植物营养与肥料学报 2015,21(2): 288 -295 doi: 10.11674/zwyf.2015.0202
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer http://www.plantnutrifert.org

氮肥水平对粳型软米食味特征与质构特性的影响

姜元华, 赵 可, 许俊伟, 孙建军, 张洪程*, 戴其根*, 许 轲, 霍中洋, 魏海燕, 郭保卫, 高 辉

(扬州大学农业部长江流域稻作技术创新中心, 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009)

摘要:【目的】旨在明确粳型软米食味品质及其质构特征对氮肥水平的响应差异及各指标间的关系。**【方法】**在稻麦两熟制条件下,选用江苏省生产上具有代表性的粳型软米品种南粳9108和南粳5055为试验材料,通过设置4种施氮水平0、150、225和300 kg/hm^2,分析了不同施氮水平对粳型软米的食味品质与质构特征的影响,并对各指标间的关系进行了系统分析。**【结果】**1)在设计范围内,随施氮量的增加,稻米完整性持续增加,但香气、光泽、味道和食味值等指标呈下降趋势,粳型软米食味指标对氮肥的敏感程度表现为口感 > 光泽 > 食味值 > 味道 > 香气 > 完整性,说明氮肥水平对粳型软米口感和光泽的影响程度较大,而对香气和完整性的影响程度较小。2)随着施氮量的增加,硬度、粘聚型、咀嚼度和回复性呈先增加后降低趋势,最大值在N 225 kg/hm^2;粘着性呈先降低后升高趋势,最低值在N 225 kg/hm^{2}处理;弹性不受氮肥水平影响,粳型软米质构指标对氮肥的敏感程度表现为咀嚼度 > 硬度 > 回复性 > 粘着性 > 粘聚性,说明氮肥水平对粳型软米的胶粘性、咀嚼度、硬度影响较大,而对粘聚性的影响程度较小。3)南粳9108的香气、光泽、味道、口感和食味值均高于南粳5055,完整性低于南粳5055,并且其各食味指标的变异系数均高于南粳5055,说明南粳9108食味特征优于南粳5055,并且前者对氮肥的敏感性强于后者。4)南粳9108的硬度、粘着性、弹性、咀嚼度均低于南粳5055,粘聚性、胶粘性均高于南粳5055,并且各质构指标的变异系数均高于南粳5055,说明南粳9108质构特征较优并且前者对氮肥的敏感性弱于后者。5)相关分析表明,食味值与香气、光泽、味道、口感呈极显著正相关,与完整性呈极显著负相关;口感与光泽呈显著正相关,与完整性呈显著负相关;完整性与香气、光泽呈极显著负相关;光泽与香气呈极显著正相关;回复性与硬度极显著正相关,与粘聚性呈显著正相关。**【结论】**氮肥水平和品种对粳型软米食味品质与质构特征具有显著影响。增加施氮量将降低供试的两个品种米饭的口感、光泽、味道和香气,但增加其完整性,施氮量小于225 kg/hm^2,施氮可以增加米饭的硬度、粘聚型、咀嚼度和回复性。因此,粳型软米生产中应特别重视氮肥的施用水平,以保持其优良的风味。

关键词: 粳型软米; 氮肥; 食味品质; 质构特征

中图分类号: S511.2$^+$2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2015)02-0288-08

Effect of nitrogen fertilizer application rate on the eating characteristic and textural properties of *japonica* softer rice

JIANG Yuan-hua, ZHAO Ke, XU Jun-wei, SUN Jian-jun, ZHANG Hong-cheng*, DAI Qi-gen*, XU Ke, HUO Zhong-yang, WEI Hai-yan, GUO Bao-wei, GAO Hui

(*Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture/Key Laboratory of Crop Genetic and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China*)

Abstract:【Objectives】 The objective of this study was to clarify the response to nitrogen levels in the eating quality and textural characteristic of different rice cultivars and the relationship between the tasty and texture related indexes. **【Methods】** A field experiment was carried out with two *japonica* softer rice varieties. Four nitrogen application levels were designed: 0, 150, 225, and 300 kg/ha, and the eating qualities and mouthfeel of *japonica* softer rice were measured and their relationships with each other were calculated. **【Results】** 1) With the increment of nitrogen input levels, the aroma, gloss, taste, mouthfeel and comprehensive indices were decreased but the

收稿日期: 2014-04-02 **接受日期:** 2014-11-21

基金项目: 国家粮食科技工程(2011BAD16B03);同家公益性行业(农业)科研专项(201303102); 江苏省科技支撑项目(BE2013394)资助。

作者简介: 姜元华(1987—), 男, 江苏东台人, 博士研究生, 主要从事水稻生理生态研究。E-mail: 447685778@qq.com

* 通信作者 E-mail: hczhang@yzu.edu.cn; qgdai@yzu.edu.cn

integrity increased, the *CV%* of eating indexes was in order of mouthfeel > gloss > taste value > taste > aroma > integrity; indicating that nitrogen levels affect mouthfeel and gloss more than aroma and integrity of rice. 2) With the increment of nitrogen levels, the hardness, cohesiveness, chewiness and resilience were increased at first and then decreased, the maximum value appeared at 225 kg/ha treatment; the adhesiveness of rice exhibited opposite trend, the minimum value appeared at 225 kg/ha treatment, springiness was not influenced by nitrogen fertilizer. The *CV%* of rice textural properties was in order of chewiness > hardness > resilience > adhesiveness > cohesiveness, indicating that nitrogen levels affect the chewiness and hardness more than cohesiveness. 3) The values of aroma, gloss, taste, mouthfeel and comprehensive indexes of cultivar Nanjing9108 was higher than those of Nanjing5055, but the integrity was opposite. The coefficient of variation of taste indexes of Nanjing9108 were higher than Nanjing5055, indicating the better eating qualities of Nanjing 9108 than Nanjing5055. Nanjing 9108 was more sensitive to nitrogen fertilizer than Nanjing5055. 4) The values of hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness of Nanjing 9108 were lower than those of Nanjing5055, but the adhesiveness was opposite. 5) The aroma was positively correlated with aroma, gloss, taste and mouthfeel, negatively with integrity; hardness was significantly negatively correlated with cohesiveness and chewiness; resilience was negatively correlated with adhesiveness and springiness. **【Conclusions】** Nitrogen levels significantly impacted the eating quality and textural properties of *japonica* soft rice. Nanjing 9108 was more sensitive to nitrogen fertilizer than Nanjing5055, N fertilization decreased the taste, aroma, mouthfeel, but increased the integrity of the selected two rice cultivars. When the N application levels were lower than 225 kg/ha, the N fertilization increased the chewiness, hardness, resilience and adhesiveness of the rice. Therefore, N application levels should be considered carefully for keeping the good tasty quality of *japonica* softer rice.

Key words: *japonica* soft rice; nitrogen fertilizer; eating quality; mouthfeel properties

稻米的食味品质作为衡量稻米品质的重要方面越来越受到人们的关注[1-2]。食味品质十分复杂,一方面受遗传基因、环境及其互作的影响,另一方面受品尝感官评价方法的制约[3-4]。氮肥是生产上调控品质的一项关键栽培措施[5-6]。国内外学者围绕施氮水平对蒸煮食味品质的影响进行了大量研究[7-10],但由于试验条件、供试材料和评价方法的不同,众多结论不一致。金正勋等[11]研究认为,随着氮肥施用量的增加,稻米直链淀粉含量逐渐降低,蛋白质含量显著提高。金军等[12]的研究则指出,在一定的施氮水平范围内,随施氮量的增加,胶稠度显著变软,施氮量再增加,则胶稠度无明显变化,而直链淀粉含量对氮素反应不敏感,处理间无显著差异。陈莹莹等[13]研究了氮肥水平对江苏早熟晚粳食味品质的影响,结果表明食味值随着施氮量的增加而降低,增施氮肥使稻米蒸煮食味品质变劣。刘建等[14]研究认为,蘖肥和穗肥不同配比处理间的稻米直链淀粉含量存在较大差异,稻米蛋白质含量随穗肥比例提高而增加,当穗肥占 50% 时,稻米淀粉 RVA 谱出现显著变化,表现为峰值黏度降低、崩解值减小、消解值增大和糊化温度提高。

软米是一种特异的优质稻米类型,在我国云南、东南亚、日本等国家和地区均有种植,它是从野生稻中经多代选择培育出的一种优质稻,米质优良,蒸煮米饭柔软甜润爽口,冷不回生,软而不烂,硬而不坚,有的还具有香味,食用时冷热皆宜,对改良我国稻米品质具有重要作用[15-17]。近年来,江苏省农科院粮食作物所在粳型软米育种上取得重要进展,培育出来的诸如南粳 46、南粳 5055、南粳 9108 等优质粳型软米品种,在江苏省乃至全国举办的优良食味粳稻品评中表现突出。前人就施氮量对南粳 46 产量与品质影响的研究已有报道[18],但借助于食味计和质构仪,研究氮肥水平对粳型软米食味及质构特征影响的研究迄今尚未见报道。鉴于此,本课题组以 2 个粳型软米为试验材料,在机插条件下,设置了 4 个不同氮肥水平处理,分析了氮肥水平对粳型软米食味及质构特征的影响,以期为粳型软米的高产优质栽培提供参考。

1　材料与方法

1.1　供试材料

选用迟熟中粳型软米品种南粳 9108、早熟晚粳

型软米品种南粳5055为试验材料。试验于2012年在扬州大学农学院实验农场进行。土质为砂壤土，地力中等、平衡，前茬为小麦。土壤全氮含量1.41 g/kg、有机质2.07%、pH值7.7、碱解氮90.15 mg/kg、速效磷34.12 mg/kg、速效钾88.2 mg/kg。

1.2 试验设置

试验采用裂区设计，以品种为主区，施氮（纯氮）水平为裂区，设置N 0、150、225、300 kg/hm^2（分别用N0、N150、N225和N300表示）4个氮肥水平，裂区面积15 m^2，重复2次。主区间作大埂隔离，裂区内设小田埂，采用塑料薄膜覆盖所有埂体，保证各区间单独排灌。试验于5月25日软盘播种育秧，6月15日移栽，栽插密度为28.5万穴/hm^2（11.7 cm × 30.0 cm），三本栽插。氮肥基肥∶穗肥=6∶4，穗肥分别于倒四、倒二叶各施50%；基施磷（P_2O_5）、钾（K_2O）肥每公顷各施150 kg。其他管理措施统一按高产栽培要求实施。

1.3 测试项目和分析方法

1.3.1 米饭样品的制备　米水比为1∶1.1，蒸煮前浸泡30 min。米饭的蒸煮方法参照GB/T（15682）1995，蒸煮后用于味道和质构测定。

1.3.2 米饭食味指标的测定　采用米饭食味计（STA 1A，日本佐竹公司），自动测定米饭的气味、光泽和色泽、完整性、味道、口感的评分和综合评分值。

1.3.3 米饭质构指标的测定　采用质构仪（TA－XT2i，Stable Micro Systems，England）对蒸煮后的稻米进行质构分析，测试设置的参数为：测前速度1.00 mm/s，测试速度2.00 mm/s，测后速度2.00 mm/s，压缩程度70%，停留间隔5 s，触发值5 g。TPA试验特征值包括硬度、粘聚性、弹性、粘着性、回复性及咀嚼度。

1.4 数据分析

以Microsoft Excel进行数据处理，采用DPS 7.05软件进行统计及相关分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥水平对粳型软米食味品质指标的影响

方差分析表明，品种、氮肥水平在食味品质间差异极显著，除味值外，品种和氮肥水平在其他食味品质指标上存在显著互作效应。除完整性外，其他食味品质指标中氮肥的F值高于品种，说明粳型软米食味品质受到氮肥的影响大于品种（表1）。多重比较分析表明，不同氮肥水平对南粳9108和南粳5055两个品种的食味指标的影响均达到显著或极显著水平。香气、光泽、味道、口感和食味值随着施氮量的增加而降低，完整性随着施氮量增加而增加，其变异系数由高到低顺序为口感＞光泽＞食味值＞味道＞香气＞完整性，说明氮肥水平对粳型软米口感和光泽的影响程度较大，对香气和完整性的影响程度较小。品种间进行比较，除了完整性外，其他指标值南粳9108均高于南粳5055，说明南粳9108食味优于南粳5055。南粳9108各指标变异系数均高于南粳5055，说明南粳9108食味品质对氮肥的敏感性高于南粳5055。

2.2 粳型软米食味特征指标间的关系

由表2可知，粳型软米食味特征指标间存在一定的相关关系。食味值与香气、光泽、味道呈极显著正相关，与完整性呈极显著负相关；口感与香气、光泽、味道呈正相关，与完整性呈负相关，其中与光泽、完整性达显著水平；完整性与香气、光泽呈极显著负相关；光泽与香气呈极显著正相关。

2.3 氮肥水平对粳型软米质构特征指标的影响

方差分析表明，除了弹性外，其他质构特征指标在品种、氮肥水平间均存在极显著差异，品种和氮肥水平在硬度、粘聚性、咀嚼度、回复性存在显著互作效应，且氮肥水平F值高于品种，表明氮肥水平对粳型软米质构特征的影响大于品种（表3）。多重比较分析表明，两个品种除了弹性外，其他质地指标不同氮肥水平间均存在显著或极显著差异，硬度、粘聚性、咀嚼度、回复性均随着施氮量的增加呈先增加后降低趋势，最大值均为N225处理，而粘着性随着施氮量先降低再升高。各指标值的变异系数均为咀嚼度＞硬度＞回复性＞粘着性＞粘聚性，说明氮肥水平对粳型软米的咀嚼度、硬度影响较大，而对粘聚性的影响程度较小。品种间进行比较，南粳9108的硬度、粘着性、弹性、咀嚼度均低于南粳5055，粘聚性、回复性均高于南粳5055。南粳9108的质构指标的变异系数均高于南粳5055，说明，南粳9108质构特征对氮肥的敏感性高于南粳5055。

2.4 粳型软米质构特征指标间的关系

由表4可知，粳型软米质构特征指标间存在一定的相关关系。回复性与硬度、粘聚性呈显著或极显著正相关，与粘着性、弹性呈负相关，但不显著；咀嚼度与硬度、粘聚性呈显著或极显著正相关，与粘着性、弹性呈负相关，但不显著；弹性与硬度呈负相关，与粘着性呈正相关，但均不显著；粘着性与硬度呈负相关，也不显著。

表 1　不同处理粳型软米食味品质特征差异

Table 1　The taste values of *japonica* soft rice varieties under different treatments

品种 Varieties	处理 Treatments	香气 Aroma	光泽 Gloss	完整性 Integrity	味道 Taste	口感 Mouthfeel	食味值 Comprehensive
南粳 9108 Nanjing 9108	N0	6.87 Aa	6.44 Aa	7.19 Cc	6.75 Aa	6.45 Aa	68.98 Aa
	N150	6.69 Bb	5.60 Bb	7.36 Bb	6.34 Bb	6.30 Bb	62.09 Bb
	N225	6.64 BCb	5.27 Cc	7.42 ABb	6.26 Cc	5.28 Cc	59.42 Cc
	N300	6.56 Cc	4.91 Dd	7.53 Aa	6.12 Dd	4.92 Dd	57.23 Dd
	平均 Mean	6.69	5.55	7.37	6.37	5.74	61.93
	CV (%)	2.0	11.8	1.9	4.2	13.1	8.2
南粳 5055 Nanjing5055	N0	6.58 Aa	5.24 Aa	7.53 Cc	6.26 Aa	5.38 Aa	61.23 Aa
	N150	6.43 ABb	4.53 Bb	7.69 Bb	5.96 Bb	5.26 Bb	56.52 Bb
	N225	6.35 Bbc	4.39 Cc	7.76 ABb	5.89 Cc	4.50 Cc	54.21 Cc
	N300	6.32 Bc	4.05 Dd	7.84 Aa	5.80 Dd	4.26 Dd	51.90 Dd
平均 Mean		6.42	4.55	7.70	5.98	4.85	55.97
	CV (%)	1.9	11.0	1.7	3.4	11.4	7.1
				F 值 *F* value			
品种 Variety		49.46**	73.84**	84.42**	109.12**	59.73**	89.16**
氮肥 N level		41.58**	520.35**	23.64**	413.06**	747.82**	446.07**
品种×氮肥 Variety × N level		6.94**	4.27**	4.16**	5.02**	5.67**	2.18

注(Note): 同列数据后小、大写字母表示处理间差异达到5%或1%显著水平 Values followed by different small and capital letters in a column indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

表 2　不同食味特征指标间的相关性

Table 2　Correlation coefficients of taste values

品种 Varieties	指标 Index	香气 Aroma	光泽 Gloss	完整性 Integrity	味道 Taste	口感 Mouthfeel	食味值 Taste value
南粳 9108 Nanjing9108	香气 Aroma	1					
	光泽 Gloss	1.00**	1				
	完整性 Integrity	−0.99**	−1.00**	1			
	味道 Taste	1.00**	0.99**	−0.98**	1		
	口感 Mouthfeel	0.87	0.89*	−0.90*	0.83	1	
	食味值 Taste value	1.00**	1.00**	−0.99**	1.00**	0.88	1
南粳 5055 Nanjing5055	香气 Aroma	1					
	光泽 Gloss	0.98**	1				
	完整性 Integrity	−0.99**	−0.99**	1			
	味道 Taste	0.99**	1.00**	−0.99**	1		
	口感 Mouthfeel	0.89*	0.85	−0.90*	0.84	1	
	食味值 Taste value	0.99**	0.99**	−1.00**	0.99**	0.91*	1

注(Note): * —$P<0.05$; * *—$P<0.01$.

表 3 不同处理粳型软米质构特征差异

Table 3 The textural properties of *japonica* soft rice varieties under different treatments

品种 Varieties	处理 Treatments	硬度 Hardness	粘着性 Adhesiveness	弹性 Springiness	粘聚性 Cohesiveness	咀嚼度 Chewiness	回复性 Resilience
南粳 9108 Nanjing 9108	N0	3704 Bc	-141.21 Aa	0.3918 Aa	0.439 Bc	661.66 Bb	0.217 Bc
	N150	4289 Bbc	-189.30 ABab	0.4148 Aa	0.459 Bb	819.32 Bb	0.226 Bbc
	N225	9130 Aa	-249.35 Bc	0.3401 Aa	0.529 Aa	1748.83 Aa	0.374 Aa
	N300	4378 Bb	-201.02 ABbc	0.3688 Aa	0.469 Bb	787.26 Bb	0.236 Bb
	平均 Mean	5375	-195.22	0.3789	0.474	1004.27	0.263
	CV (%)	46.9	22.7	8.4	8.2	49.9	28.2
南粳 5055 Nanjing5055	N0	3906 Bc	-141.58 Aa	0.4288 Aa	0.4266 Bc	737.46 Bb	0.207 Bc
	N150	4516 Bbc	-191.64 ABab	0.4597 Aa	0.4571 Bb	936.02 Bb	0.222 Bbc
	N225	9338 Aa	-240.10 Bc	0.3765 Aa	0.4968 Aa	1868.06 Aa	0.347 Aa
	N300	4617 Bb	-203.32 ABbc	0.4165 Aa	0.4557 Bb	877.45 Bb	0.226 Bb
	平均 Mean	5594	-194.16	0.4204	0.4591	1104.75	0.250
	CV (%)	45.0	21.0	8.2	6.3	46.7	26.0
			F 值 *F* value				
品种 Varieties		41.57**	4.86*	0.04	4.16*	5.43*	12.77**
氮肥 N levels		249.75**	9.42**	1.03	27.51	527.86**	207.24**
品种×氮肥 Varieties ×N levels		23.18**	1.24	0.28	4.69**	3.48*	6.39**

注(Note)：同列数据后小、大写字母表示处理间差异达到 5% 或 1% 显著水平 Values followed by different small and capital letters in a column indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. * —$P<0.05$；* *—$P<0.01$.

表 4 不同质构特征指标间的相关性

Table 4 Correlation coefficients of textural properties

品种 Varieties	指标 Index	硬度 Hardness	粘着性 Adhesiveness	弹性 Springiness	粘聚性 Cohesiveness	咀嚼度 Chewiness	回复性 Resilience
南粳 9108 Nanjing9108	硬度 Hardness	1					
	粘着性 Adhesiveness	-0.88	1				
	弹性 Springiness	-0.81	0.72	1			
	粘聚性 Cohesiveness	0.98**	-0.95*	-0.83	1		
	咀嚼度 Chewiness	1.00**	-0.88*	-0.79	0.98**	1	
	回复性 Resilience	1.00**	-0.87	-0.84	0.97**	1.00**	1
南粳 5055 Nanjing5055	硬度 Hardness	1					
	粘着性 Adhesiveness	-0.83	1				
	弹性 Springiness	-0.84	0.62	1			
	粘聚性 Cohesiveness	0.93*	-0.97**	-0.67	1		
	咀嚼度 Chewiness	1.00**	-0.84	-0.79	0.94*	1	
	回复性 Resilience	1.00**	-0.83	-0.84	0.93*	1.00**	1

注(Note)：* —$P<0.05$；* *—$P<0.01$.

3　讨论

3.1　氮肥水平对粳型软米食味品质的影响及食味品质指标间的关系

围绕氮肥水平对常规粳稻食味值的影响进行了较多研究,如陈莹莹等[13]以 50 个早熟晚粳型水稻为材料,在 7 个氮肥水平条件下,研究了氮肥水平对水稻食味值的影响,表明食味值随着施氮量的增加而降低,增施氮肥使稻米蒸煮食味品质变劣。高辉等[22]研究了 4 种氮肥水平下 3 种不同生育期类型粳稻蒸煮食味品质的变化规律,表明在施氮量 0 ～ 300 kg/hm^2 范围内,食味值随施氮量增加而有所下降。本研究中,在施氮量 0 ～ 300 kg/hm^2 范围内,随着氮肥水平的增加,粳型软米食味值呈下降趋势,即增施氮肥使得粳型软米的食味品质变劣,这与前人在常规粳稻上的研究结果一致[13,21,22]。但随着氮肥水平的增加,完整性的变化与食味值相反,呈下降趋势,这与宋琪玲等[25]观察到的自由空气中臭氧浓度升高提高了粳稻武运粳 21 食味值而降低了完整性现象类似,关于其形成机理,有待于进一步研究。进一步对不同食味指标变异系数进行比较分析发现,氮肥对光泽和口感的影响程度要大于其他食味构成因素,说明氮肥主要通过影响光泽和口感来影响食味值。此外,本研究结果还发现了粳型软米的食味特征存在基因型间差异,因此,在实际生产应用中,注意因种确定适宜的氮肥施用量,有利于改善粳型软米食味品质。

前人研究结果表明,食味与稻米 RVA 特征值中的峰值黏度、热浆黏度、冷浆黏度与崩解值呈正相关,与消减值呈负相关,食味好的品种的峰值黏度高、崩解值大、消减值小[23-24]。本研究对不同氮肥条件下食味指标间的相关性进行了研究,结果表明,食味值与香气、光泽、味道、口感呈正相关,与完整性呈极显著负相关,其中与香气、光泽、味道、完整性达极显著水平;口感与香气、光泽、味道呈正相关,与完整性呈负相关,其中与光泽、完整性达显著水平;完整性与香气、光泽呈极显著负相关;光泽与香气呈极显著正相关。说明粳型软米香气、光泽、味道、口感提升的同时,完整性有变劣趋势,但食味值依然提高。本研究初步明确了采用 STA 1A - 东北粳稻模式下各食味特征参数间的相关性,加深了人们对食味指标间关系的认识,但各指标的相关性是固有的,还是受施氮水平的影响,有待于进一步深入研究和探讨。

3.2　氮肥水平对粳型软米质构特征的影响及质构指标间的关系

米饭的质构特征被认为是大米食用品质中最重要的因素[26-27],国内外已有较多学者利用质构仪研究稻米质构特征[28-29],但大多从品种角度研究稻米质构特征,关于施氮量对稻米质构特征的影响研究迄今尚未见报道。本研究结果表明,不同质构特征指标与施氮量的关系大致可以分为三类:第一类为硬度、粘聚性、咀嚼度、回复性等指标,表现为随着施氮量的增加呈先增加后降低趋势;第二类为粘着性,表现为随着施氮量的增加呈先降低再升高趋势;第三类为弹性,表现为不受施氮量的影响。陆大雷等[30]研究表明,拔节期随施氮肥水平增加鲜食糯玉米的硬度、脆度、弹性、粘聚性、咀嚼度、回复性等指标呈先升后降趋势,粘着性呈先降后升趋势,除弹性外,研究结果与本文基本一致。一般认为,食用功能好的稻米软而不粘,冷不回生,尽管本研究发现,米饭硬度和咀嚼度随着施氮水平均呈抛物线变化,且临界值在 225 kg/hm^2 处,但与不施氮处理相比各施氮处理均有大幅升高,说明增施氮肥使得米饭质地偏硬,口感变差。从质构特征指标值的变异系数来看,变异系数较大的为咀嚼度、硬度和回复性,说明粳型软米的咀嚼度、硬度和回复性易通过施氮量来调节。此外,在不同施氮处理下,南粳 9108 的硬度、粘着性、弹性、咀嚼度均低于南粳 5055,粘聚性高于南粳 5055;并且南粳 9108 的质构指标的变异系数均高于南粳 5055。这说明粳型软米的质构特征与食味特征一样存在基因型差异,因此,针对不同软米品种,采用合理的氮肥用量有利于改善粳型软米米饭质构特征。

金正勋等[23]研究表明,硬度和凝聚性与籼、粳稻的米饭适口性呈极显著负相关,而松弛性、黏附性和黏度与适口性呈极显著正相关。周显青等[32]研究表明,米饭硬度与脂肪含量、蛋白质含量、碱消度显著正相关,与米粒宽度和胶稠度显著负相关;黏着性与蛋白质含量极显著负相关;胶着性与蛋白质含量、碱消度显著正相关,与胶稠度显著负相关;咀嚼度与蛋白质含量呈显著正相关,与胶稠度呈显著负相关;弹性与碘蓝值呈显著正相关;回复性与碘蓝值呈显著正相关。Singh 等[33]研究发现,米饭硬度和咀嚼度与直链淀粉含量呈极显著正向关系。以上研究均以基因型为对象,研究了米饭质构特征与稻米理化特性的关系,但关于不同氮肥条件下稻米质构特征间的关系迄今尚未见报道。本研究对不同氮肥

水平条件下软米质构特征的相互关系进行了研究，结果表明粳型软米回复性与硬度、粘聚性呈显著或极显著正相关，与粘着性、弹性呈负相关，但不显著；咀嚼度与硬度、粘聚性呈显著或极显著正相关，与粘着性、弹性呈负相关，但相关不显著；弹性与硬度呈负相关，与粘着性呈正相关，系数均不显著；粘着性与硬度呈负相关，也不显著。说明粳型软米回复性、硬度、粘聚性、咀嚼度越好时，粘着性和弹性越差。本研究结果加深了人们对粳型软米质构特征的认识，但质构指标间的关系是固有的，还是由于氮肥引起的，有待于进一步研明。

4 结论

氮肥对粳型软米食味品质及质构特征存在显著影响。在本试验条件下，随着施氮量的增加，香气、光泽、味道、口感和食味值呈下降趋势，完整性则一直增加，食味指标对氮肥的敏感程度为口感 > 光泽 > 食味值 > 味道 > 香气 > 完整性；随着施氮量的增加，硬度、粘聚型、咀嚼度、回复性呈先增加后降低趋势，最大值在 225 kg/hm^2 处理，粘着性呈先降低后升高趋势，最低值在 225 kg/hm^2 处理，弹性不受氮肥的影响，质构指标对氮肥的敏感程度为咀嚼度 > 硬度 > 回复性 > 粘着性 > 粘聚性；南粳 9108 的食味品质和质构特征优于南粳 5055，并且前者对氮肥的敏感性大于后者。

参 考 文 献：

[1] 韩金香，胡培松，焦桂爱，等. 稻米蒸煮食味品质及其仪器分析的研究现状[J]. 中国稻米，2009(2)：1-4.
Han J X，Hu P S，Jiao G A *et al*. The rice cooking and eating quality and its current research status of instrument analysis[J]. China Rice，2009 (2)：1-4.

[2] 丁得亮，崔晶，张欣，等. 我国粳食味品质研究进展[J]. 江苏农业科学，2010(2)：1-4.
Ding D L，Cui J，Zhang X *et al*. The research progress of Japonica rice quality in China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2010 (2)：1-4.

[3] 莫惠栋. 我国稻米品质的改良[J]. 中国农业科学，1993，26(4)：8-14.
Mo H D. The rice quality improvement in our country[J]. Scientia Agricultura Sinica，1993，26(4)：8-14.

[4] 张春红，李金州，张亚东，等. 食味仪测定与感官评价相结合鉴定优质粳稻食味特性[J]. 江苏农业学报，2009，25(5)：958-965.
Zhang C H，Li J Z，Zhang Y D *et al*. The combination of measurement of the instrument and sensory evaluation to identify the features of high quality Japonica rice[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2009，25(5)：958-965.

[5] 叶全宝，张洪程，李华，等. 施氮水平和栽插密度对粳稻淀粉RVA谱特性的影响[J]. 作物学报，2005，31(1)：124-130.
Ye Q B，Zhang H C　Li H *et al*. Effects of amount of nitrogen applied and planting density on RVA profile characteristic of Japonica rice[J]. Acta Agronomica Sinica，2005，31(1)：124-130.

[6] 王艳，崔晶，王小波 等. 施肥对中日水稻品系土壤养分及食味品质的影响[J]. 中国生态农业学报，2010，18(2)：286-289.
Wang Y，Cui J，Wang X B *et al*. . Effect of fertilization method on soil available nutrients and taste of Japanese and Chinese rice[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture[J]. 2010，18(2)：286-289.

[7] Dong M H，Sang D Z，Wang P *et al*. Changes in cooking and nutrition qualities of grains at different positions in a rice panicle under different nitrogen levels[J]. Rice Science，2007，14(2)：141-148.

[8] Hao H L，Wei Y Z，Yang X E *et al*. Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe，Mn，Cu and Zn concentrations in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa*)[J]. Rice Science，2007，14(4)：289-294.

[9] 横江未央，川村周三. 北海道米と府県米の品質と食味の評価[J]. 日本作物学会紀事，2009，78(2)：180-188.
Mio Yokoe，Shuso Kawamura. Grain quality and eating quality of rice grown in Hokkaido and in other prefectures of Japan[J]. Japanese Journal of Crop Science，2009，78(2)：180-188.

[10] 陈莹莹，胡星星，陈京都，等. 氮肥水平对江苏早熟晚粳稻食味品质的影响及其品种间差异[J]. 作物学报，2012，38(11)：2086-2092.
Chen Y Y，Hu X X，Chen J D *et al*. Effect of nitrogen fertilizer application on eating quality of early-maturing late Japonica rice in Jiangsu and its difference among varieties[J]. Acta Agronomica Sinica，2012，38(11)：2086-2092.

[11] 金正勋，秋太权，孙艳丽，等. 氮肥对稻米垩白及蒸煮食味品质特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2001，7(1)：31-35.
Jin Z X，Qiu T Q，Sun Y L *et al*. Effect of nitrogen fertilizer on chalkness and eating quality of rice[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science，2001，7(1)：31-35.

[12] 金 军，徐大勇，蔡一霞等. 施氮量对水稻主要米质性状及RVA谱特征参数的影响[J]. 作物学报，2004，30(2)：154-158.
Jin J，Xu D Y，Cai Y X *et al*. Effect of nitrogen fertilizer on main quality characters of rice and RVA profile parameters[J]. Acta Agronomica Sinica，2004，30(2)：154-158.

[13] 刘艳阳，张洪程，戴其根，等. 不同地力水平下施氮量对水稻淀粉RVA谱特征的影响[J]. 中国水稻科学，2006，20(5)：529-534.
Liu Y Y，Zhang H C，Dai Q G *et al*. Effects of nitrogen application on RVA profile characters under different soil fertility levels[J]. Chinese Journal of Rice Science，2006，20(5)：529-534.

[14] 刘建，魏亚凤，徐少安. 蘖穗肥氮素配比对水稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 华中农业大学学报，2006，25(3)：223-227.

Liu J, Wei Y F, Xu S A. Effects of ratio of rice panicle nitrogen fertilizer on rice yield, quality and the utilization rate of nitrogen fertilizer[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2006, 25(3): 223-227.

[15] 苏振喜, 赵国珍, 廖新华, 等. 云南粳型特色软米食味品质性状稳定性分析[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(3): 320-324.
Su Z X, Zhao G Z, Liao X H *et al*. Stability of eating quality traits of Japonica soft rice from different locations at different altitudes in Yunnan province, China[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2010, 24(3): 320-324.

[16] 曾亚文, 申时全, 杨忠义 等. 云南稻种资源的蒸煮食味品质研究[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(5): 411-413.
Zeng Y W, Shen S Q, Yang Z Y *et al*. Cooking quality traits of rice landraces in Yunnan province[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2001, 23(5): 411-413.

[17] 周勇,夏九成, 黄世君, 等. 软米直链淀粉含量的遗传分析[J]. 西南农业学报, 2008, 21(4): 906-910.
Zhou Y, Xia J C, Huang S J *et al*. Genetic analysis of amylose content in soft rice[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2008, 21(4): 906-910.

[18] 魏海燕, 张洪程, 戴其根, 等. 施氮量对优质粳稻南粳46产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(11): 50-52.
Wei H Y, Zhang H C, Dai Q G *et al*. Effect of nitrogen fertilizer on yield and quality of Nanjing 46[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(11): 50-52.

[19] 林建荣, 詹勇强, 闵婕, 等. 稻米食味评分与理化指标的相关性分析[J]. 中国稻米, 2011, 17(3): 5-8.
Lin J R, Zhan Y Q, Min J *et al*. The correlation analysis of eating score and physical and chemical index[J]. China Rice, 2011, 17(3): 5-8.

[20] 梁乃亭, 魏玉波. 稻米食味品尝试验与结果评价方法[J]. 新疆农业科学, 1995, 21(6): 238-240.
Liang N T, Wei Y B. Rice taste test and method for result evaluation[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 1995, 21(6): 238-240.

[21] 殷春渊, 宁惠峰, 赵全志 等. 氮素穗肥施用量对沿黄稻区稻米品质和食味的影响[J]. 河南农业科学,2007, (5): 18-20.
Yin C Y, Ning H F, Zhao Q Z *et al*. Effects of N-fertilizer application amount at the panicle stage on rice quality and food taste along the Yellow River Valley[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007, (5): 18-20.

[22] 高辉, 马群, 李国业, 等. 氮肥水平对不同生育类型粳稻稻米蒸煮食味品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4543-4552.
Gao H, Ma Q, Li G Y *et al*. Effect of nitrogen application rate on cooking and eating qualities of different growth-development types of Japonica rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(21): 4543-4552.

[23] 金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 等. 稻米蒸煮食味品质特性间的相关性研究[J]. 东北农业大学学报, 2001, 32(1): 1-7.
Jin Z X, Qiu T Q, Sun Y L *et al*. The correlation between rice cooking and eating quality properties[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2001, 32(1): 1-7.

[24] 朱庆森, 杜永, 王志琴, 等. 杂交稻米的直链淀粉含量与米饭口感粘度硬度关系的研究[J]. 作物学报, 2001, 27(3): 377-382.
Zhu Q S, Du Y, Wang Z Q *et al*. Relationship between amylose content and edible stickiness and softness of cooked rice of hybrids[J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(3): 377-382.

[25] 宋琪琳, 齐义涛, 赵轶鹏, 等. 自由空气中臭氧浓度升高对"武运粳21"稻米物性及食味品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 566-571.
Song Q L, Qi Y T, Zhao Y P *et al*. Impact of free air ozone concentration enrichment on cooked rice (Wuyunjing 21) mouthfeel and palatability[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(5): 566-571.

[26] 任顺成, 周瑞芳, 李永红. 大米陈化过程中谷蛋白与大米质构特性的变化[J]. 中国粮油学报, 2002, 17(2): 42-46.
Ren S C, Zhou R F, Li Y H. The change of gluten and structure features in the aging process of rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17(2): 42-46.

[27] 赵学伟, 卞科, 王金水, 等. 蛋白质与淀粉的相互作用对陈化大米质构特性的影响[J]. 郑州粮食学院学报, 1998, 19(3): 23-29.
Zhao X W, Bian K, Wang J S *et al*. The interaction impact of protein and starch on structure characteristics of aged rice[J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 1998, 19(3): 23-29.

[28] Champagne E T, Lyon B G, Min B K *et al*. Effects of postharvest processing on mouthfeel profile analysis of cooked rice[J]. Cereal Chemistry, 1998, 75(2): 181-186.

[29] Meulenet J F, Champange E, Bett K L *et al*. Instrumental assessment of cooked rice texture characteristics: A method for breeders[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(4): 512-517.

[30] 陆大雷, 孙旭利, 王鑫, 等. 基肥配比和拔节期追氮对鲜食糯玉米籽粒物性的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(3): 557-562.
Lu D L, Sun X L, Wang X *et al*. Effects of basal fertilizer and nitrogen topdressing treatments at jointing stage on grain textural characteristics of fresh waxy maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(3): 557-562.

[31] 陈能, 罗玉坤, 朱智伟,等. 食用稻米米饭质地及适口性的研究[J]. 中国水稻科学, 1999, 13(3): 152-156.
Chen N, Luo Y K, Zhu Z W *et al*. Studies on the mouthfeel and palatability of cooked rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 1999, 13(3): 152-156.

[32] 周显青, 任洪玲, 张玉荣, 等. 大米主要品质指标与米饭质构的相关性分析[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(5): 22-24.
Zhou X Q, Ren H L, Zhang Y R *et al*. Correlation between mouthfeel property of cooked rice and main quality properties of rice[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 33(5): 22-24.

[33] Singh N, Kaur L, Sodhi N S *et al*. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars[J]. Food Chemistry. 2005, 89: 253-259.