

# 不同施氮水平下水稻穗上不同部位籽粒的蒸煮与营养品质变化

董明辉 桑大志 王 朋 王学明 杨建昌 \*

(扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009 ; E-mail : dongmh@yzcn .net ; \* 通讯联系人, E-mail : jcyang@yzu .edu .cn)

## Changes in Cooking and Nutritional Qualities of Grains at Different Positions Within a Rice Panicle under Different Nitrogen Levels

DONG Ming hui , SANG Da zhi , WANG Peng , WANG Xue ming , YANG Jian chang \*

( Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology , Jiangsu Province , Yangzhou University , Yangzhou 225009 , China ; E-mail : dongmh@yzcn .net ; \* Corresponding author , E-mail : jcyang@yzu .edu .cn)

**Abstract :** Differences in cooking and nutritional quality characteristics among the grains at different positions within a rice panicle were studied . The characteristics investigated included the distribution of gel consistence ( GC ) , amylose content ( AC ) and crude protein content ( CPC ) for different grains in a panicle under different nitrogen levels ( 0 , 120 , and 240 kg / hm<sup>2</sup> ) , by using two rice cultivars , Yangdao 6 ( indica ) and Wuyujing 3 ( japonica ) as tested materials . The grains on the primary and secondary branches at the basal part of a panicle had smaller GC and greater AC than those at the upper or middle part of a panicle . The first of earlier flowered grains on a secondary branch exhibited the greatest GC , whereas the second of later flowered grains on a primary branch showed the greatest AC . For Yangdao 6 , the CPC in the grains on a primary branch at the middle part of a panicle was lower , contrary to that at the upper or basal part of a panicle . For Wuyujing 3 , there was no significant difference in CPC of the grains on the primary and secondary branches among the upper , middle and basal parts of a panicle . GC in the grains was increased , whereas AC was reduced from no nitrogen application ( 0 ) to low amount of nitrogen application ( 120 kg / hm<sup>2</sup> ) , and the result was reversed from nitrogen at 120 kg / hm<sup>2</sup> level to medium amount of nitrogen application ( 240 kg / hm<sup>2</sup> ) . CPC in grains was increased with the increase of the amount of nitrogen application .

**Key words :** rice ; grain position ; cooking quality ; nutritional quality ; nitrogen fertilizer

**摘 要 :** 以中熟籼稻扬稻 6 号和中熟粳稻武育粳 3 号为材料 , 研究了不同施肥水平下稻米蒸煮及营养品质在穗上不同粒位籽粒间的差异及其分布特点。总体而言 , 穗下部一、二次枝梗籽粒的胶稠度较低 , 直链淀粉含量较高 ; 穗中、上部一、二次枝梗的胶稠度较高 , 直链淀粉含量较低。在同一个枝梗上 , 二次枝梗上早开花的第 1 粒的胶稠度最高 , 穗子中、上部一次枝梗迟开花的第 2 粒的直链淀粉含量较高。扬稻 6 号穗中部一次枝梗籽粒的粗蛋白含量较低 , 穗上、下部枝梗上籽粒的粗蛋白含量较高 ; 而武育粳 3 号一次枝梗和二次枝梗籽粒的粗蛋白含量在穗上、中、下三部位间无明显差异。从不施氮到少量施氮 ( 120 kg / hm<sup>2</sup> ) , 稻米的胶稠度和粗蛋白含量增加 , 直链淀粉含量降低。但从少量施氮 ( 120 kg / hm<sup>2</sup> ) 到中等施氮 ( 240 kg / hm<sup>2</sup> ) , 稻米的胶稠度降低 , 直链淀粉和粗蛋白含量有不同程度增加。

**关键词 :** 水稻 ; 粒位 ; 蒸煮品质 ; 营养品质 ; 氮肥

中图分类号 : Q945 ; S511 .01      文献标识码 : A      文章编号 : 1001-7216(2006)04-0389-07

关于稻米品质的研究 , 国内外已不乏报道<sup>[1-6]</sup>。现有研究明确了稻米的品质性状不仅受遗传因素的控制 , 也受光、温、水、肥等多个生态和环境因子的影响。稻米的蒸煮及营养品质是重要的品质性状。关于氮素营养与稻米蒸煮及营养品质的关系 , 国内外的许多研究表明 , 随着氮素营养的增加 , 稻米的蛋白质含量提高 , 胶稠度变短 , 直链淀粉含量下降 , 蒸煮食味品质变劣<sup>[7-9]</sup>。而对一个稻穗而言 , 由于各枝梗籽粒以及在同一枝梗上不同粒位籽粒间存在发育及开花时间上的差异 , 因而形成粒重和品质性状有差异的籽粒 , 不同部位间米质性状也存在一定的差异<sup>[10-13]</sup>。但有关水稻穗上不同部位及不同粒位籽粒的蒸煮及营养品质的差异及其分布特点 , 栽培与环境条件如何影响与调控不同粒位籽粒蒸煮与营养

品质 , 还鲜有报道。本研究以中熟粳稻武育粳 3 号和中熟籼稻扬稻 6 号为材料 , 研究了不同类型水稻品种稻米胶稠度、直链淀粉含量和蛋白质含量等在粒位间的差异以及在穗上的分布状况 , 观察了肥料运筹对穗上不同粒位籽粒蒸煮及营养品质的影响 , 阐明了稻米品质在不同粒位及在穗上的分布特点 , 以期通过研究 , 进一步探明穗上不同粒位籽粒米质的形成机理 , 探求稻米品质改良的技术途径 , 为水稻优质高产育种与栽培提供理论依据。

收稿日期 : 2005-06-15 ; 修改稿收到日期 : 2005-07-07。  
基金 项目 : 国家 自然 科学 基金 资助 项目 ( 30370828 , 30400276 ) ; 江苏 省 自然 科学 基金 资助 项目 ( BK2003041 ) 。  
第一 作者 简介 : 董 明 辉 ( 1970 - ) , 男 , 讲 师 , 博 士 研 究 生。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于2003—2004年在扬州大学农学院试验农场进行。供试品种为中熟粳稻武育梗3号和中熟籼稻扬稻6号。试验地为麦茬稻田,耕作层有机质含量20.2 g/kg,土壤有效氮103.2 mg/kg,速效磷24.5 mg/kg,速效钾85.6 mg/kg。

### 1.2 试验设计

采用裂区设计,氮肥水平为主区,品种为裂区(小区)。氮肥设置3种水平:中氮(全生育期施氮240 kg/hm<sup>2</sup>)、低氮(全生育期施氮120 kg/hm<sup>2</sup>)、不施氮(全生育期不施氮)。所施氮肥为尿素(含氮率46%),按基肥:穗肥(质量比)=6:4施用。基肥在移栽前施用,穗肥在叶龄余数1.5时施用。5月10日播种,6月8日移栽。株行距为20 cm×20 cm,每穴2苗,小区面积为20 m<sup>2</sup>,重复3次。

### 1.3 取样

在抽穗期,各小区选取同日抽穗、穗型大小基本一致的穗子500个并挂上纸牌作标记,观察部分穗并记录各粒开花日期。成熟期在各小区中摘取标记穗400个,按穗上枝梗部位及粒位分类取样。扬稻6号一个稻穗一般有11~12个一次枝梗,穗顶端的3~4个一次枝梗作为穗上部,穗中部的4个一次枝梗作为穗中部,穗基部的4个一次枝梗作为穗下部。武育梗3号一般有9~10个一次枝梗,上、下两部各由3个一次枝梗组成,中部为3~4个一次枝梗(图1)。按图1稻穗结构模式图,从上到下,将一次枝梗上的第1至第6粒分成6个粒位,将二次枝梗上第1至第3粒或第4粒分成3个或4个粒位。穗上同一部位、同一粒位的籽粒合并,作为一个样本。用水漂法剔除空瘪粒,经自然风干后测定稻米品质。

### 1.4 测定方法

直链淀粉含量、胶稠度测定方法按照中华人民共和国国家标准《GB/T17891-1999 优质稻谷》执行<sup>[14]</sup>。(粗)蛋白质含量用凯氏定氮法测定精米中的含氮量,换算系数为5.95。

## 2 结果与分析

### 2.1 籽粒胶稠度在穗上的分布特点

由表1可知,籽粒胶稠度在穗上的分布因品种和施氮量的不同而异。在中氮水平下,武育梗3号穗上一、二次枝梗各部位籽粒胶稠度的大小均表现为穗中部>上部>下部;扬稻6号穗上一次枝梗表

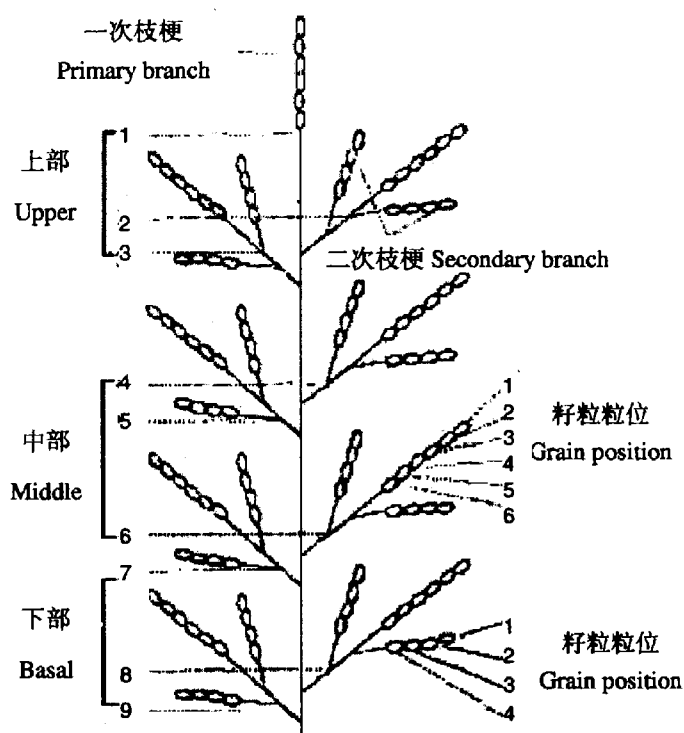


图1 水稻穗结构模式图

Fig. 1. Schematic representation of a rice panicle.

现为上部>中部>下部,二次枝梗籽粒的胶稠度为穗下部>上部>中部。在低氮水平下,武育梗3号穗上一、二次枝梗的胶稠度和扬稻6号穗上二次枝梗的胶稠度均表现为穗上部>中、下部,而扬稻6号穗上一次枝梗则表现为中部>下部>上部。在不施氮水平下,扬稻6号穗上一、二次枝梗的胶稠度均表现为下部>上部>中部,武育梗3号穗部一次枝梗的胶稠度为中、下部>上部,中、下部差异不大,二次枝梗表现为中部>上、下部,上、下部差异不大。总体上,在3种氮肥处理下,扬稻6号穗上相同部位一次枝梗籽粒的胶稠度均大于二次枝梗籽粒;武育梗3号在中氮水平下籽粒的胶稠度,上部一次枝梗大于二次枝梗;在不施氮和低氮处理下,籽粒的胶稠度均为二次枝梗大于一次枝梗。

对穗上各枝梗不同粒位籽粒胶稠度的大小进行排序,结果见表2。扬稻6号二次枝梗上第1粒的胶稠度最高,而两供试品种穗部一次枝梗和武育梗3号二次枝梗上各部位不同粒位籽粒的胶稠度大小排序不定。说明在同一枝梗上,各粒位籽粒胶稠度的大小因穗上不同部位和施氮量水平的不同均会发生变化,与颖花开放时间的顺序无必然联系。

两水稻品种穗上籽粒平均胶稠度的大小对施氮量的反应较为一致(表1,表2)。总体上表现为,在不施氮到低氮范围内,随着施氮量的增加,稻米籽粒的胶稠度也呈现增加的趋势;施氮后,扬稻6号主要

表 1 水稻穗上不同部位籽粒胶稠度

Table 1 . Gel consistence of the grains at different parts within a panicle of rice .

穗上部位 Parts of the panicle	一次枝梗 Primary branch						二次枝梗 Secondary branch					
	扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3			扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3		
	全部籽粒平均 <sup>1)</sup> Mean of total grains <sup>1)</sup> /mm	各部位籽粒 <sup>2)</sup> Grains at various parts <sup>2)</sup> /mm	变异系数 CV /%	全部籽粒平均 <sup>1)</sup> Mean of total grains <sup>1)</sup> /mm	各部位籽粒 <sup>2)</sup> Grains at various parts <sup>2)</sup> /mm	变异系数 CV /%	全部籽粒平均 <sup>1)</sup> Mean of total grains <sup>1)</sup> /mm	各部位籽粒 <sup>2)</sup> Grains at various parts <sup>2)</sup> /mm	变异系数 CV /%	全部籽粒平均 <sup>1)</sup> Mean of total grains <sup>1)</sup> /mm	各部位籽粒 <sup>2)</sup> Grains at various parts <sup>2)</sup> /mm	变异系数 CV /%
中氮 MN	66.3 b			67.6 a			61.0 b			66.1 b		
上部 Upper		71.9 a	12.4		68.5 a	4.8		61.0 a	14.6		69.1 a	12.8
中部 Middle		65.0 b	3.0		72.6 a	9.3		59.1 a	8.6		70.9 a	13.4
下部 Basal		62.1 b	9.1		61.8 b	4.8		62.9 a	15.8		58.3 b	11.3
低氮 LN	69.0 a			67.5 a			65.3 a			70.3 a		
上部 Upper		60.3 c	12.2		71.0 a	11.9		67.6 a	13.2		79.5 a	10.5
中部 Middle		79.1 a	13.7		65.9 b	13.0		64.8 a	6.8		63.1 b	11.2
下部 Basal		67.7 b	11.8		65.7 b	9.3		63.6 a	11.1		68.3 b	6.6
不施氮 NN	60.6 c			64.9 b			57.4 b			69.0 ab		
上部 Upper		61.8 a	10.9		60.0 b	15.2		63.1 a	26.0		67.0 b	12.5
中部 Middle		55.9 b	7.6		67.1 a	6.9		45.1 b	6.5		72.9 a	3.0
下部 Basal		64.2 a	6.6		67.5 a	5.5		63.9 a	6.7		67.0 b	5.6

1) 数据后带不同字母者表示同一品种籽粒的胶稠度在不同施肥水平下 ,在 0.05 水平上差异显著 ;

2) 数据后带不同字母者表示在相同施肥水平下 ,穗上不同部位籽粒的胶稠度在 0.05 水平上差异显著。

1) Data followed by different letters indicate significant difference at 0.05 level for gel consistence of the rice grains under different nitrogen levels .

2) Data followed by different letters indicate significant difference at 0.05 level for gel consistence of the rice grains at different parts of a panicle under the same nitrogen level .

MN , Medium nitrogen level (240 kg/hm<sup>2</sup>) ; LN , Low nitrogen level (120 kg/hm<sup>2</sup>) ; NN , No nitrogen applied .

表 2 水稻穗上不同粒位籽粒胶稠度

Table 2 . Gel consistence of the grains at the different positions within a rice panicle .

穗上部位 及粒位 Parts of the panicle and grain position	一次枝梗 Primary branch						二次枝梗 Secondary branch					
	扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3			扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3		
	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN
穗上部 Upper part of a panicle												
1	62.5	59.0	61.5	65.0	85.5	51.5	74.5	77.5	88.5	83.0	75.0	74.0
2	81.5	48.5	62.0	69.5	63.5	76.0	52.5	71.0	48.0	64.0	73.5	75.0
3	61.0	65.0	75.0	68.0	65.0	63.5	60.0	66.5	60.0	66.5	77.0	57.5
4	76.0	66.0	57.5	67.5	64.5	51.5	57.0	55.5	56.0	63.0	92.5	61.5
5	80.5	68.5	58.5	68.5	70.5	55.0						
6	70.0	55.0	56.0	72.5	77.0	62.5						
穗中部 Middle part of a panicle												
1	65.0	67.5	60.0	62.0	82.5	60.5	66.0	70.0	47.5	85.0	54.0	75.0
2	64.5	71.0	56.5	76.0	65.0	70.5	55.5	66.5	45.5	69.5	61.0	72.0
3	67.0	70.5	59.0	-	65.5	69.5	60.5	60.0	41.0	68.0	66.5	73.0
4	66.0	82.0	58.0	81.0	56.0	65.5	54.5	62.5	46.5	61.0	71.0	71.5
5	65.5	87.5	48.5	72.0	64.0	72.5						
6	62.0	96.0	53.5	72.0	62.5	64.0						
穗下部 Basal part of a panicle												
1	55.0	75.5	63.0	63.5	70.5	71.0	73.0	73.0	67.5	53.0	72.0	64.0
2	68.5	74.5	67.5	63.5	58.5	71.5	71.0	65.0	67.0	55.5	65.5	64.0
3	63.5	75.0	67.0	65.0	60.0	68.0	52.5	61.0	59.5	66.5	72.0	70.0
4	62.5	60.0	61.0	58.0	62.0	66.5	55.0	55.5	61.5	-	63.5	70.0
5	67.5	58.5	58.5	60.0	73.5	65.5						
6	55.5	62.5	68.0	61.0	69.5	62.5						

是增加了穗中部一、二次枝梗籽粒的胶稠度 ,分别增加了 41.5 %和 43.7 % ;武育粳 3 号主要增加了穗上部一、二次枝梗的胶稠度 ,分别增加了 18.3 %和 18.7 %。施氮量从低氮增加到中氮水平 ,两个品种

稻米籽粒的平均胶稠度略有降低 ,且一、二次枝梗籽粒均有所下降 ,但平均值仍高出不施氮水平。以上结果说明 ,氮肥水平既影响穗上籽粒胶稠度 ,也影响一、二次枝梗籽粒胶稠度在穗上各部位的分布。

表 3 水稻穗上不同部位籽粒直链淀粉含量

Table 3 .Amylose content of the grains at different parts within a panicle of rice . %

穗上部位 Parts of the panicle	一次枝梗 Primary branch						二次枝梗 Secondary branch					
	扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3			扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3		
	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数
	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV
中氮 MN	13.6 c			15.7 a			14.5 ab			14.3 a		
上部 Upper		13.5 a	8.2		13.8 b	29.0		14.3 a	3.1		11.3 b	58.4
中部 Middle		13.4 a	13.6		16.6 a	5.7		14.5 a	8.8		15.6 a	2.2
下部 Basal		14.0 a	12.3		16.6 a	8.2		14.6 a	1.2		16.0 a	20.9
低氮 LN	15.2 b			14.2 b			13.5 b			15.4 a		
上部 Upper		15.9 a	8.1		14.6 a	23.8		14.9 a	6.4		16.0 a	3.5
中部 Middle		15.6 a	6.3		14.6 a	13.7		14.4 a	15.1		14.6 a	14.0
下部 Basal		14.2 b	13.9		13.5 a	12.0		11.3 b	28.3		15.7 a	4.8
不施氮 NN	16.8 a			15.9 a			14.5 a			15.9 a		
上部 Upper		17.4 a	9.5		15.4 b	15.4		15.5 a	8.0		15.1 a	4.6
中部 Middle		15.6 b	10.0		18.5 a	6.3		12.9 b	14.3		17.8 a	2.3
下部 Basal		17.4 b	9.1		13.7 b	18.3		15.3 a	3.3		14.8 a	17.5

1) 数据后带不同字母者表示同一品种籽粒的直链淀粉含量 ,在不同施肥水平下 ,在 0 .05 水平上差异显著 ;

2) 数据后带不同字母者表示在相同施肥水平下 ,穗上不同部位籽粒的直链淀粉含量在 0 .05 水平上差异显著。

1) Data followed by different letters indicate significant difference at 0 .05 level for amylose content of the grains of rice under different ni trogen levels .

2) Data followed by different letters indicate significant difference at 0 .05 level for amylose content of the grains at different parts of a pani cle under the same nitrogen level .

表 4 水稻穗上不同粒位籽粒直链淀粉含量

Table 4 .Amylose content in the grains at different positions within a rice panicle . %

穗上部位 及粒位 Parts of the panicle and grain position	一次枝梗 Primary branch						二次枝梗 Secondary branch					
	扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3			扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3		
	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN
穗上部 Upper part of a panicle												
1	12.6	15.2	-	18.8	17.3	17.5	14.5	13.7	14.7	17.7	16.4	-
2	14.8	17.6	18.3	15.8	18.6	12.2	14.6	14.9	14.4	16.4	15.6	14.4
3	13.9	15.1	14.5	12.7	16.9	17.6	13.7	16.0	17.1	15.7	-	15.7
4	13.8	14.1	18.0	8.0	12.9	17.3	14.6	15.2	15.9	15.5	-	15.2
5	13.9	16.7	18.2	-	10.7	13.2						
6	11.2	16.5	18.3	13.4	11.0	14.7						
穗中部 Middle part of a panicle												
1	11.7	15.5	13.3	16.8	13.1	19.4	14.7	15.1	14.2	16.1	-	17.2
2	15.7	15.1	17.2	17.8	12.7	16.5	12.6	16.3	14.0	15.3	12.4	18.1
3	14.5	15.9	15.4	-	14.9	18.8	15.4	14.9	13.0	15.7	15.0	17.9
4	10.8	16.9	17.0	15.8	13.2	18.8	15.3	11.3	10.2	15.5	16.4	18.0
5	13.9	16.1	14.4	17.2	15.6	17.6						
6	13.6	14.0	16.5	15.5	17.9	19.5						
穗下部 Basal part of a panicle												
1	11.7	14.1	14.4	17.1	12.3	17.9	14.8	14.1	16.0	12.2	15.7	16.4
2	15.2	12.4	18.2	17.8	13.3	12.9	14.5	11.1	14.8	17.9	16.7	18.0
3	15.1	17.2	18.3	16.3	15.5	14.9	14.7	6.9	15.1	18.0	15.6	15.2
4	14.8	12.5	17.9	15.5	11.1	12.3	14.5	13.1	15.5	-	14.8	16.5
5	11.8	15.9	18.6	14.7	14.1	13.4						
6	15.3	13.0	17.0	17.3	14.8	10.7						

2.2 籽粒直链淀粉含量在穗上的分布特点

穗上不同部位籽粒直链淀粉含量平均值列于表 3。在中氮水平下 ,扬稻 6 号穗上各部位一、二次枝梗籽粒的直链淀粉含量差异不大 ,下部略高于中、上部 ,武育粳 3 号穗中、下部籽粒的直链淀粉含量大致相同 ,均大于上部籽粒 ,且部位间籽粒的差距大于扬

稻 6 号。在低氮水平下 ,除武育粳 3 号二次枝梗表现为穗上部 > 下部 > 中部外 ,两品种其他各部位一、二次枝梗均呈现为穗上部 > 中部 > 下部 ,其中上、中部的差异不大。在不施氮水平下 ,扬稻 6 号一、二次枝梗的籽粒直链淀粉含量均表现为穗上、下部 > 中部 ,且上、下部差异不大 ;而武育粳 3 号则表现为穗



中部>上部>下部。穗上同一部位一、二次枝梗籽粒直链淀粉含量因品种和施氮量不同而异,扬稻6号在中氮水平下,均为二次枝梗大于一次枝梗,而在低氮和不施氮水平下,均为一次枝梗大于二次枝梗;武育粳3号则呈现相反的趋势,即在中氮水平下,为一次枝梗大于二次枝梗,在低氮和不施氮水平下,均为二次枝梗大于一次枝梗。

对同一枝梗上不同粒位的籽粒的直链淀粉含量大小进行排序(表4),在中氮水平下,扬稻6号和武育粳3号穗上各部位一次枝梗第2粒的直链淀粉含量较高;二次枝梗上,扬稻6号各部位不同粒位籽粒直链淀粉含量大小排序不定。武育粳3号为上、中部第1粒最高,下部第3粒(末位籽粒)较高。在低氮水平下,两品种上部一次枝梗第2粒仍较高,而中、下部直链淀粉较高的籽粒随品种和部位的不同均发生了改变。在不施氮水平下,扬稻6号各部位一次枝梗上第2粒位仍较高,而武育粳3号第2粒位籽粒却较低,其他粒位籽粒的大小排序有高有低。在低氮和不施氮水平下,二次枝梗籽粒的排序表现为,扬稻6号以上部第3粒和中下部第1粒较高,而武育粳3号则受到氮肥施用量和籽粒部位的影响,大小排序均发生变化。

籽粒的直链淀粉含量对施氮量反应因不同品种和穗上不同部位而异(表3、表4)。在不施氮到中氮

水平范围内,随着施氮量的增加,扬稻6号穗上各部位一次枝梗籽粒的直链淀粉含量呈下降趋势,中氮和低氮分别比不施氮下降了19.0%和9.5%,施氮量对二次枝梗上籽粒的直链淀粉含量影响不大。武育粳3号穗上一、二次枝梗上籽粒的直链淀粉含量对施氮量的反应因部位不同而异:上部一、二次枝梗籽粒的直链淀粉含量在施氮量从不施氮增加至低氮水平时无明显变化,但从低氮增加到中氮水平时,籽粒的直链淀粉含量均明显下降;中部一、二次枝梗籽粒的直链淀粉含量在施氮量从不施氮增加到低氮水平时明显下降,从低氮增加到中氮水平时略有增加,但仍低于不施氮水平;下部一次枝梗籽粒直链淀粉含量在从不施氮增加至低氮水平时无明显变化,但从低氮增加到中氮水平时明显增加。二次枝梗籽粒直链淀粉含量则随着施氮量的增加而呈现增加的趋势。

2.3 籽粒粗蛋白含量在穗上的分布特点

穗上不同部位籽粒粗蛋白含量列于表5。在中氮和低氮水平下,扬稻6号穗上一次枝梗籽粒的粗蛋白含量表现为穗上、下部>中部,且上、下部位差异不大;二次枝梗籽粒的粗蛋白含量均表现为穗下部>中部>上部,在不施氮水平下,穗下部一次枝梗籽粒的粗蛋白含量最低,上、中部一次枝梗籽粒的粗蛋白含量较高;二次枝梗籽粒的粗蛋白含量以

表5 水稻穗上不同部位籽粒粗蛋白质含量

Table 5 .Crude protein content in the grains at different parts within a panicle of rice .

%

穗上部位 Parts of the panicle	一次枝梗 Primary branch						二次枝梗 Secondary branch					
	扬稻6号 Yangdao 6			武育粳3号 Wuyujing 3			扬稻6号 Yangdao 6			武育粳3号 Wuyujing 3		
	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数	全部籽粒平均 <sup>1)</sup>	各部位籽粒 <sup>2)</sup>	变异系数
	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV	Mean of total grain <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV	Mean of total grains <sup>1)</sup>	Grains at various parts <sup>2)</sup>	CV
中氮 MN	10.5 a			6.4 a			8.9 a			6.2 a		
上部 Upper		11.8 a	20.9		5.9 b	11.9		8.4 b	31.9		6.1 b	21.0
中部 Middle		8.5 b	13.9		6.3 b	7.4		8.5 b	9.1		5.7 b	12.6
下部 Basal		11.2 a	13.3		6.9 a	16.6		9.8 a	4.1		6.7 a	10.3
低氮 LN	8.2 b			6.5 a			8.0 b			6.2 a		
上部 Upper		8.0 a	7.6		6.4 a	6.0		7.4 b	10.3		6.3 a	6.1
中部 Middle		7.7 a	14.3		6.4 a	8.0		7.7 ab	15.4		6.2 a	3.7
下部 Basal		8.9 a	22.5		6.6 a	6.2		8.9 a	6.0		6.1 a	7.3
不施氮 NN	8.3 b			6.5 a			8.3 ab			5.9 a		
上部 Upper		8.6 a	21.4		6.3 a	8.7		7.6 a	0.9		6.3 a	9.9
中部 Middle		8.7 a	9.5		6.7 a	10.4		8.9 a	10.0		5.8 ab	11.4
下部 Basal		7.5 a	5.7		6.5 a	3.1		8.5 a	15.5		5.7 b	8.6

<sup>1)</sup> 数据后带不同字母者表示同一品种籽粒的粗蛋白质含量在不同施肥水平下,在0.05水平上差异显著;

<sup>2)</sup> 数据后带不同字母者表示相同施肥水平下,穗上不同部位籽粒的粗蛋白质含量在0.05水平上差异显著。

<sup>1)</sup> Data followed by different letters indicate significant difference at 0.05 level for crude protein content of the grains under different nitrogen levels ;

<sup>2)</sup> Data followed by different letters indicate significant difference at 0.05 level for crude protein content of the grains at different parts of a panicle under the same nitrogen level .

表 6 水稻穗上不同粒位籽粒粗蛋白含量

Table 6 .Crude protein content in the grains at different positions within a rice panicle . <span>%</span>												
穗上部位 及粒位 Parts of the panicle and grain position	一次枝梗 Primary branch						二次枝梗 Secondary branch					
	扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3			扬稻 6 号 Yangdao 6			武育粳 3 号 Wuyujing 3		
	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN	中氮 MN	低氮 LN	不施氮 NN
穗上部 Upper part of a panicle												
1	12.7	7.9	-	6.2	6.2	6.2	9.3	7.3	9.3	4.3	6.7	6.9
2	10.6	7.8	6.9	6.5	6.3	5.9	8.8	8.4	6.7	6.4	6.0	6.1
3	13.2	8.0	10.0	4.7	7.1	6.0	8.8	6.6	6.5	6.4	-	6.8
4	15.7	7.2	8.7	6.4	6.1	6.3	6.6	7.4	8.9	7.2	6.1	5.6
5	9.3	8.6	9.6	5.5	6.4	6.2						
6	11.3	8.6	7.7	6.3	6.2	7.4						
穗中部 Middle part of a panicle												
1	8.2	9.4	7.5	5.8	6.5	6.1	9.1	7.9	9.4	6.1	-	6.1
2	6.7	7.7	8.0	5.8	6.1	7.4	7.5	9.1	8.4	4.7	6.4	6.6
3	7.8	8.7	8.0	7.1	7.3	7.0	9.2	6.3	7.9	6.3	6.2	5.3
4	9.1	7.5	7.4	6.8	6.4	7.4	8.4	7.4	9.9	5.6	5.9	5.2
5	9.4	9.3	9.2	6.4	6.4	5.7						
6	10.0	9.3	5.8	6.6	5.9	6.5						
穗下部 Basal part of a panicle												
1	11.3	9.4	8.1	5.8	6.2	6.8	10.1	9.4	7.9	6.9	5.8	6.3
2	8.8	8.7	6.1	6.5	6.7	6.3	9.5	8.9	7.1	6.3	5.4	5.7
3	9.0	8.4	6.3	7.8	7.0	6.6	9.2	8.6	7.3	6.2	6.6	5.1
4	10.1	8.9	8.5	7.4	7.2	6.3	10.5	9.3	9.8	7.3	-	5.6
5	12.6	8.4	7.9	5.6	6.4	6.4						
6	15.4	9.6	7.8	8.5	6.3	6.7						

穗上部的较低 ,中、下部较高 ,但差异均不大。

在 3 种施氮水平下 ,武育粳 3 号穗上一次枝梗籽粒的粗蛋白含量 ,均表现为穗中、下部 > 上部 ,但各部位差异不大。二次枝梗籽粒的粗蛋白含量 ,在中氮水平下表现为穗下部 > 上部 > 中部 ,在低氮和不施氮水平下表现为上部 > 中部 > 下部 ,但各部位之间的差距也不大。总体而言 ,在同一施肥水平下 ,扬稻 6 号和武育粳 3 号穗上各部位一次枝梗上籽粒的平均粗蛋白含量高于二次枝梗。进一步分析发现 ,随施氮量的增加 ,扬稻 6 号穗上一次枝梗与二次枝梗籽粒的平均粗蛋白含量的差距不断加大 ,在不施氮、低氮和中氮 3 种水平下 ,差距分别为 0.0%、2.5%和 18.0% ;而武育粳 3 号穗上一次枝梗与二次枝梗平均粗蛋白含量的差距则随着施氮量增加而缩小 ,分别为 10.2%、4.8%和 3.2%。

粗蛋白含量在不同粒位间的分布因品种、穗上部位和施氮量的不同而异(表 6)。从一次枝梗上不同粒位籽粒的粗蛋白含量的大小分布特点来看 ,扬稻 6 号处在第 1 位的籽粒有在第 1 粒的 ,也有在第 3、4、5、6 粒的 ,相对而言 ,一次枝梗上基部第 5、6 粒位籽粒的粗蛋白含量较高 ;武育粳 3 号穗上各粒位籽粒的粗蛋白含量排序不定。在大多数情况下 ,两个供试品种二次枝梗上第 1 粒的粗蛋白含量较高 ,其他粒位籽粒粗蛋白含量的排序因施氮水平和在穗上部位不同而异。

随着施氮量的增加 ,扬稻 6 号穗上一、二次枝梗

籽粒的平均粗蛋白含量也随之升高 ,穗上部和下部一、二次枝梗籽粒尤为明显 ,且一次枝梗增加的幅度要明显大于二次枝梗。中氮水平下穗上部和下部籽粒的粗蛋白含量分别比不施氮处理增加 37.2%和 49.2% ,武育粳 3 号一次枝梗上籽粒的粗蛋白含量对施氮量的反应不大 ,而二次枝梗籽粒的粗蛋白含量随着施氮量的增加有所增加 ,以下部二次枝梗籽粒粗蛋白含量的增加更明显。

### 3 讨论

本研究较为系统地观察了两个不同类型粳、籼稻品种籽粒直链淀粉含量、胶稠度及粗蛋白含量在穗上不同部位及粒位间的分布状况。结果显示 ,穗下部一、二次枝梗的胶稠度较低 ,直链淀粉含量较高 ,穗中、上部一、二次枝梗的胶稠度较高 ,直链淀粉含量较低。表明就全穗而言 ,稻米的蒸煮食味品质与穗上枝梗的发育顺序有关 ,即 :着生于穗上生长发育较早的枝梗(穗中、上部枝梗)上的籽粒 ,蒸煮品质较好(米胶长、直链淀粉含量低) ;发育较迟枝梗(穗下部枝梗)上的籽粒 ,结果则相反。就同一个枝梗而言 ,在多数情况下 ,扬稻 6 号二次枝梗上早开花的第 1 粒的胶稠度最高 ,而其一次枝梗与武育粳 3 号同一枝梗上不同粒位籽粒的胶稠度大小则因施氮水平的不同而异 ;本研究表明 ,在不同的施氮水平下 ,扬稻 6 号穗上一次枝梗迟开花的第 2 粒的直链淀粉含量较高 ,而武育粳 3 号除了在中氮水平下 ,穗上各部



位一次枝梗迟开花的第 2 粒的直链淀粉含量较高外,其他氮肥水平下直链淀粉含量高低的排序均发生了变化。上述结果在一定程度上可以说明,在一个枝梗上稻米的蒸煮品质与开花的早迟有一定联系,但又并不严格按照开花的顺序,而会因品种和施氮水平的不同发生变化。稻米蒸煮品质在穗上不同部位的分布特点,其机理有待深入研究。

本研究发现,扬稻 6 号穗中部一次枝梗籽粒的粗蛋白含量较低,穗上、下部枝梗上籽粒的粗蛋白含量较高,而武育粳 3 号一次枝梗和二次枝梗籽粒的粗蛋白含量在穗上、中、下三部位间无明显差异。品种间稻米粗蛋白含量在穗上分布的差异可能与籽粒的充实程度有关。我们观察到,扬稻 6 号穗中部一次枝梗籽粒的充实度较好(谷粒充实率为 98.6%),粒重也高(千粒重 28.6 g),而穗子上、下部枝梗上籽粒的充实率相对较低(谷粒充实率分别为 96.5%和 93.2%),粒重也低(千粒重分别为 27.3 g 和 26.5 g);武育粳 3 号穗子上、中、下三部位间籽粒的充实度的差异甚小(谷粒充实率分别为 97.5%、98.1%和 96.9%),粒重的差异亦很小(分别为 26.7、26.9 和 26.4 g)。充实好的籽粒,淀粉所含的比例较高,蛋白质含量的比例较低;充实差的籽粒,因淀粉含量的降低使得蛋白质含量相对增加。以往的研究表明,源限制型品种,强、弱勢粒间籽粒的充实度和粒重相差大,库限制型品种则强、弱勢粒间籽粒充实度和粒重相差小<sup>[15]</sup>。由此推测,源限制型品种穗上各部位籽粒蛋白质含量的差异要大于库限制型品种。通过育种或栽培措施减小穗上籽粒间充实度的差异,有可能会缩小籽粒间蛋白质含量的差异。

本研究表明,施氮量对稻米的蒸煮品质和营养品质有较大的影响。从不施氮到少量施氮(120 kg/hm<sup>2</sup>)稻米的胶稠度增加,直链淀粉含量降低。但从低氮到中等施氮量(240 kg/hm<sup>2</sup>)稻米的胶稠度降低,直链淀粉含量略有增加。我们在研究中发现,从不施氮到低氮,籽粒中淀粉分支酶(Q 酶)活性增加;从低氮到中氮,籽粒中淀粉分支酶活性下降,该酶活性与胶稠度呈显著正相关,与直链淀粉含量呈显著负相关(资料将另文发表)。说明氮肥施用量可调节籽粒中淀粉分支酶活性,进而影响稻米的理化性质(胶稠度和直链淀粉含量)。赵步洪等也有类似的研究结果<sup>[16]</sup>。本研究还观察到,稻米的粗蛋白含量随着施氮量的增加而提高。有关施氮增加籽粒中蛋白质含量的机理,目前尚不清楚。据刘立军<sup>[17]</sup>最近的研究报道,在抽穗期施用少量氮素作粒肥,提高

了籽粒中谷氨酰胺合成酶(GS)和 NADH 谷氨酸合成酶(NADHGOGAT)的活性,且灌浆初期籽粒中 GS 和 NADHGOGAT 活性与抽穗后氮素运转率、籽粒吸氮量和产量均呈显著的正相关。上述结果说明,氮肥可以调节籽粒中碳氮代谢酶的活性,改变稻米蒸煮品质和营养品质。合理地施用氮肥可以改善稻米品质。对于水稻优质高产的最佳施氮量指标,还有待深入研究。

参考文献：

[1] 莫惠栋.我国稻米品质的改良.中国农业科学,1993,26(4):814.

[2] 汤圣祥,Khush G S.稻米胶稠度的遗传研究.中国水稻科学,1991,5(1):25-28.

[3] 包劲松,夏英武.基因型×环境互作效应对籼稻蒸煮食用品质的影响.浙江大学学报:农业与生命科学版,2000,26(2):144-150.

[4] Resurreccion A P,Hara T.Effect of temperature during ripening on grain quality of rice. *Soil Sci Plant Nutr*,1977,23(1):109-112.

[5] 平宏和.影响米饭食味的因素.国外农学-水稻,1986(4):29-31.

[6] 周广洽,徐孟亮,谭周.温光对稻米蛋白质和氨基酸含量的影响.生态学报,1997,17(5):537-542.

[7] Kim K H.Varietal and environmental variation of gel consistency of rice flour. *Korean J Crop Sci*,1993,38(1):38-45.

[8] Comez K A.环境对水稻蛋白质和直链淀粉含量的影响.国外农学-水稻,1981(3):146-148.

[9] 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.植物营养与肥料学报,2001,7(1):31-35.

[10] 张佩莲,钟旭华,曾宪江,等.穗上不同部位籽粒的稻米垩白度差异的研究.江西农业大学学报,1995,17(4):396-399.

[11] 钟旭华,张佩莲,曾宪江,等.强弱勢粒的稻米垩白度差异及其与谷粒粒重的关系.江西农业大学学报,1996,18(2):154-159.

[12] 谢国祿,译.栽培条件对穗上不同部位籽粒直链淀粉含量的影响.国外作物育种,2000,19(3):5-7.

[13] 朱海江,程方民,王丰,等.两种穗型粳稻穗内粒间直链淀粉含量变异与粒位分布特征.中国水稻科学,2004,18(4):321-325.

[14] 国家质量技术监督局.中华人民共和国国家标准 GB/T17891-1999,优质稻谷.北京:国家质量技术监督局,1999.

[15] 朱庆森,曹显祖,骆亦奇.水稻籽粒灌浆的生长分析.作物学报,1988,14:182-192.

[16] 赵步洪,张文杰,常二华,等.水稻灌浆期籽粒中淀粉合成关键酶的活性变化及其与灌浆速率和蒸煮品质的关系.中国农业科学,2004,37(8):1123-1129.

[17] 刘立军.水稻氮肥利用效率及其调控[学位论文].扬州:扬州大学,2005.