

# 探讨盐碱胁迫对宁夏稻米氨基酸和蛋白质含量的影响

贺奇<sup>1</sup>, 丁荣荣<sup>2</sup>, 殷延勃<sup>1</sup>, 张益民<sup>1</sup>, 马洪文<sup>1</sup>, 冯伟东<sup>1</sup>, 王昕<sup>1</sup>

(1. 宁夏农林科学院农作物研究所, 银川 750000; 2. 宁夏大学生命科学学院, 银川 750002)

**摘要:** 本试验以宁夏大面积种植的水稻品种富源4号、宁粳41号、宁粳57号为试验材料, 在播后上水和保墒旱直播两种种植方式下, 设置轻度盐碱、中度盐碱、重度盐碱和对照4种不同盐碱梯度处理, 开展盐碱胁迫下宁夏稻米蛋白质和氨基酸含量变化的研究。研究表明: 在4种盐碱胁迫下, 3种栽培方式中试验水稻品种产量均随着盐碱胁迫梯度增加产量降低, 播后上水的种植方式下的宁粳57号稻米与富源4号和宁粳41号稻米相比, 蛋白质含量上升趋势较明显, 氨基酸含量呈上升趋势, 其渗透调节能力较强, 对于不良环境的抵抗力较强, 表现出较强的耐盐碱特性; 保墒旱直播种植方式与播后上水的种植方式相比, 播后上水种植方式下的富源4号稻米中氨基酸含量和蛋白质含量均高于保墒旱直播种植方式下的富源4号稻米中氨基酸和蛋白质含量, 播后上水种植方式下的富源4号稻米的营养品质较高, 即富源4号更适于播后上水的种植方式。

**关键词:** 水稻; 盐碱胁迫; 种植方式; 氨基酸含量; 蛋白质含量

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2026)01-0039-07

## Effects of Saline-Alkali Stress on Amino Acid and Protein Contents in Rice Grains from Ningxia

HE Qi<sup>1</sup>, DING Rongrong<sup>2</sup>, YIN Yanbo<sup>1</sup>, ZHANG Yiming<sup>1</sup>, MA Hongwen<sup>1</sup>, FENG Weidong<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>1</sup>

(1. Crop Research Institute, Ningxia Academy of Agricultural Sciences, Yinchuan 750000; 2. School of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** In this study, three widely cultivated rice cultivars in Ningxia, namely Fuyuan No.4, Ningjing No.41, and Ningjing No.57, were used as experimental materials. Under two cultivation methods (watering after sowing and dry direct seeding with soil moisture preservation), four saline-alkali stress gradients (control, mild, moderate, and severe saline-alkali stress) were set to investigate the changes in protein and amino acid contents in rice grains under saline-alkali stress. Additionally, pot planting was conducted as an auxiliary treatment. The results showed that: Under the four saline-alkali stress gradients, the yield of all three rice cultivars decreased with the increase of saline-alkali stress intensity across the cultivation methods. Specifically, under the watering-after-sowing method, compared with Fuyuan No.4 and Ningjing No.41, Ningjing No.57 exhibited a more significant increase in protein content and an upward trend in amino acid content. It also showed stronger osmotic adjustment capacity and resistance to adverse environments, indicating superior saline-alkali tolerance. Furthermore, compared with the dry direct seeding with soil moisture preservation method, Fuyuan No.4 under the watering-after-sowing method had higher amino acid and protein contents, resulting in better nutritional quality. Therefore, Fuyuan No.4 is more suitable for the watering-after-sowing cultivation method.

**Key words:** Rice; Salt alkali stress; Planting pattern; Amino acid content; Protein content

水稻是我国重要的粮食作物之一, 三分之二

的人口以稻米为主粮, 在保障我国粮食安全中具有重要地位, 而影响水稻生产的一个因素便是土地的盐渍化。土壤盐碱化的利用、改良、治理的有效途径是在盐碱地中种植水稻<sup>[1-3]</sup>。盐胁迫是影响水稻高产的重要原因之一<sup>[4]</sup>。水稻种植面积占我国粮食作物总面积中的27%, 全国谷物总产

收稿日期: 2025-09-01

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2023AAC03437); 宁夏回族自治区重点研发项目(2022BBF03032)

作者简介: 贺奇(1985-), 男, 副研究员, 在读博士, 从事水稻遗传育种与病虫害防治研究。

40%以上均为稻谷产量。稻米蛋白质在溶解性、生物价等方面都表现优异,属于优质蛋白质,因此,稻米是人类能量及蛋白质的重要来源之一。但影响水稻蛋白质的含量的环境因素有哪些?如何减少这些因素?一直受到专家的重视。

稻米蛋白质是谷物蛋白质的上品,其自身营养价值非常高<sup>[6]</sup>。氨基酸通常作为评价蛋白质质量的重要指标,稻米营养价值的高低也由氨基酸组成的合理性及其含量来决定<sup>[6]</sup>。因此,探讨稻米蛋白质、氨基酸含量及其影响因素,提高两者含量,对于增强身体素质及解决国家粮食安全问题具有重要意义。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

供试水稻品种富源4号、宁粳41号、宁粳57号,试验在宁夏平罗县进行,前期确定平罗县稻田的盐碱含量,在播种前取土样测定,根据田间土壤盐碱度划分为正常盐碱土(CK)、轻度盐碱土、

中度盐碱土和重度盐碱土4种不同盐碱梯度的小区。试验采用播后上水、保墒早直播2种植方式,保墒早直播于4月14日人工开沟撒播,每份材料种植10行,间距20 cm,每行4 m,种植面积8 m<sup>2</sup>,每行播种800粒(375.0 kg/hm<sup>2</sup>),播深3~5 cm,播后镇压保墒。播后上水种植于5月6日播种,每份材料种植10行,行距为26.4 cm,行长4 m,播种800粒(375.0 kg/hm<sup>2</sup>),种子拌有红泥,播后尽快灌水。

采用盆栽法移栽种植,4月15日育秧播种,5月20日移苗插秧,种植顺序随机排列,每盆3穴,每穴4株,每盆种植面积0.2 m<sup>2</sup>,每个处理种植10盆水稻,试验盆高23.5 cm,盆口直径26.2 cm,盆底直径22.0 cm。土壤风干后过2 mm筛,每盆盛装过筛土壤10 kg。肥料和水管理参照当地生产田,第1次加水后固定盆中全盐含量,以后每天测量确保每盆内水层保持不变,以防盆内盐浓度改变。加水后土壤全盐含量折合成水中盐含量见表1。

试验采用随机区组排列,设4个处理。肥料

表1 不同梯度盐碱胁迫土壤参数

Table 1 Soil parameters under different gradients of saline-alkali stress

处理 Treatment	pH值	EC1:5/ mS·cm <sup>-1</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> / mmol·L <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / mmol·L <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> / mmol·L <sup>-1</sup>	ESP	全盐含量/% Total salt content	折合水中盐含 量/% Converted salt content in water
正常生长(CK)	7.88±0.03d	0.17±0.01	0.17±0.02	0.18±0.01d	0.19±0.01	9.69±0.15	0.17±0.01	0.08±0.003
轻度盐碱胁迫	8.13±0.06c	0.38±0.04	0.38±0.02	2.37±0.15c	2.93±0.05	8.70±0.02	0.35±0.01	0.14±0.006
中度盐碱胁迫	8.86±0.04b	0.69±0.04	0.74±0.03	5.16±0.04b	6.73±0.14	34.08±1.13	0.88±0.02	0.30±0.010
重度盐碱胁迫	9.28±0.03a	0.88±0.01	1.04±0.02	7.14±0.05a	7.84±0.05	40.77±0.35	1.21±0.05a	0.45±0.380

注:小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences( $P<0.05$ ), the same below.

和水管理参照当地生产田,播种前、水稻抽穗前、收获后3次测定土壤盐碱含量平均值。

### 1.2 指标测定

播后上水、保墒早直播各取1 m行长,成熟后测定平均穗长、结实率、平均有效穗数、千粒重和小区产量。盆栽种植全部收割计算平均穗长、结实率、平均有效穗长、千粒重和小区产量。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 稻米中蛋白质含量的测定方法

称取稻米2 g并研磨成匀浆,放置30 min后离心30 min,上清液转入10 mL容量瓶中定容。向具塞刻度试管中吸取1 mL的植物样品及5 mL考马斯亮蓝G-250,放置2 min,在595 nm处测定吸光度<sup>[7]</sup>。

#### 1.3.2 稻米中氨基酸含量的测定方法

称取稻米0.500 g于锥形瓶中,加25 mL的

70 ℃蒸馏水,在70 ℃恒温水浴锅中加热10 min,冷却后过滤,加蒸馏水定容至50 mL,摇匀。在570 nm处测定其吸光度<sup>[8]</sup>。

### 1.4 数据的分析与统计

通过Excel 2010多少软件进行数据分析,SPSS 23.0软件对数据进行单因素试验及方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 标准曲线的绘制

#### 2.1.1 氨基酸含量标准曲线的绘制

取6个25 mL的容量瓶,按照表2的剂量和顺序添加茶氨酸工作液,pH值8.0的磷酸盐缓冲溶液,2%的茚三酮溶液,摇匀,并在沸水浴上加热15 min,冷却10 min后加水定容至25 mL,在570 nm处依次测得其吸光度<sup>[6]</sup>。

表2 氨基酸含量标准曲线绘制

Table 2 Construction of standard curve for amino acid content

容量瓶/25 mL Volumetric flask	1	2	3	4	5	6
茶氨酸工作液/0.1 mg·mL <sup>-1</sup>	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
pH 8.0的磷酸盐缓冲液	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2%的茚三酮溶液	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

以氨基酸质量数为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。回归方程为  $Y=0.149\ 3X-0.117\ 7$  (图 1),  $R^2=0.997$ 。

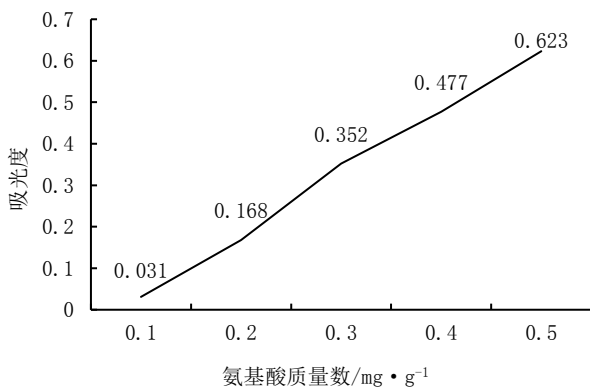


图1 氨基酸含量标准曲线

Fig. 1 Standard curve for amino acid content

2.1.2 蛋白质含量标准曲线的绘制

在试管中分别精确移取牛血清蛋白标准溶液 0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mL,加蒸馏水至 1 mL,配制成浓度为 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 μg/mL 的标准溶液,吸取各管溶液 0.1 mL,分别放入 10 mL 具塞试管中,并加入 5 mL 考马斯亮蓝 G-250,盖塞,将试管中溶液纵向倒转混合,放置 2 min 后,在分光光度计上,于 595 nm 波长处,以 0 号管作空白调零,测定吸光度,蛋白质浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制 0~100 μg/mL 标准曲线<sup>[5]</sup>。回归方程为  $Y=$

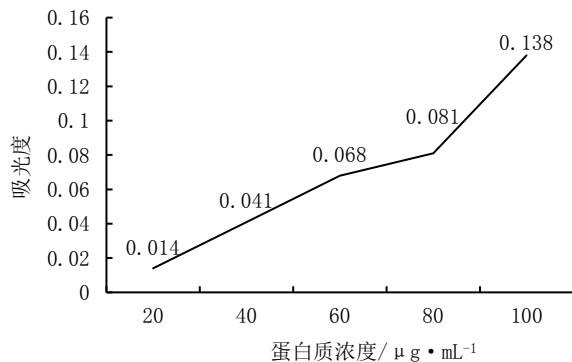


图2 蛋白质含量标准曲线

Fig. 2 Standard curve for protein content

$0.135\ 6X-0.070\ 9$ (图 2),  $R^2=0.953$ 。

2.2 盐碱胁迫对不同稻米品种氨基酸和蛋白质含量的影响

在播后上水的种植方式下,4种盐碱胁迫对富源4号稻米的氨基酸和蛋白质含量如图 3、4 所示,重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和重度盐碱胁迫稻米中氨基酸的含量下降 16.0%~20.0%;重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和重度盐碱胁迫稻米中蛋白质的含量上升 126.4%~137.5%。方差分析结果见表 3,4种盐碱胁迫对稻米氨基酸含量的影响无显著差异,但对于蛋白质含量的影响有显著差异。

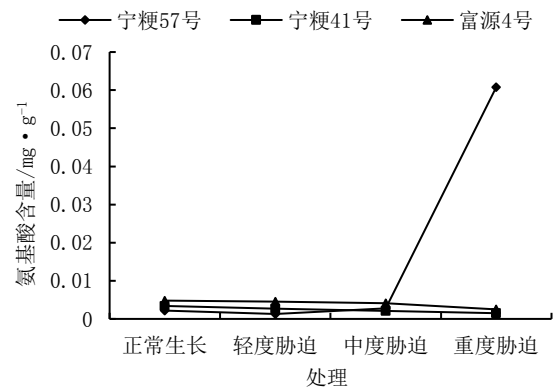


图3 3种不同稻米品种氨基酸含量的变化

Fig.3 Changes in amino acid contents in grains of three different rice varieties

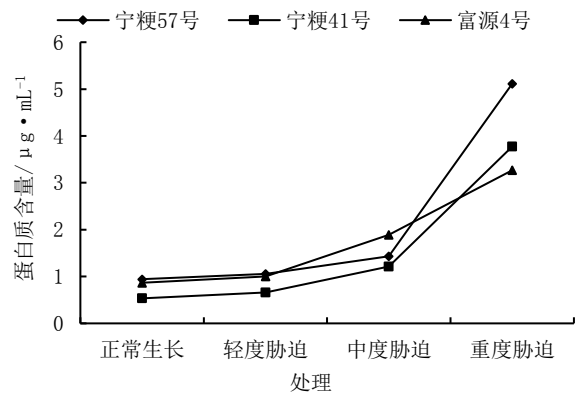


图4 3种不同稻米品种蛋白质含量的变化

Fig.4 Changes in protein contents among three different rice varieties

在播后上水的种植方式下,4种盐碱胁迫对宁粳41号稻米中的氨基酸和蛋白质含量如图 3、4 所示。中度盐碱胁迫和重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱胁迫稻米中氨基酸的含量下降 6.0%~12.0%;中度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和重度盐碱胁迫稻米中蛋白质的含量上升 311.5%~255.7%。方差分析结果见表 4,4种盐碱胁迫对稻米氨基酸含量的影响无显著差

表3 盐碱胁迫对不同稻米品种氨基酸和蛋白质含量的影响

Table 3 Effects of saline-alkali stress on amino acid and protein contents in different rice varieties

品种 Variety	盐碱胁迫程度 Saline alkali stress level	氨基酸含量/% Amino acid content	蛋白质含量/% Protein content
富源4号	正常生长	0.48±0.08a	86.70±11.70a
	轻度胁迫	0.45±0.06a	100.30±15.60a
	中度胁迫	0.41±0.05a	189.20±31.20b
	重度胁迫	0.25±0.17a	326.70±25.50c
宁粳41号	正常生长	0.34±0.43a	53.40±7.30a
	轻度胁迫	0.27±100.00a	65.80±137.40a
	中度胁迫	0.21±0.15a	121.60±18.90a
	重度胁迫	0.15±0.06a	377.30±240.10b
宁粳57号	正常生长	0.22±0.05a	94.30±8.20a
	轻度胁迫	0.13±0.02a	105.70±12.50a
	中度胁迫	0.28±0.06a	143.30±7.60b
	重度胁迫	6.08±10.30b	511.30±3.00c

注:数据表示为“平均值±标准差”,下同。

Note: Data are presented as mean ± SD, the same below.

异,但对于蛋白质含量的影响有显著差异。

在播后上水的种植方式下,4种盐碱胁迫对宁粳57号稻米中的氨基酸和蛋白质含量如图3、图4所示。轻度盐碱胁迫中度盐碱胁迫下宁粳57号稻米中氨基酸的含量相比于重度盐碱胁迫下降5.8%~6.0%;重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和中度盐碱胁迫稻米中蛋白质的含量上升368.0%~405.0%。4种盐碱胁迫对稻米氨基酸含量的影响无明显差异,但对于蛋白质含量的影响有明显差异,轻度盐碱胁迫与中度盐碱胁迫和重度盐碱胁迫均有明显差异。

### 2.3 盐碱胁迫对不同种植方式下富源4号氨基酸和蛋白质含量的影响

在播后上水种植方式下,重度盐碱相比于轻度盐碱和中度盐碱胁迫稻米中氨基酸的含量下降16.0%~20.0%;重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和中度盐碱胁迫稻米中蛋白质的含量上升126.4%~137.5%(图5、图6)。

在保墒早直播种植方式下,中度盐碱和重度盐碱胁迫稻米中氨基酸的含量相比于轻度盐碱胁迫下降0.07%~0.14%;重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和中度盐碱胁迫稻米中蛋白质的含量上升207.5%~297.5%。

在盆栽种植方式下,轻度盐碱和中度盐碱胁迫稻米中氨基酸的含量相比于重度盐碱胁迫下降0.04%~0.33%;重度盐碱胁迫相比于轻度盐碱和中度盐碱胁迫稻米中蛋白质的含量上升211.5%~325.7%。

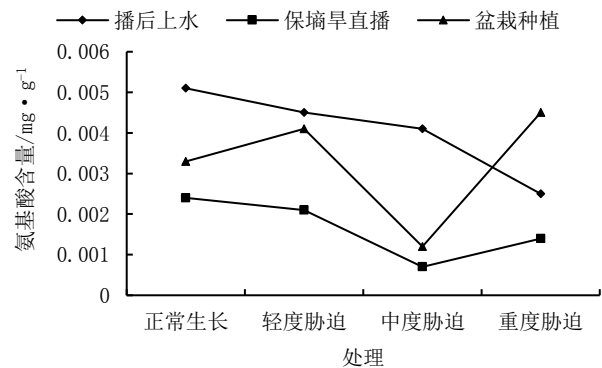


图5 3种植方式下稻米中氨基酸含量的变化  
Fig.5 Changes in amino acid contents in rice grains under three cultivation methods

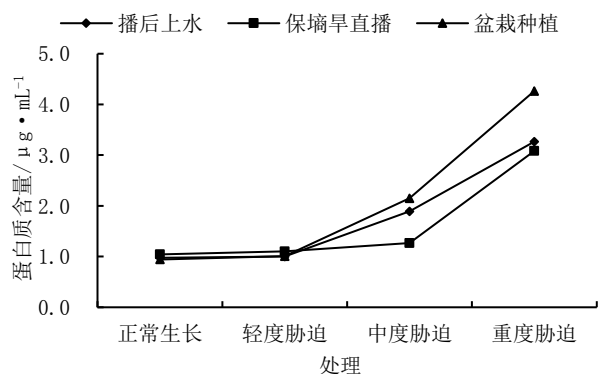


图6 3种植方式下稻米中蛋白质含量的变化  
Fig.6 Changes in protein contents in rice grains under three cultivation methods

## 2.4 盐碱胁迫对不同种植方式下品种产量结构的影响

研究表明,在4种盐碱胁迫下(表5),水稻穗长、结实率、有效穗长、千粒重和产量都呈现降低趋势,播后上水种植方式下宁粳57号稻米与富源4号和宁粳41号稻米相比,产量下降较少,富源4号下降34.7%,宁粳41号下降43.1%,宁粳57

号下降30.7%;保墒早直播种植方式与播后上水的种植方式相比,宁粳41号和宁粳57号产量降低程度都低于播后上水种植方式,分别下降36.3%和27.0%,而富源4号的产量降低高于播后上水种植方式,下降42.7%;盆栽试验中,随着盐碱胁迫梯度增加,富源4号产量降低幅度最大,宁粳41号次之,宁粳57号产量降低幅度最小。

表4 盐碱胁迫对富源4号稻米中氨基酸和蛋白质含量的影响

Table 4 Effects of saline-alkali stress on amino acid and protein contents in rice grains of Fuyuan 4

栽培方式 Cultivation method	盐碱胁迫程度 Level of saline-alkali stress	氨基酸含量/% Amino acid content	蛋白质含量/% Protein content
播后上水	正常生长	0.51±0.03a	97.6±8.32a
	轻度胁迫	0.45±0.06a	100.3±15.60a
	中度胁迫	0.41±0.05a	189.2±31.20b
	重度胁迫	0.25±0.17a	326.7±25.50c
保墒早直播	正常生长	0.24±0.02a	104.3±3.67a
	轻度胁迫	0.21±0.14a	110.5±12.50a
	中度胁迫	0.07±0.01a	126.7±30.90a
	重度胁迫	0.14±0.07a	308.3±12.60b
盆栽种植	正常生长	0.33±0.21a	94.2±0.73a
	轻度胁迫	0.41±0.15a	100.8±0.27a
	中度胁迫	0.12±0.04a	215.0±0.12b
	重度胁迫	0.45±0.04a	426.5±0.14c

表5 盐碱胁迫对不同水稻品种产量结构的影响

Table 5 Effects of saline-alkali stress on yield components of different rice varieties

栽培方式 Cultivation method	盐碱胁迫程度 Saline-alkali stress degree	富源4号 Fuyuan No.4					宁粳41号 Ningjing No.41					宁粳57号 Ningjing No.57				
		穗长/cm Panicle length	结实率/% Seed setting rate	平均有效穗数 Average number of effective panicles	千粒重/g 1000-grain weight	小区产量/kg·667m <sup>-2</sup> Plot yield	穗长/cm Panicle length	结实率/% Seed setting rate	平均有效穗数 Average number of effective panicles	千粒重/g 1000-grain weight	小区产量/kg·667m <sup>-2</sup> Plot yield	穗长/cm Panicle length	结实率/% Seed setting rate	平均有效穗数 Average number of effective panicles	千粒重/g 1000-grain weight	小区产量/kg·667m <sup>-2</sup> Plot yield
播后上水	正常生长	19.32±1.22a	91.23±7.88a	15.43±1.86a	25.41±0.46a	633.42±74.62a	16.45±0.87a	85.32±6.54a	16.32±1.33a	24.64±2.67a	600.04±76.23a	17.32±2.73a	84.55±6.78a	14.34±1.12a	23.35±2.13a	625.02±105.32a
	轻度胁迫	18.43±1.26a	84.65±9.25a	13.74±1.72a	24.32±0.41a	575.01±136.9b	15.74±1.22a	81.83±7.76a	13.45±1.87b	23.46±1.54a	558.42±65.34a	16.51±1.65a	79.37±5.32a	12.65±1.36a	22.16±1.76a	591.71±121.05b
	中度胁迫	16.26±1.20b	79.67±6.72b	11.24±1.27b	23.42±1.26a	475.04±56.23c	13.63±1.05b	73.29±5.43b	11.17±2.05b	22.33±2.05a	516.17±107.29b	15.86±2.23a	63.49±7.57b	10.55±0.96a	21.73±1.82a	533.44±79.95b
	重度胁迫	15.72±0.93b	60.87±6.23c	10.25±1.28b	22.53±0.24a	413.42±109.9d	11.91±0.63c	54.49±6.89c	9.84±1.53c	21.62±1.54a	341.72±71.86c	14.33±0.86b	58.78±5.65c	9.48±1.52b	21.23±0.99a	433.47±127.26c
保墒早直播	正常生长	18.82±1.65a	90.48±6.37a	15.84±1.29a	25.52±2.34a	625.02±63.23a	16.33±1.67a	86.75±7.77a	16.63±1.65a	24.32±1.34a	625.02±82.39a	17.24±0.79a	87.32±7.36a	14.76±0.99a	23.56±1.11a	616.73±108.87a
	轻度胁迫	17.23±1.92a	86.78±7.32a	14.23±1.30a	24.21±1.37a	558.41±104.79b	15.43±2.31a	80.56±6.92b	14.96±2.65a	23.23±1.42a	566.17±113.46a	16.26±1.56a	80.22±7.04a	12.73±1.21a	22.32±0.75a	575.40±112.06a
	中度胁迫	15.92±0.78b	77.68±5.48b	10.67±1.31b	22.36±2.81b	458.43±57.82c	13.25±0.89b	74.59±6.36c	11.68±2.76b	22.15±0.79a	508.34±92.45b	15.32±1.47a	65.43±6.46b	10.86±1.65a	21.53±0.64a	500.04±108.42b

续表 5  
Table 5 Continued

栽培方式 Cultivation method	盐碱胁迫程度 Saline-alkali stress degree	富源4号 Fuyuan No.4						宁梗41号 Ningjing No.41					宁梗57号 Ningjing No.57				
		穗长/cm Panicle length	结实率/% Seed setting rate	平均有效穗数 Average number of effective panicles	千粒重/g 1000-grain weight	小区产量/kg·667m <sup>-2</sup> plot yield	穗长/cm Panicle length	结实率/% Seed setting rate	平均有效穗数 Average number of effective panicles	千粒重/g 1000-grain weight	小区产量/kg·667m <sup>-2</sup> plot yield	穗长/cm Panicle length	结实率/% Seed setting rate	平均有效穗数 Average number of effective panicles	千粒重/g 1000-grain weight	小区产量/kg·667m <sup>-2</sup> plot yield	
盆栽种植 Pot culture	重度胁迫	15.14±1.26b	63.28±6.28b	9.05±1.32b	21.19±3.26b	358.42±93.46d	11.21±1.05b	62.84±5.83d	10.24±1.32b	21.46±1.57b	398.14±96.76c	14.41±0.89b	58.82±6.14b	9.62±1.83b	20.71±1.06a	450.02±89.54b	
	正常生长	20.42±0.67a	92.18±8.26a	6.43±1.33a	25.46±2.31a	622.23±133.76a	16.64±1.13a	85.49±4.87a	6.98±0.97a	24.47±2.52a	555.46±98.24a	17.25±1.14a	84.78±5.54a	6.26±0.94a	23.56±2.34a	533.14±102.34a	
	轻度胁迫	18.21±2.11a	81.74±7.47a	4.59±1.34a	23.35±1.76a	533.43±105.27b	15.43±0.86a	79.27±5.68b	4.76±1.05b	23.15±2.81a	444.55±73.25b	16.24±1.46a	80.61±6.17a	5.06±1.27a	22.46±1.87a	466.27±95.46b	
	中度胁迫	16.64±2.17b	74.81±5.82b	3.03±1.35b	22.61±2.19a	422.22±87.39c	13.36±0.92b	70.19±6.05c	3.27±0.75c	22.27±1.73a	400.07±87.41b	15.39±0.95b	65.28±7.21b	3.88±0.86b	21.37±2.05a	403.28±105.38c	
	重度胁迫	15.26±1.63b	63.21±5.49b	2.67±1.36c	21.94±2.83b	266.73±13.47d	11.54±0.58c	56.74±5.35d	2.78±0.89c	21.43±1.46b	355.62±63.48c	14.53±1.52b	58.96±5.43c	2.86±0.62b	20.62±1.53a	364.51±83.42d	

### 3 讨论与结论

在探讨盐碱胁迫对同一种植方式下3个稻米品种氨基酸和蛋白质含量的影响中,3个稻米品种蛋白质含量均呈上升趋势,在中度盐碱胁迫下宁梗57号蛋白质含量高于宁梗41号,低于富源4号,在重度盐碱胁迫下其蛋白质含量明显高于其他两种稻米。随着盐碱胁迫程度的增加,其蛋白质含量呈上升趋势,是因为在盐碱胁迫下,水稻体内的正常蛋白质不再合成,但会产生新的蛋白或水稻体内的正常蛋白含量增加,因此使得可溶性蛋白质合成增加并适应逆境生长<sup>[9]</sup>。蛋白质含量越高,稻米能够提高整体的抗破坏力,说明宁梗57号与富源4号和宁梗41号相比对盐碱环境的抵抗力较强<sup>[10]</sup>;宁梗57号氨基酸含量呈上升趋势,这与WIDODO等<sup>[11]</sup>提出的结论一致:植物体内氨基酸含量上升可能标志着细胞受到胁迫损伤,也可能是植物耐胁迫能力的增强的标志;宁梗41号和富源4号稻米中氨基酸含量的呈下降趋势。这与穆永光<sup>[12]</sup>的研究结果一致:氨基酸含量下降,说明氨基酸问题对缓解盐碱胁迫并没有发挥作用。在抵抗不良环境时,生物体往往会积累调节物质如氨基酸及其衍生物、糖类等以提高其自身抗逆性。说明宁梗57号稻米相比渗透调节能力较强,表现出较强的抗逆性。

水稻的栽培方式会直接影响稻米品质<sup>[13]</sup>。本

试验以盆栽种植方式作为对照,保墒早直播种植方式下的富源4号稻米中氨基酸含量低于盆栽种植的稻米中氨基酸含量,播后上水种植方式下的富源4号稻米中氨基酸含量高于盆栽栽培。盆栽种植、保墒早直播和播后上水3种植方式下的富源4号稻米中蛋白质含量均呈上升趋势,且播后上水和保墒早直播2种植方式下富源4号稻米中蛋白质含量上升趋势要整体低于盆栽种植的方式。试验表明:人工模拟盆栽试验测定的稻米品质数值差异性显著,稻米品质评价总体比播后上水和保墒早直播两种种植方式品质要差,其原因是大田种植,淡水灌溉可以淡化土壤盐碱浓度,减轻对稻米品质的影响。大部分研究者认为,稻米中蛋白质含量与其食味品质呈负相关关系,当蛋白质含量增加时,米饭食味品质变劣<sup>[14-17]</sup>。虽然盆栽种植下的富源4号稻米蛋白质含量较高,但食味品质较差,播后上水和保墒早直播两种种植方式下,富源4号稻米的营养品质过关,口感较好。评价稻米营养品质的重要指标之一是稻米蛋白质、氨基酸含量的组成与平衡<sup>[17]</sup>。保墒早直播和播后上水两种种植方式相比,播后上水种植方式下的富源4号稻米中氨基酸和蛋白质含量均高于保墒早直播种植方式下的富源4号稻米中氨基酸和蛋白质的含量,说明播后上水种植方式下的富源4号稻米的营养品质较高,保墒早直播种植方式下的富源4号稻米的口感较好。

水稻的相对产量高低更能反映水稻的耐盐碱性<sup>[8]</sup>,在正常抽穗成熟的条件下,盐碱胁迫对产量有一定的影响。本研究表明盐碱环境下可影响水稻品种的穗长和千粒重,从而导致水稻产量的降低。宁粳57号表现出较强的耐盐碱能力,在盐碱环境下产量降低幅度小于富源4号和宁粳41号,因宁粳57号穗长和千粒重降幅较低,从而保障了产量的稳定,在实际生产中可以通过一些栽培措施来提高水稻的千粒重和穗长来保证水稻产量的稳定。

本试验表明,宁粳57号与富源4号和宁粳41号相比,渗透调节能力较强,对于不良环境的抵抗能力较强,表现出较强的耐盐碱营养品质特性;播后上水与保墒旱直播两种种植方式相比,富源4号更适合于播后上水的种植方式。

### 参考文献:

- [ 1 ] 王丹阳,徐春梅,褚光,等.水稻高产与优质栽培的冲突与协调[J].中国稻米,2021,27(4):58-62.  
WANG D Y, XU C M, CHU G, et al. Conflict and coordination between high yield and good quality in rice planting[J]. China Rice, 2021, 27(4): 58-62. (in Chinese)
- [ 2 ] 王奉斌,张燕红,文孝荣,等.两个粳稻材料芽期和苗期耐盐性的QTL定位[J].新疆农业科学,2011,48(12):2205-2210.  
WANG F B, ZHANG Y H, WEN X R, et al. QTLs mapping for salt tolerance at seed germination and seedling stage in Xinjiang rice(*Oryza sativa* L.)[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(12): 2205-2210. (in Chinese)
- [ 3 ] 白重阳,秦猛,崔士泽,等.膨化秸秆还田对寒地水稻产量、品质及氮素利用的影响[J].中国稻米,2021,28(2):38-40,44.  
BAI C Y, QIN M, CUI S Z, et al. Effects of extruded straws returned field on rice yield, quality and nitrogen utilization in cold region[J]. China Rice, 2022, 28(2): 38-40, 44. (in Chinese)
- [ 4 ] 王奉斌,张燕红,袁杰,等.新疆耐盐水稻种质资源的筛选[J].新疆农业科学,2009,46(3):501-505.  
WANG F B, ZHANG Y H, YUAN J. Screening of germplasm resources of salt-resisting rice in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2009, 46(3): 501-505. (in Chinese)
- [ 5 ] 任顺成,王素雅.稻米中的蛋白质分布与营养分析[J].中国粮油学报,2002,17(6):35-38.  
REN S C, WANG S Y. Distribution and nutritional analysis of rice proteins[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17(6): 35-38. (in Chinese)
- [ 6 ] 王为民,赵倩,于静娟,等.水稻转高赖氨酸蛋白质基因(*sb401*)植株的获得及种子中蛋白质和氨基酸的含量分析[J].作物学报,2005,31(5):603-607.  
WANG W M, ZHAO Q, YU J J, et al. Transfer of high lysine gene *sb401* into rice and analysis for protein and amino acid content in transgenic rice seeds[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(5): 603-607. (in Chinese)
- [ 7 ] 赵亚华.生物化学与分子生物学实验技术教程[M].北京:高等教育出版社,2005:9.
- [ 8 ] 刘美,马叶萍,柳阳阳,等.茶叶中游离氨基酸含量的测定[J].微量元素与健康研究,2016,33(1):51-52.  
LIU M, MA Y P, LIU Y Y, et al. Determination of free amino acid content in tea leaves[J]. Trace Elements and Health Research, 2016, 33(1): 51-52. (in Chinese)
- [ 9 ] 周婵婵,王术,元财,等.不同水稻品种产量和品质对盐碱胁迫的响应[J].种子,2017,36(11):29-33.  
ZHOU C C, WANG S, YUAN C, et al. Responses of yield and quality of different rice varieties to saline-alkali stress[J]. Seed, 2017, 36(11): 29-33. (in Chinese)
- [ 10 ] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等.施氮量和栽插密度对超高产水稻中早22产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(5):507-512.  
XU C M, WANG D Y, SHAO G S, et al. Effects of nitrogen application rate and transplanting density on yield and quality of super high-yield rice variety Zhongzao 22[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2008, 22(5): 507-512. (in Chinese)
- [ 11 ] WIDODO, PATTERSON J H, NEWBIGIN, et al. Metabolic responses to salt stress of barley(*Hordeum vulgare* L.) cultivars, Sahara and clipper which differ in salinity tolerance[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(14): 4089-4103.
- [ 12 ] 穆永光.盐碱胁迫对紫穗槐生长和生理的影响[D].长春:东北师范大学,2016.
- [ 13 ] 侯文平,王成瑗,张文香,等.栽培方式对有机栽培水稻产量与品质的影响[J].东北农业科学,2020,45(1):1-7.  
HOU W P, WANG C A, ZHANG W X, et al. Effects of cultivation methods on yield and quality of organically cultivated rice[J]. Northeast Agricultural Sciences, 2020, 45(1): 1-7. (in Chinese)
- [ 14 ] SHUANG J, HUANG C F, ZHAO Z Z, et al. Characterization of eating quality and starch properties of two Wx alleles japonica rice cultivars under different nitrogen treatments[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(4): 2-12.
- [ 15 ] MOHAMMED I S, MEULLENET J F. Effect of protein disruption using proteolytic treatment on cooked rice texture properties[J]. Journal of Texture Studies, 2007, 38(4): 423-437.
- [ 16 ] 吴长明,孙传清,陈亮,等.稻米营养品质性状的QTL及其与食味品质的关系研究[J].东北农业科学,2002,27(4):3-7.  
WU C M, SUN C Q, CHEN L, et al. QTL mapping of nutritional quality traits and their relationship with eating quality in rice[J]. Northeast Agricultural Sciences, 2002, 27(4): 3-7. (in Chinese)
- [ 17 ] 谢桂先,刘强,荣湘民,等.稻米氨基酸含量的影响因素及其研究进展[J].湖南农业科学,2008(1):32-34.  
XIE G X, LIU Q, RONG X M, et al. Influencing factors and research progress of amino acid content in rice[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2008(1): 32-34. (in Chinese)
- [ 18 ] 陈玥,战莘晔,叶宁,等.水稻盐胁迫耐受机制及氮肥营养调节效应[J].东北农业科学,2025,50(6):5-9,19.  
CHEN Y, ZHAN S Y, YE N, et al. Mechanism of rice tolerance to salt stress and regulatory effect of nitrogen nutrition[J]. Northeast Agricultural Sciences, 2025, 50(6): 5-9, 19. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)