

文章编号:1000-8551(2020)08-1840-08

不同品种稻米品质形成对盐胁迫的响应

肖丹丹 李 军 邓先亮 卫平洋 唐 健 韦还和 陈英龙 戴其根*

(扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业
技术协同创新中心,江苏 扬州 225009)

摘 要:为明确盐浓度对稻米品质形成的影响及其机制,以江苏省大面积种植水稻品种南粳 9108 和盐稻 12 号为试验材料,种植于土培池中,全生育期以盐水灌溉代替淡水灌溉,盐浓度设置 0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%,并以淡水(盐浓度 0%)灌溉为对照(CK),研究不同盐浓度对稻米品质形成的影响。结果表明,与 CK 相比,在低盐浓度(0.10%~0.15%)下,直链淀粉含量显著降低,稻米的糙米率、精米率和整精米率增加,稻米淀粉黏滞特性(RVA 谱)的峰值黏度、热浆黏度和最终黏度增加,米饭的外观、黏度、平衡度和食味值在 0.10% 盐浓度下高于 CK,南粳 9108 和盐稻 12 号的胶稠度在 0.10% 盐浓度下分别较 CK 高 4.5 和 3.5 mm;在中、高盐浓度(0.20%~0.35%)下,稻米的加工品质、蒸煮食味品质和稻米淀粉黏滞特性明显降低。稻米的垩白粒率和垩白度随着盐浓度的增加而减小。综上所述,在低盐浓度(0.10%~0.15%)下,稻米的品质总体有一定的改善;高盐浓度(0.35%)下,稻米品质明显变劣。本研究通过分析不同盐浓度下水稻的品质状况,为滩涂水稻高产与品质调优栽培提供了参考。

关键词:水稻;盐胁迫;品质

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2020.08.1840

江苏省沿海滩涂资源丰富,滩涂面积占全国滩涂面积的三分之一以上,且均处在气候温和、光照充足、雨量充沛、无霜期较长的地区,非常适合农作物生长^[1-4],是江苏省最重要的后备土地资源。近年来,大力开发利用盐海滩涂发展水稻生产已成为生产和研究的热点。水稻(*Oryza sativa* L.)是一种对盐胁迫中度敏感的作物,盐碱地种植水稻不仅可以扩大粮食生产面积,还可以改良盐碱地,对保障国家粮食安全具有重要意义^[5]。前人关于水稻对盐胁迫的响应研究多集中在水稻种子萌发、幼苗生长发育、光合物质生产与积累、产量构成因素等方面^[6-9]。郑崇珂等^[10]研究表明,当盐浓度超过 15 g·L⁻¹时,水稻的发芽率、发芽势、根长等指标显著降低;吕学莲等^[11]和袁驰等^[12]研究表明,盐处理下水稻幼苗可溶性糖、丙二醛和脯氨酸含量均有所增加;也有研究表明,盐胁迫降低了水稻叶片

的光合速率和光化学效率^[13-15];此外,盐胁迫也可通过降低水稻生物积累量、穗粒数、千粒重、结实率等产量构成因素,降低水稻产量^[16-20]。有关盐胁迫对稻米品质的影响,也有少量报道,但由于试验处理与参试品种不同,稻米品质对盐胁迫响应的研究结果并不一致,如罗成科等^[18]认为 0.10% 盐浓度有利于稻米品质的形成,翟彩娇等^[21]发现随着盐浓度增强,稻米食味值呈 V 字型变化,而宋双等^[22]研究表明当土壤含盐量达 0.3% 时,稻米的品质最好。前人试验设计多采用一次性加盐的盆栽处理,这与沿海滩涂水稻生产实际中采用微咸水灌溉模式有一定差异。为此,本研究以江苏省沿海滩涂大面积种植的水稻品种南粳 9108 和盐稻 12 号为试验材料,采用土培设施于水稻全生育期进行微咸水灌溉,研究盐胁迫对稻米品质形成的影响及其机理,以期为沿海滩涂水稻高产与品质调优栽培提供

收稿日期:2019-06-24 接受日期:2019-09-13

基金项目:国家科技支撑计划(2015BAD01B02),江苏省重点研发计划(BE2015337),国家自然科学基金(31901448),江苏省高等学校自然科学研究面上项目(19KJB210004)**作者简介:**肖丹丹,女,主要从事水稻盐胁迫方面研究。E-mail:1076003478@qq.com*** 通讯作者:**戴其根,男,教授,主要从事盐碱地水稻高产高效配套栽培技术研究。E-mail: qgdai@yzu.edu.cn

理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地概况

试验于 2018 年在扬州大学农学院试验农场土培池进行。每个土培池长 3.5 m、宽 1.4 m, 含土壤 1.9 m³。以江苏省具有代表性的高产水稻品种, 南粳 9108 和耐盐品种盐稻 12 号为参试材料南粳 9108 由江苏省农业科学院提供, 盐稻 12 号由江苏沿海地区农业科学研究所提供。2 个参试品种均为迟熟中粳稻, 南粳 9108 全生育期 153 d, 盐稻 12 号全生育期 156 d。灌溉盐水所用盐为浙江蓝海星盐制品厂生产的 Q/ZLY 型速溶海水晶, 其产品中离子检验结果如表 1 所示。

1.2 试验设计

设置 7 个盐浓度梯度, 即 0% (CK)、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%, 2 个重复, 根据水与盐的质量比, 称取相应的盐溶于水制成盐水用于代替淡水灌溉水稻至收获。每天利用 FG3 便携式电导率仪(瑞士梅特勒-托利多公司)实时监测水层盐浓度, 及时调节因蒸发等改变的水层盐浓度。若水层盐浓度无较大变化, 可适当延长水层盐浓度的调节时间。



图 1 南粳 9108 和盐稻 12 号的种植分布

Fig.1 Planting distribution of Nanjing 9108 and Yandao 12

1.3 测定项目与方法

1.3.1 碾磨品质和外观品质 将水稻收获脱粒、晒干, 室内贮藏 3 个月后, 参照优质稻谷标准 GB/T 17891-2017^[23] 测定糙米率、精米率、整精米率、长宽比、垩白粒率、垩白度。

1.3.2 米粉蛋白质 采用 Kjeltac™ 8400 凯氏定氮仪(丹麦福斯公司)测得米粉中全氮含量, 根据水稻全氮量与蛋白质之间的换算系数 5.95, 计算米粉中蛋白质含量。

表 1 浙江蓝海星盐制品厂生产的 Q/ZLY 型速溶海水晶各离子检验结果

Table 1 Test results of various ions of Q/ZLY instant sea crystal produced by Zhejiang Lanhaixing Salt Products Factory

检验项目 Inspection items	检验结果 Inspection results
钾离子(氯度比值) Potassiumion (chlorinity ratio)	0.016
镁离子(氯度比值) Magnesiumion (chlorinity ratio)	0.069
钠离子(氯度比值) Sodiumion (chlorinity ratio)	0.570
钙离子(氯度比值) Calciumion (chlorinity ratio)	0.018
硫酸根离子(氯度比值) Sulfateion (chlorinity ratio)	0.140

采用机插软盘育秧, 6 月 1 日播种, 6 月 27 日移栽, 栽插行株距 25 cm × 12 cm, 每穴 4 苗。每个土培池右半部种植南粳 9108, 左半部种植盐稻 12 号(图 1)。纯氮用量 300 kg·hm⁻², 按基肥: 蘖肥: 穗粒肥 = 3:3:4; N:P₂O₅:K₂O = 2:1:2, 磷肥作基肥一次性施用, 钾肥 50% 作基肥施用, 50% 作穗肥施用。秧苗移栽后采用湿润灌溉为主; 群体达到目标穗数的 80% 时搁田, 控制无效分蘖发生; 灌浆结实期间歇灌溉, 干湿交替, 收割前 7 d 断水搁田。按常规高产栽培要求防治病虫害。

1.3.3 稻米淀粉黏滞特性(RVA 谱特征值) 采用 Super 3 型 RVA (rapid viscosity analyzer, 澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司) 快速测定淀粉谱黏滞特性, 用 TCW (Thermal Cycle for Windows) 配套软件进行分析。按照美国谷物化学家协会 (AACC) 规程 (1995-61-02)^[24], 当米粉含水量为 12% 时, 样品量为 3.00 g, 加蒸馏水为 25.00 g。在搅拌过程中, 罐内温度变化: 50℃ 保持 1 min, 然后以 11.84℃·min⁻¹ 的速度升至 95℃ 并保持 2.5 min, 再以 11.84℃·min⁻¹ 的速度降至

50℃并保持 1.4 min。搅拌器的转动速度在起始 10 s 内为 960 r·min⁻¹,之后保持在 160 r·min⁻¹。RVA 谱特征值包括峰值黏度、热浆黏度、最终黏度、崩解值(峰值黏度-热浆黏度)、消减值(最终黏度-峰值黏度)、回复值(最终黏度-热浆黏度)和起始糊化温度。

1.3.4 米饭食味值 采用 STA1A 米饭食味计(日本佐竹公司)自动测定米饭的外观、硬度、黏度、平衡度和食味值。

1.3.5 直链淀粉含量 采用碘蓝比色法测定稻米直链淀粉含量。利用 722N 型可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司)在 720 nm 波长处测得已知直链淀粉含量的标准样品(其直链淀粉含量预先经 GB/T 15683-2008^[25]大米直链淀粉含量的测定中的方法准确测定)的吸光度值,以吸光度值为横坐标,直链淀粉含量为纵坐标,制作标准曲线。然后根据待测样品的吸光度值和标准曲线确定其直链淀粉含量。

1.3.6 胶稠度 参照 GB 1350-2009 稻谷^[26],采用米

胶延伸法测定胶稠度。

1.4 数据处理与统计分析

采用 Microsoft Excel 2013 进行数据整理,用 SPSS 19.0 软件进行方差分析,采用 LSD 法进行数据间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对稻米碾磨品质的影响

稻米的碾磨品质主要包括糙米率、精米率和整精米率。由表 2 可知,南粳 9108 和盐稻 12 号的糙米率、精米率和整精米率均随着盐浓度的增加表现为先增加后降低的趋势,当盐浓度为 0.15% 时精米率最高。此外,盐稻 12 号的糙米率、精米率和整精米率在 0.35% 盐浓度下显著高于南粳 9108,且盐稻 12 号精米率和整精米率总体上也高于南粳 9108。

表 2 不同盐浓度对水稻碾磨品质的影响

Table 2 Effects of different salt concentrations on milling quality of rice

/ %

品种 Varieties	盐浓度 Salt concentration/%	糙米率 Brown rice rate	精米率 Precision rice rate	整精米率 Whole rice rate
南粳 9108	0(CK)	82.85bc	70.44d	64.72e
Nanjing9108	0.10	83.16ab	70.93cd	67.19d
	0.15	83.62a	70.95cd	66.43d
	0.20	82.84bc	69.36e	64.89e
	0.25	82.37cd	68.88e	64.02e
	0.30	81.61e	68.75e	61.92f
	0.35	75.21g	62.95f	57.45g
盐稻 12 号	0(CK)	82.05de	72.42b	69.62c
Yandao12	0.10	83.09abc	73.73a	70.42bc
	0.15	83.22ab	74.43a	72.01a
	0.20	83.20ab	72.08b	68.79b
	0.25	81.88de	72.03bc	68.74c
	0.30	81.45e	71.79bc	66.46d
	0.35	79.65f	68.83e	62.35f

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level among treatments. The same as following.

2.2 盐胁迫对稻米外观品质的影响

由表 3 可知,南粳 9108 稻米的长/宽均值随着盐浓度的增加而增加,其长均值和宽均值均随着盐浓度的增加呈先增加后降低的趋势,表明随着盐浓度的增加稻米的粒型变细变短。盐稻 12 号稻米的长/宽均值随着盐浓度的增加先降低后增加,长均值随着盐浓度

的增加整体呈降低趋势,宽均值随着盐浓度的增加先增后降。南粳 9108 和盐稻 12 号的垩白粒率和垩白度均随着盐浓度的增加呈降低趋势,且南粳 9108 的垩白粒率高于盐稻 12 号。说明盐胁迫对稻米的外观品质有改善作用。

表 3 不同盐浓度对稻米外观品质的影响

Table 3 Effects of different salt concentrations on appearance quality of rice

品种 Varieties	盐浓度 Salt concentration/%	长/宽均值 Average length/width	长均值 Long mean/mm	宽均值 Wide mean/mm	垩白粒率 Chalkiness rate/%	垩白度 Chalkiness degree/%
南粳 9108	0(CK)	1.71i	4.27h	2.51b	32.31ab	19.33a
Nanjing9108	0.10	1.72hi	4.36e	2.55a	32.44a	18.57a
	0.15	1.71hi	4.29g	2.52b	31.30b	15.43b
	0.20	1.73h	4.27h	2.48c	28.93c	13.12c
	0.25	1.73h	4.27gh	2.48c	28.85c	12.78c
	0.30	1.75g	4.26h	2.46d	28.71c	12.97c
	0.35	1.79f	4.16i	2.36g	29.12c	11.96c
盐稻 12 号	0(CK)	1.94a	4.67a	2.42f	12.88d	5.65d
Yandao12	0.10	1.87c	4.58b	2.46d	11.14e	4.36e
	0.15	1.84e	4.46c	2.44de	9.40f	3.55e
	0.20	1.83e	4.41d	2.43ef	9.26f	2.26f
	0.25	1.85d	4.47c	2.42ef	8.91fg	2.07f
	0.30	1.87c	4.43d	2.37g	8.09g	1.87f
	0.35	1.90b	4.31f	2.29h	7.83g	1.78f

2.3 盐胁迫对稻米蒸煮食味品质的影响

由表 4 可知,南粳 9108 和盐稻 12 号的米饭外观、黏度、平衡度和食味值均随着盐浓度的增加呈先增加后降低的趋势,但处理间差异较小;硬度则随着盐浓度的增加而增加。表明高盐浓度会降低稻米蒸煮食味品质。

随着盐浓度的增加,南粳 9108 和盐稻 12 号稻米

中的直链淀粉含量呈先降低后增加的趋势;蛋白质含量呈降低趋势,当盐浓度为 0.35% 时,稻米的粗蛋白质含量分别较 CK 显著降低了 1.29 和 1.05 个百分点;胶稠度则呈先增加后降低的趋势,南粳 9108 的长度大于盐稻 12 号,说明南粳 9108 蒸煮后要比盐稻 12 号更软。

表 4 不同盐浓度对稻米蒸煮食味品质的影响

Table 4 Effects of different salt concentrations on rice cooking and taste quality

品种 Varieties	盐浓度 Salt concentration/%	外观 Appearance	硬度 Hardness	黏度 Viscosity	平衡度 Degree of balance	食味值 Taste value	直链淀粉含量 Amylose content/%	粗蛋白质含量 Crude protein content/%	胶稠度 Gel consistency/mm
南粳 9108	0(CK)	5.80a	6.90f	4.75abc	5.50ab	63.35ab	11.50f	9.30bcd	90.50ab
Nanjing 9108	0.10	6.10a	6.70f	5.65a	5.85a	65.30a	10.75g	9.39bc	95.00a
	0.15	5.50a	6.80f	5.35ab	5.15abc	60.95abc	10.72g	9.23cd	92.00ab
	0.20	5.30ab	6.80f	4.50abcd	5.00abcd	59.70abcd	11.77f	8.40i	91.00ab
	0.25	5.10abc	7.05ef	4.75abc	4.80abcde	58.70abcd	12.53de	8.41i	89.50bc
	0.30	4.90abcd	7.10ef	4.50abcd	4.70abcde	58.05abcde	13.02d	8.36i	88.00bcd
	0.35	4.90abcd	7.30de	4.00bcde	4.45bcdef	56.50bcde	13.82c	8.01j	85.50cde
盐稻 12 号	0(CK)	4.10bcdef	7.70bc	4.05bcde	3.95cdefg	53.05defg	14.48b	9.70a	84.50de
Yandao 12	0.10	4.25bcde	7.80bc	4.15abcde	3.90defgh	52.05defg	12.43e	9.15de	88.00bcd
	0.15	4.10bcdef	7.60cd	4.00bcde	3.80defgh	53.60cdef	13.66c	9.41b	87.50bcd
	0.20	3.95cdef	7.95abc	3.90bcde	3.75efgh	52.45defg	14.54b	9.00ef	83.50de
	0.25	3.75def	8.00abc	3.60cde	3.45fgh	50.25efg	15.27a	8.97f	82.50e
	0.30	3.40ef	8.05ab	3.05de	3.00gh	47.65fg	15.70a	8.80g	76.50f
	0.35	3.00f	8.30a	2.95e	2.70h	45.75g	15.81a	8.65h	73.50f

2.4 盐胁迫对稻米淀粉黏滞特性的影响

由表 5 可知,南粳 9108 和盐稻 12 号的峰值黏度、热浆黏度、最终黏度、崩解值和回复值均随着盐浓度的增加呈先增加后降低的趋势,表明低盐浓度对提高淀

粉的黏度有促进作用。南粳 9108 和盐稻 12 号的消减值随着盐浓度的增加呈增加趋势,且南粳 9108 的消减值为负值,盐稻 12 号的消减值为正值。

表 5 不同盐浓度对稻米淀粉黏滞特性(RVA 谱)的影响

Table 5 Effects of different salt concentrations on viscosity properties of rice starch (RVA)

品种 Varieties	盐浓度 Salt concentration /%	峰值黏度 Peak viscosity /cP	热浆黏度 Viscosity of hot pulp /cP	崩解值 Disintegration value /cP	最终黏度 Final viscosity /cP	消减值 Subtractive value /cP	峰值时间 Peak time /min	起始糊化温度 Initial gelatinization temperature /°C	回复值 Reply value /cP
南粳 9108 Nanjing 9108	0(CK)	1 981.5h	1 061.5f	920.0a	1 589.0h	-392.5h	5.5f	75.6a	527.5c
	0.10	2 203.0f	1 274.5d	928.5a	1 813.5f	-389.5h	5.9e	75.2ab	539.0c
	0.15	2 045.0g	1 211.5e	833.5c	1 725.5g	-319.5g	5.9e	75.2abc	514.0cd
	0.20	1 656.0i	941.5g	714.5d	1 401.0i	-255.0f	5.9e	74.4bcd	459.5e
	0.25	1 561.0j	937.0g	624.0e	1 388.0i	-173.0e	5.9e	74.4bcd	451.0e
	0.30	1 546.0j	902.5gh	643.5e	1 371.5i	-174.5e	5.9e	74.0cd	469.0de
	0.35	1 409.5k	871.0h	538.5f	1 314.0j	-95.5d	6.1d	73.6de	443.0e
盐稻 12 号 Yandao12	0(CK)	2 752.0b	1 878.0a	874.0abc	2 857.0b	105.0c	6.3c	74.0bcd	979.0a
	0.10	2 825.0a	1 920.0a	905.0ab	2 934.0a	109.0c	6.4c	73.6de	1 014.0a
	0.15	2 774.0ab	1 899.5a	874.5abc	2 893.5ab	119.5bc	6.4c	72.8e	994.0a
	0.20	2 635.0c	1 789.5b	845.5bc	2 752.0c	117.0bc	6.4bc	72.7e	962.5ab
	0.25	2 585.5c	1 748.0b	837.5c	2 721.5c	136.0abc	6.5ab	73.5de	973.5a
	0.30	2 513.5d	1 749.0b	764.5d	2 660.5d	147.0ab	6.6a	73.6de	911.5b
	0.35	2 414.0e	1 659.0c	755.0d	2 578.0e	164.0a	6.6a	74.4bcd	919.0b

2.5 盐浓度与稻米不同品质间的相关性

由表 6 可知,不同品种稻米品质与盐浓度间的相关系数不同。南粳 9108 的精米率与盐浓度呈显著负相关,粗蛋白质含量、垩白度、崩解值和食味值与盐浓度呈极显著负相关,粗直链淀粉含量与盐浓度呈显著正相关,相关系数为 0.821。盐稻 12 号的胶稠度、崩解值和食味值与盐浓度呈显著负相关,粗蛋白质含量和垩白度与盐浓度呈极显著负相关,直链淀粉含量与盐浓度相关性不显著,相关系数为 0.701。

3 讨论

稻米的品质包括碾磨品质、外观品质、蒸煮食味品质、营养及卫生品质,品质的优劣不仅受品种遗传背景控制,还受气候、土壤等环境条件以及栽培因素的影响。步金宝等^[27]研究认为,盐碱胁迫对整精米率的影响最大,精米率次之,糙米率最小。但也有研究认为盐浓度与糙米率呈显著负相关,与精米率、整精米率无显著相关性^[20]。Rao 等^[28]测定了 19 个耐盐、半耐盐和

敏感基因型水稻在盐、碱逆境中籽粒的品质,认为水稻整精米率受盐胁迫的影响,而不受碱胁迫的影响。本研究与上述研究结果基本一致,水稻的糙米率、精米率和整精米率在 0.10%~0.15% 盐浓度下高于 CK,当盐浓度高于 0.15% 时,稻米碾磨品质则随着盐浓度的增加而降低,且由相关性分析可知,参试品种稻米的碾磨品质指标糙米率、精米率和整精米率均与盐浓度呈负相关,表明盐胁迫影响稻米碾磨品质。

外观品质是衡量稻米商品价值的重要依据。有研究表明,在盐碱胁迫下,稻米的籽粒长/宽均值下降,垩白粒率、垩白度增加^[20, 29-30]。本研究中,两品种稻米籽粒长/宽均值对盐分的响应不同。随着盐浓度增加,南粳 9108 的稻米籽粒长/宽均值增加,而盐稻 12 号则呈“V”型趋势。这可能与两品种耐盐性不同有关。本研究结果表明,两品种的垩白粒率和垩白度与盐浓度呈负相关,这与上述前人研究结果相反,从垩白发生的机理与同化产物流径学分析,同化产物输入要横向经过背部突起的珠心组织进入胚乳,然后由胚乳传递到各处,因此,米粒越宽输导途径越长,障碍越大,充实

表 6 盐浓度与稻米不同品质间相关性分析
Table 6 Correlation analysis between salt concentration and rice quality

品种 Varieties	参数 Parameters	盐浓度 Salt concentration	糙米率 Brown rice rate	精米率 Precision rice rate	整精 米率 Whole rice rate	直链淀 粉含量 Amylose content	粗蛋白 质含量 Crude protein content	胶稠度 Gel consistency	垩白度 Chalkiness degree	崩解值 Disintegration value	食味值 Taste value
南粳 9108 Nanjing 9108	盐浓度 Salt concentration	1									
	糙米率 Brown rice rate	-0.675	1								
	精米率 Precision rice rate	-0.758 *	0.983 **	1							
	整精米率 Whole rice rate	-0.753	0.940 **	0.957 **	1						
	直链淀粉含量 Amylose content	0.821 *	-0.818 *	-0.877 **	-0.947 **	1					
	粗蛋白质含量 Crude protein content	-0.905 **	0.684	0.797 *	0.811 *	-0.904 **	1				
	胶稠度 Gel consistency	-0.73	0.796 *	0.848 *	0.946 **	-0.941 **	0.831 *	1			
	垩白度 Chalkiness degree	-0.937 **	0.523	0.651	0.645	-0.744	0.930 **	0.705	1		
	崩解值 Disintegration value	-0.949 **	0.699	0.805 *	0.817 *	-0.904 **	0.973 **	0.848 *	0.952 **	1	
	食味值 Taste value	-0.903 **	0.652	0.756 *	0.805 *	-0.860 *	0.931 **	0.888 **	0.945 **	0.965 **	1
盐稻 12 号 Yandao 12	盐浓度 Salt concentration	1									
	糙米率 Brown rice rate	-0.634	1								
	精米率 Precision rice rate	-0.673	0.907 **	1							
	整精米率 Whole rice rate	-0.646	0.968 **	0.922 **	1						
	直链淀粉含量 Amylose content	0.701	-0.763 *	-0.785 *	-0.68	1					
	粗蛋白质含量 Crude protein content	-0.940 **	0.57	0.671	0.659	-0.548	1				
	胶稠度 Gel consistency	-0.805 *	0.906 **	0.910 **	0.914 **	-0.878 **	0.748	1			
	垩白度 Chalkiness degree	-0.958 **	0.431	0.549	0.444	-0.655	0.905 **	0.673	1		
	崩解值 Disintegration value	-0.865 *	0.830 *	0.825 *	0.826 *	-0.890 **	0.772 *	0.979 **	0.760 *	1	
	食味值 Taste value	-0.849 *	0.900 **	0.849 *	0.935 **	-0.731	0.843 *	0.943 **	0.689	0.917 **	1

注: * 和 ** 分别表示相关性在 0.05 和 0.01 水平达到显著和极显著。相关系数临界值 $R_{0.05} = 0.755$, $R_{0.01} = 0.875$ 。

Note: * and ** indicate the correlation was significant and extremely significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. Critical value of correlation: $R_{0.05} = 0.755$, $R_{0.01} = 0.875$.

不良多形成垩白。受盐胁迫影响, 稻米籽粒变小变短, 因此灌浆速度相比大籽粒要快; 另外, 可能受灌浆期天气影响, 大籽粒内部物质发育不够充分, 最终造成盐浓度越高, 垩白粒率和垩白度越少。

稻米的蒸煮品质主要由淀粉的组成和性质决定。稻米直链淀粉的含量与米饭的硬度、黏度等密切相关, 直链淀粉含量高, 米饭硬, 黏度小, 外观和食味值低; 相反, 则米饭较软, 黏度较大, 外观和食味值高。有研究证明, 稻米淀粉黏滞特性与稻米的蒸煮食味品质密切相关^[31-32], 一般情况下, 口感较好的稻米 RVA 谱往往具有较高的峰值黏度和崩解值以及较低的消减值^[33], 而淀粉黏滞特性又与直链淀粉含量呈负相关^[34-35]。且有研究表明低盐浓度处理下, 稻米的 RVA 谱特征值优于高盐浓度处理^[36]。本研究结果发现, 在低盐浓度 (0.10%~0.15%) 下, 稻米的直链淀粉含量低于 CK, 稻米淀粉黏滞特性总体高于 CK, 且米饭的外观、黏度、平衡度和食味值高于 CK; 而在高盐浓度 (0.30%~0.35%) 下, 与 CK 相比, 稻米直链淀粉含量有所提高, 稻米淀粉黏滞特性总体明显降低, 米饭黏度、外观与食味值也明显降低。综上可知, 低浓度盐水灌溉在一定程度上可以提高稻米的蒸煮食味品质, 而高浓度盐则会使稻米的蒸煮食味品质明显变劣。

水稻蛋白质含量的高低及其质量的优劣也是评价水稻营养品质的核心指标^[37]。有研究表明, 随着盐浓度增加, 水稻的蛋白质含量显著增加^[18-19]。本研究结果与其相反, 随着盐浓度的增加, 南粳 9108 和盐稻 12 号稻米粗蛋白质含量呈下降趋势, 可能是由于试验设计以及参试品种的差异。水稻籽粒中蛋白质合成来源主要是叶片等器官中氮素的利用与再运转^[38]。盐胁迫下, 水稻植株发育迟缓且衰老加快, 使得植株对氮素吸收与转运量下降, 从而导致水稻籽粒中蛋白质含量减少。

4 结论

盐胁迫对稻米品质形成有显著影响。与 CK 相比, 低盐浓度 (0.10%~0.15%) 下, 稻米的碾磨品质提高, 米饭的外观、黏度、平衡度和食味值总体上有所增加, 稻米的胶稠度也有所提高, 而蛋白质含量整体降低; 在高盐浓度 (0.20%~0.35%) 下稻米品质明显变劣。虽然稻米的外观品质随盐浓度的增加有所改善, 但总体上表现为低浓度 (0.10%~0.15%) 盐水灌溉有利于稻米品质形成。

参考文献:

- [1] 王资生, 阮成江, 郑怀平. 盐城滩涂资源特征及可持续利用对策 [J]. 海洋通报, 2001, 20(4): 64-69
- [2] 孙明法, 严国红, 唐红生, 王爱民, 朱国永, 何冲霄, 任仲玲, 姚立生. 江苏沿海滩涂盐碱地水稻种植技术要点 [J]. 大麦与谷类科学, 2012(1): 6-7
- [3] 王芳, 朱跃华. 江苏省沿海滩涂资源开发模式及其适宜性评价 [J]. 资源科学, 2009, 31(4): 619-628
- [4] 薛寅. 江苏盐城沿海滩涂盐碱地水稻种植技术要点 [J]. 吉林农业, 2018(17): 43-44
- [5] 程海涛, 姜华, 薛大伟, 郭龙彪, 曾大力, 张光恒, 钱前. 水稻芽期与幼苗前期耐碱性状 QTL 定位 [J]. 作物学报, 2008, 34(10): 1719-1727
- [6] 信彩云, 马惠, 赵庆雷, 王瑜, 刘奇华, 杨军, 陈博聪, 林香青. 不同浓度 NaCl 胁迫对水稻种子发芽及幼苗生长的影响 [J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(3): 7-10
- [7] 李婷, 朱长波, 李俊伟, 陈素文, 颜晓勇. 海水胁迫对海稻 86 种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 南方农业学报, 2018, 49(7): 1297-1303
- [8] 王仁雷, 华春, 刘友良. 盐胁迫对水稻光合特性的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 11-14
- [9] 荆培培, 崔敏, 秦涛, 周在中, 戴其根. 土壤条件下不同盐梯度的水稻产量及其生理特性的影响 [J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 26-33
- [10] 郑崇河, 张治振, 周冠华, 谢先芝. 不同水稻品种发芽期耐盐性评价 [J]. 山东农业科学, 2018, 50(10): 38-42
- [11] 吕学莲, 白海波, 李树华, 高晓原, 蔡正云. 水稻耐盐种质的鉴定评价 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(33): 50-55
- [12] 袁驰, 梁永霞, 刘静, 张国川, 曾莉, 杨发友, 唐志康, 陈勇. 复盐胁迫对不同水稻品种种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 种子, 2018, 37(6): 78-81
- [13] 王旭明, 赵夏夏, 周鸿凯, 陈景阳, 莫俊杰, 谢平, 叶昌辉. NaCl 胁迫对不同耐盐性水稻某些生理特性和光合特性的影响 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(5): 882-890
- [14] 朱晓军, 杨劲松, 梁永超, 娄运生, 杨晓英. 盐胁迫下钙对水稻幼苗光合作用及相关生理特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(10): 1497-1503
- [15] 刘晓龙, 徐晨, 徐克章, 崔菁菁, 安久海, 凌凤楼, 张治安, 武志海. 盐胁迫对水稻叶片光合作用和叶绿素荧光特性的影响 [J]. 作物杂志, 2014(2): 88-92
- [16] 谢留杰, 段敏, 潘晓飏, 唐兴国, 朱长志, 黄善军. 不同类型水稻品系苗期和全生育期耐盐性鉴定与分析 [J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(3): 404-410
- [17] Lee C K, Yoon Y H, Shin J, Lee B W, Kim C K. Growth and yield of rice as affected by saline water treatment at different growth stages [J]. Korean Journal of Crop Science, 2002, 47(6): 402-408
- [18] 罗成科, 肖国举, 张峰举, 李茜. 不同浓度复合盐胁迫对水稻产量和品质的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 137-141
- [19] 周根友, 翟彩娇, 邓先亮, 张蛟, 张振良, 戴其根, 崔士友. 盐逆境对水稻产量、光合特性及品质的影响 [J]. 中国水稻科学, 2018, 32(2): 146-154
- [20] 马凌霄, 张素红, 孙杰. 高盐浓度筛选对水稻产量和品质的影响 [J]. 北方水稻, 2017, 47(6): 13-17
- [21] 翟彩娇, 邓先亮, 张蛟, 戴其根, 崔士友. 盐分胁迫对稻米品质性状的影响 [J]. 中国稻米, 2020, 26(2): 44-48
- [22] 宋双, 马凌霄, 刘中卓. 高盐浓度对水稻产量及食味品质的影响

- [J]. 北方水稻, 2018, 48(3): 18-21
- [23] 国家质量技术监督局. GB/T 17891-2017 优质稻谷[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [24] American Association of Cereal Chemist (AACC). Methods 61-02 for RVA. Approved Methods of the AACC (9th ed) [S]. Saint Paul Minnesota: AACC, 1995
- [25] 国家质量技术监督局. GB/T 15683-2008 大米直链淀粉含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
- [26] 国家质量技术监督局. GB 1350-2009 稻谷[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [27] 步金宝, 赵宏伟, 刘化龙, 王敬国, 兴旺. 盐碱胁迫对寒地粳稻产量形成机理的研究[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(4): 485-488
- [28] Rao P S, Mishra B, Gupta S R. Effects of soil salinity and alkalinity on grain quality of tolerant, semi-tolerant and sensitive rice genotypes [J]. Rice Science, 2013, 20(4): 284-291
- [29] Desamero N V, Romero M V, Aquino D V, Tibayan P A, Guloy M B, Valdez R E, Ablaza M J C, Dimaano Y A, Chico M V, Cardenas C C, Orbon C A, Cavite O V. Rice grain quality as affected by salt stress[J]. Philipp Journal of Crop Science, 2003, 28: 70
- [30] 赫臣, 郑桂萍, 李红宇, 吕艳东, 殷大伟, 姜玉伟, 赵海成, 陈立强, 牛同旭, 韩笑. 苏打盐碱土对水稻品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2018(1): 37-40
- [31] 李欣, 张蓉, 隋炯明, 梁国华, 沈新平, 严长杰, 顾世梁, 顾铭洪. 稻米淀粉粘滞性谱特征的表现及其遗传[J]. 中国水稻科学, 2004(5): 10-16
- [32] 舒庆尧, 吴殿星, 夏英武, 高明尉, Anna Mc Clung. 稻米淀粉 RVA 谱特征与食用品质的关系[J]. 中国农业科学, 1998(3): 25-26, 28-29
- [33] 田青兰, 李培程, 刘利, 张强, 任万军. 四川不同生态区高产栽培条件下的杂交籼稻的稻米品质[J]. 作物学报, 2015, 41(8): 1257-1268
- [34] 贾良, 丁雪云, 王平荣, 邓晓建. 稻米淀粉 RVA 谱特征及其与理化品质性状相关性的研究[J]. 作物学报, 2008, 34(5): 790-794
- [35] 胡培松, 翟虎渠, 唐绍清, 万建民. 利用 RVA 快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究[J]. 作物学报, 2004, 30(6): 519-524
- [36] 余为仆. 秸秆还田条件下盐胁迫对水稻产量与品质形成的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2014
- [37] 田爽, 王晓萍. 水稻蛋白质的研究进展[J]. 哈尔滨师范大学(自然科学学报), 2014, 30(5): 91-95
- [38] 陈锦强, 李明启. 高等植物绿叶中的氮素代谢与光合作用的关系[J]. 植物生理学通讯, 1984(1): 1-8, 21

Response of Quality Formation of Different Rice Varieties to Salt Stress

XIAO Dandan LI Jun DENG Xianliang WEI Pingyang TANG Jian WEI Huanhe
CHEN Yinglong DAI Qigen*

(Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Key Laboratory of Crop Cultivation and Physiology/
Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract: In order to clarify effect of salt concentration on the formation of rice quality and its mechanism, in this study, large-scale planting varieties of Nanjing 9108 and Yandao 12 in Jiangsu Province were used as experimental materials, planted in soil culture ponds, and salt water irrigation was used instead of fresh water irrigation during the whole growth period. The salt concentrations were set as 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25%, 0.30%, and 0.35% salt concentration and fresh water (0% salt concentration) as the control (CK) to study the effects of different salt concentrations on the formation of rice grain quality. The results showed that compared with CK, the amylose content of rice decreased significantly under the low salt concentration (0.10%~0.15%), while the brown rice rate, precision rice rate and whole rice rate increased, at the same time, the peak viscosity, hot pulp viscosity, and final viscosity of RVA increased. The appearance, viscosity, balance degree and taste value of rice under 0.10% salt concentration were higher than those of the control, and the gel consistency of Nanjing 9108 and Yandao 12 was greater than that of the control (4.5 and 3.5 mm, respectively) under 0.10% salt concentration; Under the medium and high salt concentration (0.20%~0.35%), the processing quality, cooking taste quality and starch viscosity of rice (RVA) decreased significantly. The chalkiness rate and chalkiness degree of rice decreased with the increase of salt concentration. In conclusion, the quality of rice was improved under the low salt concentration (0.10%~0.15%), and the quality of rice was deteriorated under the high salt concentration (0.35%). By analyzing the quality of rice under different salt concentrations, this study provides a reference for high yield and quality optimization cultivation of rice in the beach.

Keywords: rice, salt stress, quality