阳辐射强度并不是主要影响因素。上述结果表明,在研究区,影响植物生长的气候因子主要是温度,因此,本实验将差异最为明显,且在植物生长过程中起主导作用的温度变化作为主要气候因子予以研究。

表 1　3 个研究地的气候特征

Table 1　The climate characteristics of three study regions

地点 Regions of study	5 月 May				9 月 September			
	月平均气温 Monthly mean temperature/℃	月平均降水 Monthly mean rainfall/mm	相对湿度 Relative humidity/%	太阳辐射强度 Solr radiation intensity /(W/m^2)	月平均气温 Monthly mean temperature/℃	月平均降水 Monthly mean rainfall/mm	相对湿度 Relative humidity/%	太阳辐射强度 Solr radiation intensity /(W/m^2)
纳帕海	9.8	0.001587	56.58	240.74	11.7	0.156854	76.54	149.61
拉市海	17.4	0.001217	43.31	223.36	15.6	0.115072	78.70	121.43
昆明	21.9	0.071528	53.60	193.94	18.1	0.208333	75.46	80.55

2.2　区域气候变化对湿地植物主要抗逆指标的影响

2.2.1　区域气候变化对湿地植物丙二醛(MDA)含量的影响

植物体内 MDA 的急剧升高是植物受到伤害的生理反应[22],随着气候条件的变化,4 种湿地植物的 MDA 含量变化差异明显(图 1)。在生长初期的 5 月,与对照纳帕海相比,移至拉市海和昆明的水葱 MDA 含量分别下降了 10%和 31%;而在生长后期的 9 月则分别下降了 16%和 19%。同样,荸荠在 5 月份分别下降了 29%和 21%;9 月则分别下降了 20%和 16%。茭草在 5 月份分别下降了 24%和 24%;9 月则分别下降了 3%和 20%,均表现出随温度升高 MDA 含量下降的规律性。小黑三棱与此不同,生长初期的 5 月,移至拉市海后其 MDA 含量较对照下降了 12%,移至昆明后反而上升了 74%;在生长后期的 9 月,移至拉市海后上升了 30%,移至昆明后上升了 107%。结合生物量分析,水葱、茭草和荸荠的生物量均随温度升高而增加(表 2),温度升高对广布种似乎是有利的,是否与日照或太阳辐射强度有关有待于进一步研究,但小黑三棱的反应却不同,在温度升高的环境中植物体内的 MDA 含量急剧上升,植物出现衰亡现象,生物量逐渐减少(表 2),受到伤害较大,甚至死亡,反映出小黑三棱对气候变暖的不适应性。

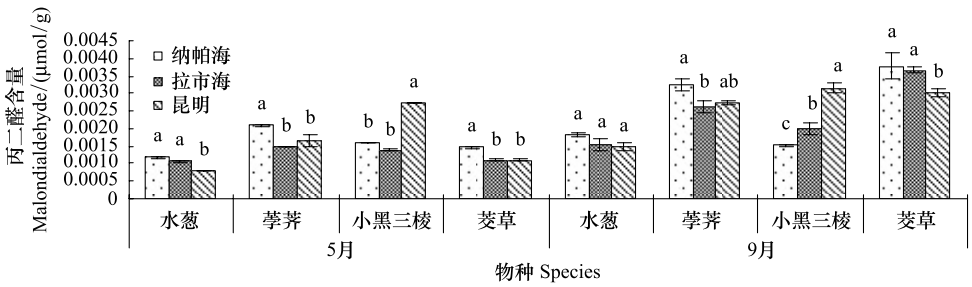

图 1　4 种湿地植物在 3 种气候条件下 MDA 含量的变化特征(平均值±标准误差)

Fig.1　The changes of MDA content of four plant species under three different climate conditions (mean±SE)

不同地点同种植物间标有不同英文字母,表明两者间差异显著(P<0.05);ST,水葱(*Scirpus tabernaemontani*);HL,荸荠(*Heleocharis liouana*);RSY,小黑三棱(*Sparganium simplex*);ZC,茭草(*Zizania caduciflora*)

表 2　4 种植物在 3 种气候条件下生物量的变化特征(平均值±标准误差)(g/m^2)

Table 2　Characteristics of biomass variation of four plant species under three climate conditions (mean±SE)

地点 Regions of study	5 月 May				9 月 September			
	ST	HL	RSY	ZC	ST	HL	RSY	ZC
纳帕海	136.1±10.4 c	40.3±0.6 c	77.5±6.4 a	266.8±12.2c	1122.6±11.9 c	183.4±10.2 b	253.4±8.4a	984.0±10.9c
拉市海	396.5±13.3 b	109.9±11.9 ab	91.7±6.1 a	775.9±11.9b	1683.1±10.7 b	201.7±9.1 ab	250.5±15.5 ab	1484.6±13.7 b
昆明	784.1±10.4 a	136.2±9.5a	76.6±6.5 a	1362.5±11.6 a	2000.9±11.5 a	232.7±13.3 a	204.0±8.4c	1786.3±13.3 a

不同地点同种植物间标有不同英文字母,表明两者间差异显著(P<0.05);ST:水葱(*Scirpus tabernaemontani*);HL:荸荠(*Heleocharis liouana*);RSY:小黑三棱(*Sparganium simplex*);ZC:茭草(*Zizania caduciflora*)

2.2.2 区域气候变化对湿地植物脯氨酸(Pro)含量的影响

植物 Pro 的积累是逆境引起的伤害反应[23],4 种湿地植物生长期的 Pro 含量变化表现出不同的特点(图 2),生长初期,4 种植物在三地的 Pro 含量差异较显著,生长后期的 Pro 含量差异不显著,即便是广布种,对温度变化的反应也不一样。5 月,与对照相比,移至拉市海和昆明后,水葱、茭草 Pro 含量均下降,且下降的幅度与增温呈正相关关系,没有随温度上升出现伤害反应;荸荠的 Pro 含量移到拉市海和昆明都积累上升,且两地之间差异不显著;小黑三棱移至拉市海后 Pro 下降,但移至昆明则上升,温度过高和过低都对其产生胁迫,特别是高温对其胁迫更为严重。9 月,水葱、茭草的 Pro 含量变化与 5 月趋势一致,荸荠的 Pro 却在拉市海升高,在昆明下降,但 3 个地点差异不显著;小黑三棱移至拉市海后 Pro 下降,在昆明则升高,与荸荠一样,均随温度变化而受到伤害。由于太阳辐射呈现出与温度升高的负相关关系,太阳辐射强度是否产生影响仍需深入研究。但这一结果表明了不同物种对温度变化或温度胁迫的反应程度不同,另一方面,也反映了小黑三棱一类的湿地隐域植物具有较狭窄的温度适应范围。

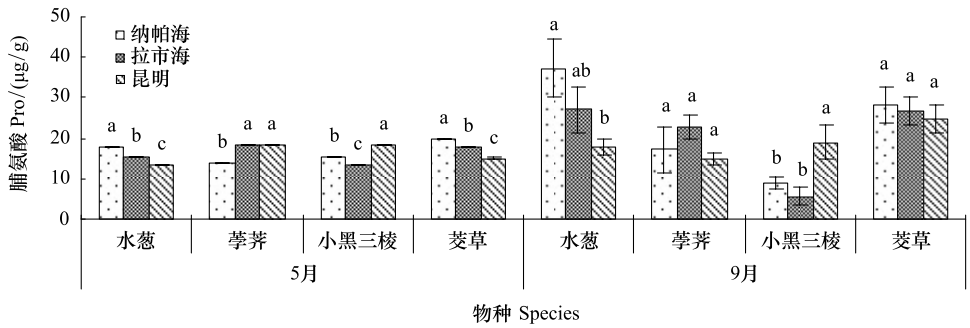

图 2 4 种湿地植物在 3 种气候条件下 Pro 含量的变化特征(平均值±标准误差)

Fig.2 Characteristics of Pro variation of four plant species under three climate conditions (mean±SE)

2.2.3 区域气候变化对湿地植物可溶性糖(SS)含量的影响

SS 是植物受到胁迫后所表现出来的重要生理生化指标[24],环境压力下,植物会过度积累可溶性糖,并且与温度的变化呈显著相关性[25]。由图 3 可知,4 种湿地植物从生长初期的 5 月到生长后期的 9 月,表达环境胁迫的 SS 含量均随温度的升高而下降。在生长初期的 5 月,与对照相比,移至拉市海和昆明后的水葱 SS 含量分别下降了 55%和 69%。小黑三棱分别下降了 49%和 68%。茭草分别下降了 11%和 72%。荸荠分别下降了 1%和 63%。生长后期 9 月,水葱 SS 含量分别下降了 48%和 79%。小黑三棱分别下降了 78%和 94%。茭草分别下降了 46%和 52%。荸荠分别下降了 72%和 72%。SS 含量积累表现出与温度升高的负相关关系,一方面说明 SS 含量对低温胁迫更为敏感,较低温度条件下,植物能产生较多的 SS 来降低低温的伤害,另一方面表明,SS 含量的变化不能作为温度升高的敏感指标。

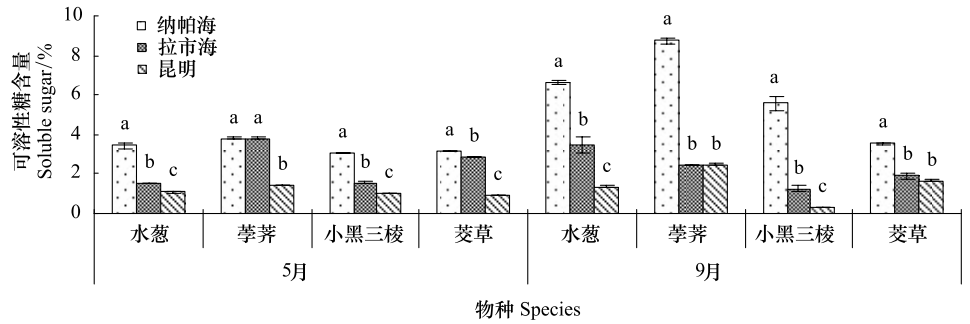

图 3 4 种湿地植物在 3 种气候条件下 SS 的变化特征(平均值±标准误差)

Fig.3 Characteristics of SS variation of four plant species under three climate conditions (mean±SE)

2.2.4　区域气候变化对湿地植物过氧化物酶(POD)含量的影响

POD 是植物在受到伤害时产生的一种保护性酶,具有清除植物体内过多活性氧的作用[26],本试验中,植物的 POD 与温度变化具有较强的线性关系,与相对湿度和太阳辐射变化的线性关系不明显。同其它生理指标一样,4 种湿地植物中水葱和茭草的 POD 含量均随温度的下降而下降(图 4)。与对照相比,生长初期的 5 月,移至拉市海和昆明的水葱 POD 分别下降了 14% 和 42%,茭草分别下降了 58% 和 73%,表现出广布种对于温度上升有较好的适应性,但荸荠移至拉市海的下降幅度(52%)大于移至昆明后的下降幅度(38%),表现出随温度上升 POD 增高的现象,小黑三棱差异不大,分别下降了 32% 和 33%。9 月份的 POD 变化趋势与 5 月份类似,但 4 种湿地植物的 POD 含量都大幅减少,且同种植物不同地点之间 POD 含量的差异显著性也大大降低,表明植物在生长后期的自身调节能力减弱。

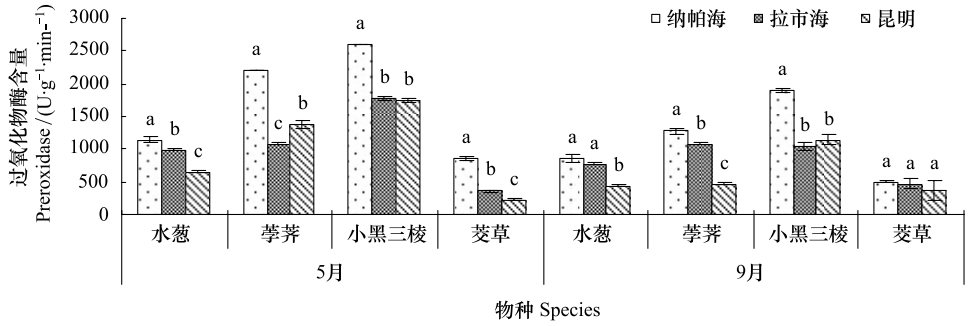

图 4　4 种湿地植物在 3 种气候条件下 POD 酶的变化特征(平均值±标准误差)

Fig.4　Characteristics of POD variation of four plant species under three climate conditions (mean±SE)

3　讨论

MDA 是膜脂过氧化产物,MDA 含量的高低反应了逆境条件下生物膜被破坏的程度[27-28]。环境胁迫下湿地植物体内生物化学物质含量下降的规律性与陆生植物相同。水葱和茭草 MDA 含量均随温度升高而下降,膜破坏程度降低,更有利于它们的生长,小黑三棱则随着温度升高 MDA 含量显著上升,反映了温度上升对其生物膜的破坏,与其在昆明地区生长状况较差且出现死亡的情况相吻合。

Pro 是细胞中的渗透调节物质,具有保护生物大分子、维持膜结构等作用[29]。随着移至拉市海和昆明后温度的升高,水葱和茭草的 Pro 含量随之下降,荸荠虽同为广布种,却随温度升高积累了较多的 Pro 含量,受到升温胁迫,小黑三棱随温度升高积累更多的 Pro,受到的伤害更为严重。

SS 作为植物体内重要的渗透调节物质,在低温条件下可通过在体内的积累以抵御低温胁迫[30-31],POD 则是植物膜脂过氧化过程中关键性保护酶,这一功能酶的升高被认为是植物受到胁迫诱导产生抗逆作用的结果[32-34]。本研究中,无论是广布种还是高山区域分布种的 SS 及 POD 含量均随温度升高而下降,但荸荠和小黑三棱,尤其是小黑三棱,随温度升高的 SS 及 POD 含量降幅变化大于水葱和茭草,表明其对温度升高的胁迫较为敏感,随着温度的升高,自身保护系统的防御降低,受到的损伤也较大。这些结果进一步表明,不同植物对相同气候条件做出的响应是不一样的,不同的气候条件对不同的植物产生影响的大小也不相同。

植物经过长期的生存斗争进化产生一系列抵御不良环境的机制,即植物的逆境适应性[35]。分析对照区纳帕海湿地气候条件下 4 种植物的抗逆能力,发现广布种水葱、茭草及荸荠均积累了较高的 MDA、Pro、SS 和 POD 来适应其低温胁迫,小黑三棱甚至能够产生更高的 POD 保护酶,这与旱生作物在低温环境压力下产生和过度积累 Pro、SS 等物质,以防止细胞脱水,促进植物生长[36]的现象一致。这是湿地植物对高原气候条件产生的一种适应策略,它们都能通过调节自身生化物质含量来适应较为冷湿的环境,这可能是高原湿地植物广布种、高山区域分布种能同时成为优势种群,保持竞争关系的原因。

植物在生长过程中经常会受到不良环境条件的影响,导致植物产生渗透胁迫[37-38],影响植物的生长和发育,严重的会导致植物死亡。原位异地的实验

研究表明,把适应了纳帕海高原湿地气候条件的植物移至不同区域,气候条件的改变使湿地植物受到了胁迫,温度是影响高原湿地植物生长的主要气候因子,但温度升高,即使是急剧升高,对广布种的生长似乎无明显伤害作用。广布种能通过调节自身的生理生化反应策略来适应温度变化,或减弱不利环境的影响,表现出随温度升高植物体内生物化学物质含量下降、生物量增加的规律性。

广布种虽有较强的适应能力,但气候变化同样对其生长产生影响,不同物种对温度变化的反应程度不同。供试植物中,广布种水葱和茭草具有较荸荠更宽的适应范围,随着温度的升高,其生长更为茂盛,生物量大量积累;荸荠受温度升高的影响,生长虽然受到一定阻碍,但能通过调节自身的生理生化反应更好地应对逆境变化。高山区域分布的小黑三棱对温度升高最为敏感,随温度升高体内生物化学物质含量急剧上升、植物衰亡、生物量下降,表现出了随温度升高,生理上受到的伤害,且一旦受到伤害,很难通过调节自身生化物质来适应这种变化,其应对气候变化的能力较弱,温度适应范围较窄。认识这种适应机制的差异性对维护区域生态安全,应对全球气候变化具有重要理论意义。

4 结论

在全球环境变化的大背景下,世界许多国家已经认识到湿地与气候变化的关系,但对于湿地生态系统与气候变化相互作用机理研究不够深入[39]。高原湿地对气候变化极为敏感,湿地植物是高原湿地生态系统功能发挥的核心和基础,虽然是隐域植物,但气候变化特别是温度的上升对纳帕海湿地植物的影响是非常显著的,不同的物种对气候变化的适应能力不同,分布范围较窄的湿地植物对于气候变化最为敏感,这在区域湿地生态系统中具有特别重要的意义。从植物生长周期来看,植物生长初期对气候变化的反应较为灵敏,生长末期对气候变化的反应不强烈,而温度的升高促进了植物的衰老。

随着气候的暖化,极端天气的频繁出现,分布范围较窄的湿地植物将面临严峻的生存挑战,许多高山区域分布的植物将受到伤害而退出系统,而广布种虽有较强的适应能力,但气候变化同样对其生长产生影响,这对高原湿地区物种的多样性、植物的分布格局和生态系统的稳定都将造成不利影响,使高原湿地生态系统功能受损,呈现了高原湿地生态系统的脆弱性。因此,在全球变暖的今天,如何保护高原湿地植物的多样性已迫在眉睫。

References:

[1] Erwin K L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. Wetlands Ecology and Management, 2009, 17(1): 71-84.

[2] Christiaan B, Marcel E V. Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long distance migrant bird. Nature, 2001, 411(6835): 296-298.

[3] Fu B J, Li S G, Yu X B, Yang P, Yu G R, Feng R G, Zhuang X L. Chinese ecosystem research network: Progress and perspectives. Ecological Complexity, 2010, 7(2): 225-233.

[4] Li Z Z, Han X Z, Li W L, Du G Z. Conservation of species diversity and strategies of ecological restoration in alpine wetland plant community. Acta Botanica Boreal-Occidentalla Sinica, 2003, 24(3): 364-369.

[5] Li N Y, Yuan H, Tian K, Peng T. Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7388-7396.

[6] Wang J L, Ouyang H, Wang Z H, Chang T J, Li P, Shen Z X, Zhong Z M. Influential factors and distribution characteristics of topsoil labile organic carbon in alpine grassland ecosystem at the south slope of Gongga south mountain-Laguigangri Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3501-3508.

[7] Tilman D, Knops J, Wedin D, Reich P, Ritchie M, Siemann E. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. Science, 1997, 277(5330): 1300-1302.

[8] Grime J F. Biodiversity and ecosystem function: the debate deepens. Science, 1997, 277(5330): 1260-1261.

[9] Xiao D R, Tian K, Zhang L Q. Relationship between plant diversity and soil fertility in Napahai wetland of Northwestern Yunnan Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(7): 3116-3124.

[10] Xiao D R, Tian K, Yuan H, Yang Y M, Li N Y, Xu S G. The distribution patterns and changes of aquatic plant communities in Napahai Wetland in northwestern Yunnan Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3624-3630.

[11] Duan X H, Sun L H, Guo X H, Wang H N, Zu Y G. Morphological difference of *Arabidopsis thaliana* ethylene mutants affected by drought Stress. Bulletin of Botanical Research, 2009, 29(1): 39-42.

[12] Zhang L H, Zhou G, Sun B T, Li X H, Wang S S, Shan W. Physiological and biochemical effects of high temperature stress on the seedlings of two *Rhododendron* species of subgenus

Hymenanthes. Plant Science Journal, 2011, 29(3): 362-369.

[13] Wu J G. Effects of changing in precipitation and temperature on the photosynthesis and related physiological parameters of straw-yellow gentian. Chinese Journal of Grassland, 2010, 32(5): 73-79.

[14] Zhang L R, Niu H S, Wang S P, Li Y N, Zhao X Q. Effects of temperature increase and grazing on stomatal density and length of four alpine *Kobresia* meadow species, Qinghai-Tibetan plateau. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6961-6969.

[15] Álvarez S, Navarro A, Bañón S, Sánchez-Blanco M J. Regulated deficit irrigation in potted *Dianthus* plants: Effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. Scientia Horticulturae, 2009, 122(4): 579-585.

[16] Zhao H C, Zhao H, Wang J B, Wang B C, Wang Y N. Stress stimulation induced resistance of plant. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2005, 43(3/4): 174-178.

[17] Lin P, Tian K, Yang Y M. Illustrated Handbook of Common Aquatic Plants in Lakeside of Yunnan Plateau Wetland. Beijing: Science Press, 2009: 12-12.

[18] Guo X H, Xiao D R, Tian K, Yu H Z. Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1425-1432.

[19] Chang F C, Lu C M, Sha S. The Plants Biology Experiment. Nanjing: Nanjing Normal University Press, 2008: 126-156.

[20] Liu P, Li M J. Plant Physiology Experiment Technology. Beijing: Science Press, 2007: 86-87.

[21] Zhao F G, He L F, Luo Q Y. Plant Physiology and Ecology on Stress. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 56-59.

[22] Zhou X, Li L, Shan S H, Liu D W, Zhou H, Liu Y. Effect of abrupt droughts-floods on physiology and biochemistry of different peanut varieties. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34(1): 56-61.

[23] Gao L H, Yi J, Li F, Lei X F, Ma J. The physiological response to low temperature stress of three gramineous pastures. Chinese Journal of Grassland, 2011, 33(3): 107-111.

[24] da Silva E C, Nogueira R J M C, de Araújo F P, de Melo N F, de Azevedo Neto A D. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. Environmental and Experimental Botany, 2008, 63(1/3): 147-157.

[25] Smirnoff N. Plant resistance to environmental stress. Current Opinion in Biotechnology, 1998, 9(2): 214-219.

[26] Chen Y L, Pei H D, Shi Y T, Chen B D, Wang D. Effect of temperature and salt stress on seed germination and seedling growth of oil-sunflower. Chinese Journal of Oil crop Sciences, 2011, 33(4): 374-378.

[27] Ying Y Q, Wei J F, Xie N N, Jiang Q, Fang W. Effects of natural low temperature stress on physiological and biochemical properties of *Phyllostachys edulis*. Journal Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2011, 35(3): 133-136.

[28] Wang Y X, Sun G R, Wang J B, Cao W Z, Liang J S, Yu Z Z, Lu Z H. Relationships among MDA content, chlorophyll fluorescence parameters of stress plasma membrane permeability and the *Puccinellia tenuiflora* seedlings under NaCL stree. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(1): 122-129.

[29] Joseph B, Jini D, Sujatha S. Biological and physiological perspectives of specificity in abiotic salt stress response from various rice plants. Asian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 2(3): 99-105.

[30] Gu D X, Guo Z W, Li Y C, Yang Q P, Ke X, Zhuang M H, Li Y, Chen S L. Seasonal variations in salt to lerance of *Oligostachyum lubricum*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(10): 2932-2939.

[31] Wang N, Wu J, Xia P Y, Su J L. Physiological responses of *Ilex latifolia* to low temperature and its cold tolerance. Journal of South China Agricultural University, 2011, 32(3): 82-86.

[32] Liu F, Mao S C, Han Y C, Li Y B, Fan Z Y, Wang G P, Zhu Q L, Feng L, Dong C W. Responses of physiological and biochemical indices of seedling transplanted cotton to different temperature treatments in recovering stage. Cotton Science, 2011, 23(1): 341-346.

[33] Dinakar C, Djilianov D, Bartels D. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. Plant Science, 2012, 182: 29-41.

[34] Sun X, Wen T. Physiological roles of plastid terminal oxidase in plant stress responses. Indian Academy of Sciences, 2011, 36(5): 951-956.

[35] Lü J G, Zhan D D, Wang Z P, Zhang Z J. Study on the correlation among wheat delayed ultraweak bioluminescence physiology ecology change under the stress of acid rain. Acta Chimica Sinica, 2003, 61(5): 760-764.

[36] Zhang B Q, Yang L T, Li Y R. Comparison of physiological and biochemical characteristics related to cold resistance in sugarcane under field conditions. Acta Agronomica Sinica, 2011, 27(3): 496-505.

[37] Yan C, Chen H Y, Fan T Y, Huang Y F, Yu S W, Chen S Y, Hong X F. Rice flag leaf physiology, organ and canopy temperature in response to water stress. Plant Production Science, 2012, 15(2): 92-99.

[38] Anjum S A, Xie X Y, Wang L C, Muhammad F S, Chen M, Wang L. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(9): 2026-2032.

[39] Wang Y P, Zhao H Y, Li C, Song W S. The review of the relationship with climate change and Hulun Lake Wetland. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(8): 300-305.

参考文献:

[4] 李自珍, 韩晓卓, 李文龙, 杜国祯. 高寒湿地植物群落的物种

多样性保护及生态恢复对策. 西北植物学报, 2003, 24(3): 364-369.

[5] 李宁云, 袁华, 田昆, 彭涛. 滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响. 生态学报, 2011, 31(24): 7388-7396.

[6] 王建林, 欧阳华, 王忠红, 常天军, 李鹏, 沈振西, 钟志明. 高寒草原生态系统表层土壤活性有机碳分布特征及其影响因素——以贡嘎南山-拉轨岗日山为例. 生态学报, 2009, 29(7): 3501-3508.

[9] 肖德荣, 田昆, 张利权. 滇西北高原纳帕海湿地植物多样性与土壤肥力的关系. 生态学报, 2008, 28(7): 3116-3124.

[10] 肖德荣, 田昆, 袁华, 杨宇明, 李宁云, 徐守国. 高原湿地纳帕海水生植物群落分布格局及变化. 生态学报, 2006, 26(11): 3624-3630.

[11] 段喜华, 孙莲慧, 郭晓瑞, 王化楠, 祖元刚. 拟南芥乙烯突变体在干旱胁迫下的形态学差异. 植物研究, 2009, 29(1): 39-42.

[12] 张乐华, 周广, 孙宝腾, 李晓花, 王书胜, 单文. 高温胁迫对两种常绿杜鹃亚属植物幼苗生理生化特性的影响. 植物科学学报, 2011, 29(3): 362-369.

[13] 吴建国. 降雨量和温度变化对麻花艽叶片光合作用及相关生理参数的影响. 中国草地学报, 2010, 32(5): 73-79.

[14] 张立荣, 牛海山, 汪诗平, 李英年, 赵新全. 增温与放牧对矮嵩草草甸4种植物气孔密度和气孔长度的影响. 生态学报, 2010, 30(24): 6961-6969.

[17] 林萍, 田昆, 杨宇明. 云南高原湖滨常见湿地植物图鉴. 科学出版社, 2009: 12-12.

[18] 郭绪虎, 肖德荣, 田昆, 余红忠. 滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解. 生态学报, 2013, 33(5): 1425-1432.

[19] 常福辰, 陆长梅, 沙莎. 植物生物学实验. 南京: 南京师范大学出版社, 2008: 126-156.

[20] 刘萍, 李明军. 植物生理学实验技术. 北京: 科学出版社, 2007: 86-87.

[21] 赵福庚, 何龙飞, 罗庆云. 植物逆境生理生态学. 北京: 化学工业出版社, 2004: 56-59.

[22] 周西, 李林, 单世华, 刘登望, 周浩, 刘宇. 旱涝急转对不同花生品种生理生化指标的影响. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 56-61.

[23] 高丽慧, 易津, 李菲, 雷雪峰, 马杰. 三种禾本科牧草低温胁迫的生理响应. 中国草地学报, 2011, 33(3): 107-111.

[26] 陈玉梁, 裴怀弟, 石有太, 陈炳东, 王蒂. 温度和盐胁迫对油葵种子萌发及幼苗生长的影响. 中国油料作物学报, 2011, 33(4): 374-378.

[27] 应叶青, 魏建芬, 解楠楠, 姜琴, 方伟. 自然低温胁迫对毛竹生理生化特性的影响. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2011, 35(3): 133-136.

[28] 汪月霞, 孙国荣, 王建波, 曹文钟, 梁建生, 余政哲, 陆兆华. NaCl 胁迫下星星草幼苗 MDA 含量与膜透性及叶绿素荧光参数之间的关系. 生态学报, 2006, 26(1): 122-129.

[30] 顾大形, 郭子武, 李迎春, 杨清平, 可晓, 庄明浩, 李应, 陈双林. 四季竹耐盐能力的季节性差异. 生态学报, 2011, 31(10): 2932-2939.

[31] 王宁, 吴军, 夏鹏云, 苏金乐. 大叶冬青对低温胁迫的生理响应及抗寒性分析. 华南农业大学学报, 2011, 32(3): 82-86.

[32] 刘芳, 毛树春, 韩迎春, 李亚兵, 范正义, 王国平, 朱巧玲, 冯璐, 董春旺. 不同增温处理对基质育苗移栽棉缓苗期部分生理生化指标的影响. 棉花学报, 2011, 23(1): 341-346

[35] 吕家根, 占达东, 王周平, 章竹君. 酸雨胁迫下小麦微弱延迟发光及其生理、生态变化相关性研究. 化学学报, 2003, 61(5): 760-764.

[36] 张保青, 杨丽涛, 李杨瑞. 自然条件下甘蔗品种抗寒生理生化特性的比较. 作物学报, 2011, 37(3): 496-505.

[39] 王彦平, 赵慧颖, 李狆, 宋卫士. 呼伦湖湿地与气候变化关系研究综述. 中国农学通报, 2012, 28(8): 300-305.