

段瑞军,吴朝波,王军,等.海水对冰菜生长、营养品质影响及叶片多胺物质耐盐响应[J].江西农业大学学报,2019,41(5):881-889.



# 海水对冰菜生长、营养品质影响及 叶片多胺物质耐盐响应

段瑞军<sup>1</sup>,吴朝波<sup>1,2</sup>,王 军<sup>1</sup>,黄圣卓<sup>1</sup>,梅文莉<sup>1</sup>,戴好富<sup>1\*</sup>

(1.中国热带农业科学院 热带生物技术研究所,海南 海口 571101;2.海南正和职业培训学校,海南 海口 571101)

**摘要:**为探究不同海水对冰菜生长、营养品质的影响及多胺对海水的响应,通过盆栽试验,研究了在海水浓度(20%,30%,40%,50%,60%)处理下,冰菜生长、营养品质及多胺含量的变化情况。结果表明:当海水浓度 $\leq 30\%$ 时,海水对冰菜株高、根长、叶片数、叶面积及生物量影响较轻,当海水浓度 $\geq 40\%$ 时,各生长指标开始受到不同程度的抑制;冰菜营养种类和含量丰富,当海水浓度 $\leq 40\%$ 时,冰菜各项营养指标影响较小,其中总黄酮含量 $> 0.05$  mg/g, EAA含量 $> 8.22$  mg/g;多胺在海水胁迫表现为随海水浓度的增加亚精胺、精胺含量明显增加,腐胺含量减少,能够对海水胁迫作出积极响应。冰菜中营养成分丰富,当海水浓度 $\leq 30\%$ 时,可以保障冰菜产量与营养品质;多胺是提高冰菜耐盐性的重要生理指标。

**关键词:**冰菜;海水胁迫;营养;多胺

中图分类号:S636;Q945.78 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2019)05-0881-09

## Effect of Seawater on Growth and Nutrient Quality of *Mesembryanthemum crystallinum* L. and Salt Tolerance Response of Polyamines in Leaves

DUAN Rui-jun<sup>1</sup>, WU Chao-bo<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, HUANG Sheng-zhuo<sup>1</sup>,  
MEI Wen-li<sup>1</sup>, DAI Hao-fu<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, China Academy of Tropical Agricultural Science, Haikou 571101, China; 2. Hainan Zheng He vocational training school, Haikou 571101, China)

**Abstract:** The effect of seawater on the growth and nutrient quality of *M. crystallinum* L. and the response

收稿日期:2019-05-17 修回日期:2019-09-02

**基金项目:**海南省自然科学基金项目(318MS094)、农业农村部财政专项(NFZX2018)、热带特色高效农业产业专项资金(第一批)(琼财农[2017]1478)、中国热带农业科学院基本科研业务费—南药产业技术创新团队项目(17-CXTD-15)和现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-21)

Project supported by the Hainan Provincial Natural Science Foundation of China(318MS094), Special Financial Fund of the Ministry of Agriculture and Rural Area (NFZX2018), Special Funds for High Efficiency Agricultural Industry with Tropical Characteristic (First batch) (Hainan Provincial Finance Department and Agriculture Department[2017]1478), Fundamental Research Operational Fees of the Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences—Southern Medicinal Plants Industry Technology Innovation Team Project (17-CXTD-15), the Earmarked Fund for Modern Agro-industry Technology Research System(CARS-21)

**作者简介:**段瑞军(1978—),男,副研究员,博士,主要从事岛礁农业研究, orcid.org/0000-0003-1699-3222, lshj76@163.com; \*通信作者:戴好富,研究员, orcid.org/0000-0002-5757-6591, daihaofu@itbb.org.cn。

of polyamines in its leaves to seawater was explored by pot experiment. The changes in the growth, nutrient quality of and polyamine contents of *M. crystallinum* L. were inquired by various concentrations of seawater (20%, 30%, 40%, 50%, 60%). The results showed that, when the concentration of seawater  $\leq 30\%$ , the effects on height, root length, number of leaves, leaf area and biomass of *M. crystallinum* L. were relatively slight. When the concentration of seawater amounted to 40%, the growth indexes were inhibited with various degrees, while the nutritional species and contents were abundant. When the concentration of seawater was less than 40%, the nutritional indexes were slightly influenced, the contents of total flavonoids were  $>0.05$  mg/g, the contents of EAA were  $>8.22$  mg/g. With the increase of seawater concentration, the contents of spermidine and spermine increased significantly, while that of putrescine decreased, which could respond positively to seawater stress. Conclusion *M. crystallinum* L. has abundant nutritional components. The yield and nutritional quality can be guaranteed when the concentration of seawater is less than 30%, and polyamine is an important physiological index to improve salt tolerance of *M. crystallinum* L.

**Keywords:** *M. crystallinum* L.; seawater treatment; nutritional quality; polyamine

冰菜 (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) 作为新兴珍贵蔬菜原产于非洲南部, 自引进中国进行试种推广以来, 在我国北方、南方均有成功种植<sup>[1-3]</sup>, 研究人员对其栽培管理方面进行大量研究<sup>[3-5]</sup>。我国盐碱地现象, 特别是滨海盐碱地日益严峻, 成为沿海生态保护一大难点, 如何进行滨海盐碱地的保护、利用, 科研工作者近年来取得了可喜的成果, 例如: 种植耐盐海水稻<sup>[6]</sup>、新模式栽培方法<sup>[7]</sup>、种植吸盐植物<sup>[8]</sup>等方法; 冰菜能在 0~100% 海水中完成生活史, 且 20%~60% 浓度海水对冰菜生长影响较小, 具有将盐粒子富集于叶片表皮盐囊泡中的能力<sup>[9]</sup>。冰菜作为一种可食用的耐盐植物, 兼具食用价值和生态改良价值, 但冰菜的研究多集中于栽培种植方面, 而对不同浓度海水胁迫下冰菜的生长、营养品质及不同海水浓度胁迫下冰菜叶片中抗逆物质多胺含量的变化等方面的研究未见报道。冰菜作为耐盐蔬菜, 本文将研究不同浓度 (20%, 30%, 40%, 50%, 60%) 海水胁迫下冰菜的生长、营养品质, 以摸清在不同浓度海水胁迫下, 其生长、营养品质的变化, 为进一步推广开发冰菜积累数据, 同时从多胺含量的变化研究冰菜叶片中多胺物质对海水的胁迫响应。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

冰菜种子收集于中国热带农业科学院热带生物技术研究所实验室文昌试验基地, 海水取自海南省海口市白沙门。

### 1.2 试验方法

试验在中国热带农业科学院热带生物技术研究所进行, 2019年2月开始播种育苗, 冰菜苗长出4片真叶时移栽入20%~60%海水浓度(20%, 30%, 40%, 50%, 60%)中。移栽后一周进行海水处理, 每周浇2次。连续处理40d, 测量各处理生长指标、营养品质指标和多胺含量。

生长指标采用直尺、千分之一天平测定; 叶面积用紫光平台扫描仪(LA2000)结合ImageJ软件测定<sup>[10]</sup>。碳水化合物含量: 参照童小麟等<sup>[11]</sup>文章采用蒽酮比色法; 粗蛋白含量: 参照陈智慧等<sup>[12]</sup>文章采用半微量凯氏定氮法; 粗脂肪含量: 参照高雅真等<sup>[13]</sup>文章采用索氏抽提法; 粗纤维含量测定: 参考郝晓霞<sup>[14]</sup>文章方法进行测定; 能量测定: 参照金文才<sup>[15]</sup>文章方法进行测定; 总糖含量测定: 参考GB/T 5009.8—2010方法测定; 总黄酮含量测定: 参照黄荣韶等<sup>[16]</sup>文章方法进行测定; 总皂苷含量测定: 参照秦枫等<sup>[17]</sup>文章进行比色测定; 维生素C含量测定: 参照GB/T 6195—1986, 采用2,6-二氯靛酚滴定法测定; 维生素A和E含量测定: 高效液相色谱法, 参照GB/T 5009.82—2003测定;  $\beta$ -胡萝卜素含量测定: 参照GB/T 5009.83—2003中的纸层析法测定; 氨基酸含量测定: 采用氨基酸分析仪, 参照GB 5009.124—2016进行测定; 多胺(腐胺、亚精胺、精胺)含量测定: 采用高效液相色谱法, 参照邵辰光<sup>[18]</sup>文章方法。

实验采用Excel 2003整理数据、绘制图标;用SPSS13.0进行方差分析,于 $P<0.05$ 水平进行统计显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同海水浓度对冰菜生长的影响

由表1可知,不同浓度海水处理后,各生长指标出现差异变化,冰菜根长在20%~50%浓度海水下无差异,根长在30%浓度海水处理时达到最大,为14.26 cm,60%浓度海水处理时根长明显下降;冰菜株高、叶片数量、叶面积随海水浓度变化表现为随海水浓度的增加而降低,且根长、叶片数量分别在海水浓度 $\geq 40\%$ 和 $\geq 60\%$ 时出现明显下降;叶面积受影响程度最大,分别在海水浓度为40%较 $\leq 20\%$ 、50%较 $\leq 30\%$ 、60%较 $\leq 50\%$ 出现明显下降。各处理表明:冰菜根长、株高、叶片数和叶面积等生长特性对海水的耐性各不相同,海水浓度的增加对冰菜株高、叶面积的影响要强于根长、叶片数。

表1 不同浓度海水对冰菜生长的影响

Tab.1 The effects of sea water treatment on growth of *M. crystallinum* L.

处理 Treatment	根长/cm Root length	株高/cm Plant height	叶片数/张 Leaf blade numbers	叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf area
20%	13.52 ab	15.34 a	16.67 a	56.82 a
30%	14.26 a	14.42 a	15.33 a	48.53 ab
40%	13.63 ab	11.71 b	14.33 ab	45.12 bc
50%	12.90 ab	12.37 b	13.67 ab	42.01 c
60%	12.51 b	12.00 b	11.33 b	35.38 d

### 2.2 不同浓度海水对冰菜单株质量的影响

分析不同浓度海水对冰菜单株质量的影响(表2);不同浓度海水对冰菜质量影响,地上部质量方面:相较于20%浓度海水,地上部鲜质量在海水浓度 $\geq 30\%$ 出现明显下降,地上部干质量则在海水浓度 $\geq 40\%$ 时出现明显下降,且地上部干质量、鲜质量均表现为海水浓度越大下降越明显。地下部质量表现为:海水浓度 $\geq 50\%$ 时地下部鲜质量出现明显下降,而20%~60%海水处理对地下部干质量影响不明显。不同浓度海水对单株质量的影响与对地上部鲜质量的影响相一致。干鲜比、根冠比均随海水浓度的增加而升高;综合分析可知:海水对冰菜植株鲜质量影响大于干质量,对地上部部分质量影响大于地下部,对地上部部分鲜质量影响大于干质量。

表2 不同浓度海水对冰菜质量的影响

Tab.2 The effects of sea water treatment on mass of *M. crystallinum* L.

处理 Treatment	地上部鲜质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Upper ground fresh weight	地上部干质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Upper ground dry weight	地下部鲜质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Underground- fresh weight	地下部干质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Underground dry weight	干鲜比 Dry weight divided by- fresh weight	根冠比 Root/crown	单株鲜质量/ (g·株 <sup>-1</sup> ) Fresh weight- per plant
20%	47.02 a	6.73 a	3.53 a	0.74 a	0.15 c	0.11 b	50.55 a
30%	40.95 b	6.41 ab	3.55 a	0.78 a	0.16 c	0.12 ab	44.5 b
40%	36.53 bc	5.99 bc	3.18 ab	0.76 a	0.17 bc	0.13 ab	39.71 bc
50%	33.35 cd	5.98 bc	2.77 bc	0.82 a	0.19 ab	0.14 a	36.12 cd
60%	28.53 d	5.54 c	2.3 c	0.78 a	0.2 a	0.14 a	30.83 d

### 2.3 不同浓度海水对冰菜营养品质影响

2.3.1 不同浓度海水对冰菜一般营养成分及部分功能物质分析 分析不同海水浓度处理后,冰菜一般营养成分及部分功能物质(表3),除总糖、总黄酮含量随海水浓度升高而降低外,其余营养指标随海水浓度的升高呈现不同的变化。随海水浓度的增加,冰菜碳水化合物呈现先增加后降低的变化,在40%浓度

海水下达到最大,为2.72%,且在20%~50%浓度海水处理下差异不明显。粗蛋白含量和可溶性蛋白在海水浓度为20%~40%时变化不明显,海水浓度 $\geq$ 50%时出现明显降低。粗脂肪在海水浓度 $\leq$ 40%时变化不明显,在海水浓度为50%、60%时均出现显著降低。能量变化为先增加后减少的趋势,在海水浓度为30%达到最大,且在海水浓度为30%~60%与20%均无明显变化。

表3 不同浓度海水对冰菜一般营养成分及部分功能物质影响

Tab.3 The effects of sea water treatment on general nutritional components and some functional substances of *M. crystallinum* L.

处理 Treatment	碳水化合物 Carbohydrate	粗蛋白 Crude protein	可溶性蛋白 Soluble protein	粗脂肪 Gross fat	能量 Energy	总糖 Total sugar	总黄酮 Total flavonoids
20%	2.66 ab	1.09 a	0.76 a	0.48 ab	105.41ab	5.39 a	5.500 a
30%	2.59 a	0.87 ab	0.55 ab	0.46 ab	113.06 a	5.29 a	5.226 a
40%	2.72 a	0.91 a	0.62 a	0.52 a	109.19 a	4.93 ab	5.032 a
50%	2.63 a	0.58 bc	0.48 bc	0.35 b	87.20 c	4.63 b	4.206 b
60%	2.37 b	0.72 b	0.32 c	0.29 c	93.00 bc	4.17 bc	4.036 b

2.3.2 不同浓度海水对冰菜氨基酸和维生素的影响 冰菜中含有人体8种必须氨基酸(EAA),各种氨基酸随海水浓度的增加,其含量变化各不相同,苏氨酸含量随海水浓度呈减少趋势,40%浓度海水作为苏氨酸含量明显变化的分界点;缬氨酸在20%~50%浓度海水处理下变化不明显,当海水浓度达到60%时显著下降;异亮氨酸20%浓度海水下含量最高,海水浓度 $\geq$ 50%时出现明显降低;苯丙氨酸在30%浓度海水下含量最高,海水浓度20%~40%变化不明显;赖氨酸当海水浓度 $\geq$ 40%出现明显下降;色氨酸相对稳定,20%~60%浓度海水处理下均无明显变化;甲硫氨酸受海水浓度影响最大,在海水浓度 $>$ 30%,其含量显著下降。不同浓度海水对冰菜维生素的影响为在海水浓度为20%~50%时,维生素A、维生素E无明显变化;维生素C则在20%~40%浓度海水下变化不明显;胡萝卜素当海水浓度达到40%出现明显降低。上述结果表明:海水浓度增加对氨基酸影响大小依次为亮氨酸、甲硫氨酸、赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、色氨酸,海水浓度增加对维生素影响大小依次为胡萝卜素、维生素C、维生素E、维生素A。在海水浓度为20%~40%冰菜8种氨基酸和4种维生素可以维持在较高水平,且在海水浓度20%~30%时,整体指标含量最优(表4)。

表4 不同浓度海水对冰菜氨基酸和维生素的影响

Tab.4 The effects of sea water treatment on amino acids and vitamins of *M. crystallinum* L.

处理 Treatment	苏氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Threonine	缬氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Valine	异亮氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Isoleucine	亮氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Leucine	苯丙氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Phenylalanine	赖氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Lysine	色氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Tryptophan	甲硫氨酸/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Methionine	维生素A/ (μg·g <sup>-1</sup> ) Vitamin A	维生素C/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Vitamin C	维生素E/ (mg·100g <sup>-1</sup> ) Vitamin E	胡萝卜素/ (μg·g <sup>-1</sup> ) Carotene
20%	226.53a	126.94a	122.78a	134.07a	82.05a	192.35ab	49.32a	33.01a	2.89a	1.73a	1.20 a	10.55a
30%	204.08a	128.81a	117.25a	107.00bc	87.07a	212.04a	55.58a	22.73b	2.87a	1.66a	1.13 ab	10.65a
40%	169.29b	113.16ab	113.64ab	109.15bc	71.61a	177.10b	53.07a	17.27bc	2.35ab	1.49ab	1.11 ab	7.48c
50%	153.17b	117.11ab	96.33b	115.26b	57.28b	162.85bc	44.16a	16.25bc	2.46ab	1.32b	1.08 ab	8.29b
60%	141.82b	98.05b	76.35c	95.44c	43.22c	158.01c	47.63a	13.43c	2.09b	1.30b	0.92 b	8.17b

## 2.4 不同浓度海水对冰菜多胺含量影响

多胺含量对海水的响应变化如图1,腐胺含量随海水浓度的增加而减少,当海水浓度达到50%时,腐胺含量较20%~30%海水浓度处理下明显减少,此时腐胺含量是20%海水浓度下54.36%,当海水浓度达到60%时,叶片中腐胺含量减少到116.552 nmol/g,仅为20%海水浓度下的41.25%。亚精胺含量、精胺含量呈先增加后减少的趋势,其中亚精胺在40%浓度海水处理下含量最高,为316.822 nmol/g,比20%下含量增加37.65%;精胺含量在50%海水浓度下含量最高,为62.364 nmol/g,且与其它海水浓度处理下差异

显著;亚精胺、精胺含量均在海水浓度升高到30%时较20%有明显升高。上述结果表明:冰菜叶片能对海水胁迫做出响应,且亚精胺、精胺在低浓度海水胁迫下响应明显。

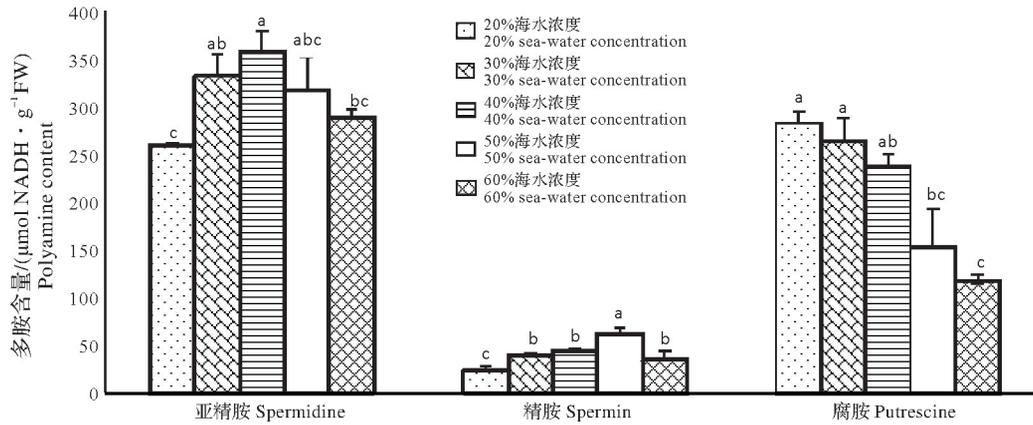


图1 不同浓度海水胁迫对冰菜多胺的影响

Fig.1 The effects of sea water treatment on polyamine of *M. crystallinum* L.

### 2.5 海水浓度与各测定指标相关性分析

统计分析海水浓度与各测定指标相关性(表5),相关系数临界值 $R_{0.05}=0.878$ ,海水浓度仅与亚精胺、精胺、地下部干质量、干鲜比、根冠比呈正相关,其中与干鲜比、根冠比呈相关性达到显著水平;海水浓度与营养成分总糖、总黄酮、苏氨酸、维生素C及生长指标中叶片数、叶面积、地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量等9个统计指标呈极显著负相关;海水浓度与可溶性蛋白、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、维生素A、维生素E呈显著负相关。

表5 海水浓度与各测定指标相关性

Tab.5 Relevance of sea water concentration with each measurement index

	相关性 Correlation					
	腐胺	亚精胺	精胺	碳水化合物	粗蛋白	可溶性蛋白
	-0.970**	0.186	0.539	-0.373	-0.841	-0.920*
		能量	总糖	总黄酮	苏氨酸	缬氨酸
	-0.806	-0.719	-0.982**	-0.968**	-0.983**	-0.882*
		亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸	色氨酸	甲硫氨酸
海水浓度	-0.949*	-0.775	-0.943*	-0.838	-0.808	-0.926*
Sea water		维生素A	维生素C	维生素E	胡萝卜素	根长
concentration	-0.439	-0.921*	-0.977**	-0.929*	-0.767	-0.787
		叶片数	叶面积	地上部鲜重	地上部干重	地下部鲜重
	-0.856	-0.979**	-0.984**	-0.995**	-0.976**	-0.961**
		干鲜比	根冠比			
	0.088	0.992**	0.898*			

## 3 结论与讨论

### 3.1 不同浓度下冰菜生长变化

植物在海水富盐体系中会受到盐胁迫<sup>[19]</sup>;海水浓度与冰菜生长指标相关分析表明,海水浓度与冰菜叶片数、叶面积、地上部鲜质量、地上部干质量、地下部鲜质量等6个统计指标呈极显著负相关,而通过表1、表2可知在海水浓度 $\leq 30\%$ 对冰菜各生长指标影响不明显,说明低浓度海水冰菜影响有限,而当海水浓度 $\geq 40\%$ 对冰菜的影响随海水浓度增加抑制生长越强烈。植株生长指标上主要表现在株高、根长、叶片、生物量等方面;盐胁迫下盐生植物不同器官存在最适盐度,在一定盐度范围内对植物生长影响较小,生

长指标可以用来衡量植物的耐盐能力<sup>[20]</sup>;张雪彬等<sup>[21]</sup>研究表明在海水浓度10%~20%下种植甜瓜可保障产量;如景天、三七幼苗在氯化钠浓度小于200 mmol/L胁迫下生物量未受到抑制<sup>[22]</sup>,本试验中根长、株高、叶片数、叶面积在海水浓度 $\leq 30\%$ 时几乎不受影响,而质量指标中地上部鲜质量、单株鲜质量在海水浓度 $\geq 30\%$ 时受到明显抑制,其余指标对海水耐受情况能达到30%~40%海水浓度,不同海水浓度对冰菜各生长器官的影响不尽相同。我们发现在不同浓度海水胁迫下,地上部分受到的影响大于地下部,这可能是随着海水浓度增加,冰菜根系吸收能力减弱,而其吸收的营养首先必须满足根部生长,从而向地上部输送营养减少,使得地上部因营养不足,造成叶片数量、叶面积、叶片质量下降,地上部与地下部生长是有机的统一体,当冰菜叶片数量、叶面积减少必然导致光合作用降低,蒸腾效率下降,进而影响地下部生长与根系的影响运输。同时,研究发现海水胁迫下冰菜鲜质量受到影响大于干质量,冰菜为肉质草本植物,叶肉质,根为须根系,茎叶中含有丰富水分,冰菜含水量茎叶远高于根系,可能是由于海水中 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 等离子含量的增加,形成渗透失水现象,导致冰菜水分损失大于干物质损失造成的,该结果与sato等<sup>[23]</sup>研究结果相一致。

### 3.2 不同浓度下冰菜营养品质指标变化

植物的营养品质会由于种植气候、土壤条件及植物品系不同而存在一定变化,主要营养成分无明显改变。本试验在其余各条件均相同下设置不同浓度的海水处理,测定的结果体现不同的变化。在海水浓度 $\leq 40\%$ 条件下,整体主要营养指标和一般功能性物质无明显变化;海水浓度与营养成分总糖、总黄酮、苏氨酸、维生素C呈极显著负相关;海水浓度与可溶性蛋白、缬氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、维生素A、维生素E呈显著负相关。表明海水浓度直接影响冰菜的营养品质,海水浓度越高,对冰菜品质指标影响越大。在海水浓度 $> 50\%$ 条件下,冰菜叶片中的营养物质含量发生明显改变,多数营养因子含量降低,这可能是在高浓度海水处理下,冰菜根系吸收功能下降,各项生理功能均受到不同程度的影响,进而减弱了营养物质的输送与合成。总的来讲,冰菜叶片中具有丰富的营养物质,冰菜在20%~60%海水浓度下的粗脂肪、总糖含量高于新鲜海蓬子,其粗蛋白含量低于新鲜海蓬子,新鲜海蓬子中粗蛋白、粗脂肪、总糖含量分别为1.34%、0.28%、1.28%<sup>[24]</sup>;冰菜中粗蛋白含量相较于番杏(2%)、白菜(1.53%)、菠菜(2.6%)、油麦菜(1.4%)偏低,而粗脂肪含量(20%~40%浓度海水)高于番杏(0.45%)、白菜(0.22%)、菠菜(0.2%)和油麦菜(0.4%)<sup>[25]</sup>;冰菜中碳水化合物含量与菠菜(2.6%)、青菜(1.9%)相当<sup>[26]</sup>;黄酮作为植物体次生代谢的产物,在抗氧化、抗炎、抑菌等方面具有良好作用,20%海水浓度下,冰菜中总黄酮含量最高达到55 mg/g,60%海水浓度下总黄酮含量最低40.36 mg/g,海蓬子总黄酮含量为1.676 mg/g,白子菜总黄酮含量为89.57 mg/g,番杏总黄酮含量为0.84 mg/g<sup>[25,27]</sup>,而本研究中,其含量低于白子菜,但远高于盐生蔬菜海蓬子。冰菜一般功能性营养物质相对丰富。

冰菜中必需氨基酸种类齐全,冰菜EAA含量随海水浓度增加而减少,在20%、30%、40%、50%、60%海水浓度处理下,其EAA值分别为9.64、9.32、8.22、7.55、6.56 mg/g,在海水浓度 $\leq 30\%$ 时EAA能维持较高含量,而白菜中EAA含量为6.50 mg/g<sup>[25]</sup>,盐地碱蓬EAA含量为393.9 mg/g<sup>[28]</sup>,三角叶滨藜EAA含量为191.19 mg/g<sup>[29]</sup>。冰菜中的EAA含量高于盐生蔬菜盐地碱蓬和三角叶滨藜,海水处理浓度越低,其EAA含量越高,同时富含维生素和胡萝卜素。综上:冰菜中具有含量丰富的营养物质,与常规蔬菜白菜、芹菜,盐生蔬菜盐地碱蓬和三角叶滨藜等相比较,其营养指标含量不乏亮点,特别是在海水浓度控制在20%~40%下,冰菜能获得高含量的总黄酮、总氨基酸等,具有重要的食用和开发价值。

### 3.3 不同浓度海水胁迫下多胺物质的响应

多胺在植物体内主要以腐胺(Put)、亚精胺(Spd)和精胺(Spm)的形式存在,多胺对增强植物耐盐性具有重要作用,盐胁迫下植物体内的多胺组分和含量会发生明显变化,耐盐性强的植物能够积累较多的亚精胺和精胺,而腐胺则在耐盐性较弱的植株体内积累<sup>[30-31]</sup>。Drolet等<sup>[32]</sup>在体外试验证实多胺能够清除自由基,且亚精胺和精胺的清除能力要大于腐胺。Krishnamurthy等<sup>[31]</sup>研究不同耐盐性水稻品种在盐胁迫下,耐盐性强的其亚精胺和精胺含量升高、腐胺含量降低,而耐盐性低的品质,腐胺大量积累而亚精胺和精胺含量水平较低。本研究中海水浓度与亚精胺、精胺呈正相关,与腐胺呈负相关,冰菜叶片中腐胺

呈下降趋势,而亚精胺、精胺呈先增加后降低的趋势,亚精胺在30%浓度海水时达到最大为356.0 nmol/g,精胺在50%浓度海水时达到最大为62.366 nmol/g,且在60%浓度海水处理下亚精胺、精胺含量均大于20%浓度海水时含量;本研究结果与Krishnamurthy等<sup>[31]</sup>研究相一致。李子银等<sup>[33]</sup>研究水稻表明腐胺向亚精胺、精胺转化有利于增强水稻的耐盐性。冰菜中亚精胺、精胺含量增加,腐胺含量减少可能来源于对海水胁迫的正常生理响应,海水胁迫越大,冰菜体内活性氧、自由基积累越多,而亚精胺、精胺对自由基的清除能力强于腐胺<sup>[32]</sup>,因而为增强多胺物质对自由基的清除能力,腐胺转化为亚精胺和精胺,致使腐胺含量减少。亚精胺、精胺分别在海水浓度达到30%、50%含量最大,此浓度为亚精胺、精胺的清除活性氧、自由基的最高含量,随着海水浓度增加,活性氧、自由基增加,腐胺的转化量变低,亚精胺、精胺的协同清除能力减弱。多胺含量的变化规律整体上与生长指标、营养品质指标变化吻合,表明盐胁迫下多胺在一定程度上调节了冰菜的生理功能,保障了冰菜在低浓度( $\leq 30\%$ )海水胁迫下正常生长,减轻了高浓度( $\geq 40\%$ )海水对冰菜抑制程度的重要生理指标。

综上:试验结果表明,浓度 $\leq 30\%$ 的海水对冰菜株高、根长、叶片数、叶面积及质量影响较轻,当海水浓度 $\geq 40\%$ 时,上述生长指标开始受到明显抑制;冰菜营养种类和含量丰富,在海水浓度 $\leq 40\%$ 时对冰菜各项营养指标影响较小;多胺在海水胁迫下能做出积极响应,表现为腐胺向亚精胺、精胺转化,随海水浓度增加亚精胺、精胺含量明显增加,腐胺含量减少,增强了冰菜耐盐能力。推广种植中,海水浓度应该控制在 $\leq 30\%$ ,以获得高产、优质冰菜。

#### 参考文献:

- [1] 李建永. 北方地区冰菜温室大棚越冬高效栽培技术[J]. 北方园艺, 2017, 41(7): 56-57.  
Li J Y. High-efficiency cultivation techniques of *M. crystallinum* L. in greenhouse for overwintering in north China[J]. Northern Horticulture, 2017, 41(7): 56-57.
- [2] 梁昕景, 郑宇, 韩雪松, 等. 新兴珍贵蔬菜: 冰菜的生产管理技术[J]. 长江蔬菜, 2018, 32(11): 34-36.  
Liang X J, Zheng Y, Han X S, et al. Production and management technology of new precious *M. crystallinum* L. vegetable[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2018, 32(11): 34-36.
- [3] 韩明丽, 沈卫新, 赵根, 等. 保健蔬菜冰菜的生物学特性及关键栽培技术[J]. 湖南农业科学, 2018, 389(2): 31-33.  
Han M L, Shen W X, Zhao G, et al. Biological characteristics and key cultivation techniques of the healthy vegetable *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018, 389(2): 31-33.
- [4] 傅佳良, 韩梦池, 邵果园, 等. 新兴保健蔬菜冰菜的引进与栽培技术研究[J]. 北方园艺, 2016, 40(14): 58-60.  
Fu Y L, Han M C, Shao G Y, et al. Study on the introduction and cultivation technology of new health vegetable *M. crystallinum* L. introduction and cultivation technology of new health vegetable iced vegetable [J]. Northern Horticulture, 2017, 40(14): 56-57.
- [5] 张洪磊, 刘孟霞. 冰菜特征特性及控盐高产栽培技术[J]. 陕西农业科学, 2015, 61(3): 122-124.  
Zhang H L, Liu M X. Characteristics of *M. crystallinum* L. and its salt control and high yield cultivation techniques [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2015, 61(3): 122-124.
- [6] 王旭明, 赵夏夏, 陈景阳, 等. 湛江盐碱地精准开发与海水稻抗盐碱高效栽培展望[J]. 热带农业科学, 2018, 38(12): 25-29.  
Wang X M, Zhao X X, Chen J Y, et al. The precise development of saline-alkali soil and the prospect of high-efficiency cultivation of sea rice resistant to saline-alkali in Zhanjiang [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2018, 38(12): 25-29.
- [7] 冯国艺, 张谦, 祁虹, 等. 滨海盐碱地水盐时空变化特征及对棉花光合生产的影响[J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 1012-1022.  
Feng G Y, Zhang Q, Qi H, et al. Temporal and spatial variation of soil moisture and salinity and its effect on photosynthetic production of cotton in coastal saline-alkali land [J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, 56(4): 1012-1022.
- [8] 张梦璇, 董智, 李红丽, 等. 不同白榆品系对滨海盐碱地的改良效果及盐分离子的分布与吸收[J]. 水土保持学报, 2018, 32(6): 340-345.  
Zhang M X, Dong Z, Li H L, et al. Improvement effects of different *Ulmus pumila* strains on coastal saline alkali soil and distribution and absorption of salt ions [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2018, 32(6): 340-345.

- [9] 徐微风,段瑞军,吕瑞,等.不同浓度海水胁迫下冰菜表皮盐囊泡数量、形态和含盐量的变化[J].江苏农业科学,2019,47(2):115-118.  
Xu W F, Duan R J, Lv R, et al.Changes of quantity, shape and salt content in epidermal bladder cell of *Mesembryanthemum crystallinum* under different concentrations of seawater stress[J].Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2019, 47(2): 115-118.
- [10] 戴志聪,杜道林,司春灿,等.用扫描仪及 Image J 软件精确测量叶片形态数量特征的方法[J].广西植物,2009,29(3):342-347.  
Duai Z C, Du D L, Si C C, et al.A method to exactly measure the morphological quantity of leaf using scanner and image J software[J].Guihaia, 2009, 29(3): 342-347.
- [11] 童小麟,张杰,廖利民.改进蒽酮法测定茶叶中的水溶性碳水化合物[J].茶叶科学技术,1991,19(4):10-14.  
Tong X P, Zhang J, Liao L M.Improved anthrone method for the determination of water-soluble carbohydrates in tea[J].Tea Science and Technology, 1991, 19(4): 10-14.
- [12] 陈智慧,史梅,王秋香,等.用凯氏定氮法测定食品中的蛋白质含量[C]//首届中国兽药大会暨中国畜牧兽医学动物药品学分会2008年学术年会,2008:22-24.  
Chen Z Y, Shi M, Wang Q X, et al.Determination of protein content in food by kjeldahl nitrogen determination[C]//First China veterinary drug congress and society of animal pharmacology, chinese society of animal husbandry and veterinary medicine-2008 Annual Academic Conference, 2008:22-24.
- [13] 高雅真,权凯.浅谈糕点水分含量对脂肪测定的影响:GB5009.6—85中样品处理方式对脂肪含量测定影响的探析[J].技术监督纵横,2000,6(3):34.  
Gao Y Z, Quan K.A brief talk on the effect of moisture content in pastry on the determination of fat content-panalysis of the effect of sample treatment in GB5009.6-85 on the determination of fat content[J].Vertical and Horizontal Technical Supervision, 2000, 6(3):34.
- [14] 郝晓霞.秦艽中龙胆苦苷的提取及分离纯化工艺研究[D].南昌:南昌大学,2007.  
Hao X X.Optimization of the extraction and purification technology of gentiopicroside from gentiana macrophylla pall [D]. Nanchang:Nanchang University, 2007.
- [15] 金文才.食物所含能量测定实验的改进[J].实验教学与仪器,2012(10):24-25.  
Jin W C.Improvement of the experiment of determination of energy in food[J].Experimental Teaching and Instruments, 2012(10):24-25.
- [16] 黄荣韶,王永雄,胡艳,等.鸡骨草总黄酮含量测定及其含量动态变化研究[J].中国中药杂志,2006,31(17):1428-1431.  
Huang R S, Wang Y X, Hu Y, et al.Determination of total flavonoids on abrus cantoniensis and its dynamic changes[J].China Journal of Chinese Materia Medica, 2006, 31(17): 1428-1431.
- [17] 秦枫,刘靖,陈玉勇,等.三七总皂苷含量测定方法及超声提取工艺研究[J].安徽农业科学,2008,36(8):3062-3063.  
Qin F, Liu J, Chen Y Y, et al.Study on the transonic extraction and content determination methods of total saponins of panax notogenseng(PNS)[J].Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(8): 3062-3063.
- [18] 邵辰光,王荟,毕玉芬.高温胁迫下紫花苜蓿多胺含量与耐热性的关系[J].草地学报,2015,23(6):1214-1219.  
Shao C G, Wang H, Bi Y F.Relationship between endogenous polyamines and tolerance in *Medicago sativa* L. under Heat Stress[J].Acta Agrestis Sinica, 2015, 23(6): 1214-1219.
- [19] 周杨,李涛,姚建刚,等.不同浓度海水对芹菜生长和品质的影响[J].江苏农业科学,2018,46(14):113-116.  
Zhou Y, Li T, Yao J G, et al.Impacts of different concentration of seawater on growth and quality of celery[J].Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 46(14): 113-116.
- [20] Horst W J, Bürkert A, Claassen N, et al.Progress in plant nutrition: plenary lectures of the XIV international plant nutrition colloquium[M].Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [21] 张雪彬,曹明,杨小锋,等.海水灌溉对甜瓜生长及果实品质的影响[J].新疆农业科学,2017,54(8):1444-1449.  
Zhang X B, Cao M, Yang X F, et al.Effects of seawater irrigation on growth and fruit quality of Muskmelon [J].Xinjiang Agricultural Sciences, 2017, 54(8): 1444-1449.

- [22] 田晓艳,刘延吉,张蕾,等.盐胁迫对景天三七保护酶系统、MDA、Pro及可溶性糖的影响[J].草原与草坪,2009,19(6):11-14.  
Tian X Y, Liu Y J, Zhang L, et al. Effects of salt stress on MDA, protective enzyme system, proline and soluble sugar of sedum aizoon seedling[J]. Grassland and Turf, 2009, 19(6): 11-14.
- [23] Sato S, Sakaguchi S, Furukawa H, et al. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. Scientia Horticulturae, 2006, 109(3): 248-253.
- [24] 宋彩霞.海蓬子营养成分分析及其生理活性研究[D].汕头:汕头大学,2010.  
Song C X. Analysis on nutritional component of *Salicornia* and studies on the physiological functions *Salicornia* [D]. Shantou: Shantou University, 2010.
- [25] 王蕾.盐生蔬菜番杏和白子菜对盐渍化土壤修复及响应盐胁迫的生理生化研究[D].海口:海南大学,2017.  
Wang L. Physiological and biochemical research on salted soil remediation and salt stress response of the coastal vegetables of *Tetragonia tetragonoides* (Pall.) Kuntze and *Gynura divaricate* (L.) [D]. Haikou: Hainan University, 2017.
- [26] 郁琼花,王少鸥,顾琳珠,等.几种常食绿叶类蔬菜的主要营养成分分析[J].上海蔬菜,2001,14(5):36-36.  
Yu Q H, Wang S O, Gu L Z, et al. Analysis of main nutritional components of several evergreen green leaf vegetables [J]. Vegetables of Shanghai, 2001, 14(5): 36-36.
- [27] 徐明亮.海蓬子成分分析及干燥方法对其品质的影响[D].南京:南京农业大学,2009.  
Xu M L. Composition analysis and effect of dehydrating method on the characteristics of *Salicornia bigelovii* Torr. [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [28] 周浩.野生蔬菜盐地碱蓬的营养成分分析及评价[J].安徽农业科学,2009,37(29):14107-14108.  
Zhou H. Analysis and evaluation on the nutritional components in wild vegetables *Suaeda salsa* L. [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(29): 14107-14108.
- [29] 周浩,杨吉平,别红桂.耐盐蔬菜三角叶滨藜营养成分分析与评价[J].北方园艺,2012(14):27-29.  
Zhou H, Yang J P, Bie H G. Analysis and evaluation of nutrition constituents in salt resistance vegetable *Atriplex triangularis* [J]. Northern Horticulture, 2012(14): 27-29.
- [30] Maiale S, Sánchez D H, Guirado A, et al. Spermine accumulation under salt stress [J]. Plant Physiol, 2004, 161(1): 35-42.
- [31] Krishnamurthy R, Bhagwat K A. Polyamines as modulators of salt tolerance in rice cultivars [J]. Plant Physiol, 1989, 91(2): 500-504.
- [32] Drolet G, Dumbroff E B, Legge R L, et al. Radical scavenging properties of polyamines [J]. Phytochem, 1986, 25(2): 367-371.
- [33] 李子银,张劲松,陈受宜.水稻盐胁迫应答基因的克隆、表达及染色体定位[J].中国科学C辑,1999,4(6):561-570.  
Li Z Y, Zhang J S, Cheng S Y. Cloning, expression and chromosome location of salt stress response gene in rice [J]. Science in China (Series C), 1999, 4(6): 561-570.