

氮肥用量和播期对优良食味粳稻直链淀粉含量的影响

姚姝 于新 周丽慧 陈涛 赵庆勇 朱镇 张亚东 赵春芳 赵凌 王才林*

(江苏省农业科学院 粮食作物研究所, 江苏省优质水稻工程技术研究中心, 国家水稻改良中心南京分中心, 南京 210014; * 通讯联系人, E-mail: clwang@jaas.ac.cn)

Amylose Content in Good Eating Quality Rice Under Different Nitrogen Rates and Sowing Dates

YAO Shu, YU Xin, ZHOU Li-hui, CHEN Tao, ZHAO Qing-yong, ZHU Zhen, ZHANG Ya-dong, ZHAO Chun-fang, ZHAO Ling, WANG Cai-lin*

(Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Jiangsu High Quality Rice R&D Center, Nanjing Branch of China National Center for Rice Improvement, Nanjing 210014, China; * Corresponding author, E-mail: clwang@jaas.ac.cn)

YAO Shu, YU Xin, ZHOU Lihui, et al. Amylose content in good eating quality rice under different nitrogen rates and sowing dates. *Chin J Rice Sci*, 2016, 30(5): 532–540.

Abstract: The amylose content in good eating quality rice was investigated under four nitrogen application levels including high(450 kg/hm²), medium(300 kg/hm²), low(150 kg/hm²) and zero(CK) levels, different sowing dates and short daylight treatment by using the semi-glutinous new *japonica* rice varieties (strains) with different amylose content in 2013 and 2014. The results showed that the level of nitrogen fertilizer has a significant effect on amylose content of good eating quality *japonica* rice. The amylose content was decreased with the increasing level of nitrogen fertilizer. The amylose content under the high nitrogen level was the lowest in the two years. Sowing date has a significant influence on amylose content of good eating quality *japonica* rice. The amylose content was decreased with the sowing date postponed. The effect of sowing date on amylose content was related to the temperature during 6–15 days after heading, and high temperature resulted in the increase of amylose content. This was also confirmed under the short daylight treatment.

Key words: nitrogen application level; sowing date; good eating quality *japonica* rice; amylose content

姚姝, 于新, 周丽慧, 等. 氮肥用量和播期对优良食味粳稻直链淀粉含量的影响. 中国水稻科学, 2016, 30(5):532–540.

摘要: 以直链淀粉含量不同的半糯粳稻新品种(系)为材料, 设置高氮(450 kg/hm²)、中氮(300 kg/hm²)、低氮(150 kg/hm²)和不施肥(CK)4个氮肥水平, 分期播种并进行短日照处理, 研究了氮肥用量和播期对优良食味粳稻直链淀粉含量的影响。结果表明, 氮肥用量对优良食味粳稻的直链淀粉含量有显著影响, 随着氮肥用量的增加, 直链淀粉含量有降低的趋势, 两年均以高氮处理的直链淀粉含量最低。播期对优良食味粳稻的直链淀粉含量也有显著影响, 随播期的推迟, 直链淀粉含量呈降低趋势, 这主要与抽穗后 6~15 d 的温度有关, 高温可使直链淀粉含量提高。短日照处理的结果也证实了这一点。

关键词: 氮肥用量; 播期; 优良食味粳稻; 直链淀粉含量

中图分类号: S143.1; S511.01

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2016)05-0532-09

水稻直链淀粉含量主要受主效基因位点 *Wx* 控制^[1], 同时也受到其他淀粉合成相关基因的影响^[2-4]。籼稻受 *Wx^a* 基因控制, 直链淀粉含量为 21%~30%; 粳稻受 *Wx^b* 基因控制, 直链淀粉含量一般为 15%~20%; 糯稻受隐性基因 *wx* 控制, 直链淀粉含量低于 2%^[5]。还有一类该基因位点的突变体, 如 *Wx-m_p* 等, 直链淀粉含量居黏稻和糯稻之

间, 被称为半糯粳稻, 也叫低直链淀粉含量粳稻^[6,7]。半糯粳稻的米饭表面光泽透亮, 综合了糯米的柔软性和粳米的弹性, 适口性好, 食味品质佳, 笔者称之为优良食味粳稻^[8]。王才林等利用日本品种越光经 EMS 诱变获得的低直链淀粉含量突变体 Milky Princess(关东 194), 与江苏高产粳稻品种杂交, 先后育成食味品质优良的粳稻品种南粳46、南粳5055、

收稿日期: 2016-04-25; 修改稿收到日期: 2016-07-15。

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金资助项目[CX(14)5107]; 江苏省科技支撑计划资助项目(BE2015335); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-47)。

南粳 9108, 这些品种通过江苏省审定, 食味品质优, 产量高, 抗性好^[9-11], 近年来被苏、浙、皖、沪等省市的一百多家稻米加工企业作为优质米开发的原粮, 稻谷价格比其他品种高 0.2 元/kg 以上。开发的优质米越来越受到广大消费者的青睐, 先后 18 次在江苏省和全国优质米食味品尝中获得一等奖、金奖大米、优质食味粳米等荣誉称号, 被誉为江苏省“最好吃的大米”。2016 年, 南粳 46 大米在日本与越光大米同台评比, 获得“最优秀奖”。但我们在育种实践中发现, 同样是低直链淀粉含量基因背景 *Wx-mp*, 即使来源于同一杂交组合的不同品系之间, 直链淀粉含量变幅可达 5.40%~11.85%^[12]。为了明确在低直链淀粉含量基因 *Wx-mp* 背景下, 不同品系之间直链淀粉含量差异的原因, 有必要从遗传和环境两个方面进行探讨。

关于环境因素对水稻直链淀粉含量影响的研究, 前人从氮肥用量和播期等方面已有不少报道, 但其结果不尽一致。金正勋等^[13]、徐大勇等^[14]、陈新红等^[15]、高辉等^[16]、李运祥等^[17]的研究表明, 随着施氮量的增加, 直链淀粉含量逐渐下降。刘宜柏等^[18]、陈能等^[19-20]和张俊国^[21]等研究者的结果则完全相反, 认为随氮素水平的提高, 直链淀粉含量有所上升。而柳金来等^[22]和刘建等^[23]的研究认为, 氮肥用量低于 128.9 kg/hm²时, 随着施氮量的增加直链淀粉含量上升, 施氮量每增加 1 kg/hm², 直链淀粉含量升高 0.007 个百分点, 氮肥用量高于 128.9 kg/hm²时, 随施氮量的增加直链淀粉含量下降。也有不少研究者^[24-26]认为, 直链淀粉含量对氮素反应不敏感。

播期对水稻直链淀粉含量的研究报道也较多。李清华等^[27]将杂交籼稻宜优 673 分期播种, 随着播种期的推迟, 宜优 673 的直链淀粉含量显著提高。赵庆勇等^[28]研究发现 5 个不同生态类型的粳稻品种随播期的推迟直链淀粉含量有提高的趋势。张小祥等^[29]对早熟晚粳品种扬粳 4227 的研究也证实了这一点。刘秋员等^[30]对 5 个粳稻品种、朱镇等分别对早熟晚粳南粳 44^[31]和中熟晚粳南粳 46^[32]进行分期播种的研究结果显示, 直链淀粉含量在不同播期间差异较大, 但无明显的变化规律。秦阳等^[33]对 6 个北方粳稻品种分期播种的结果表明, 直链淀粉含量呈先下降后上升的趋势, 但变化不大。

以往关于氮肥用量和播期对直链淀粉含量影响的研究主要集中在籼稻和粳稻品种上, 且所得结果

不尽一致, 而对半糯粳稻尚未见到系统研究报道。本研究以本团队育成的含有低直链淀粉含量基因 *Wx-mp* 的半糯粳稻新品种(系)为材料, 通过不同施氮量、分期播种和短日照等处理, 研究氮肥用量和播期等环境条件对半糯粳稻直链淀粉含量的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在本团队育成的含有低直链淀粉含量基因 *Wx-mp* 的半糯粳稻新品系中, 2013 年选择直链淀粉含量较高的品系 G7020 以及直链淀粉含量较低的品系 G7012 和审定品种南粳 9108 为供试材料; 2014 年选择直链淀粉含量不同的品系 G7101、G7102、G7103、G7104、G7105、G7012 和审定品种南粳 9108、南粳 5055 为供试材料。

1.2 试验设置

试验于 2013 年和 2014 年在江苏省农业科学院粮食作物研究所南京试验基地进行。肥料试验于 5 月 10 日播种, 6 月 9 日移栽, 秧龄 30 d。分期播种的第 2、第 3 播期移栽秧龄分别为 25 d 和 20 d。2013 年肥料试验和分期播种试验均设 3 次重复。2014 年肥料试验和分期播种试验均设 2 次重复。肥料试验采用裂区设计, 肥料处理为主区, 品种为裂区。每小区 11 行×17 株共 187 株, 行株距为 27 cm×13 cm。其余田间管理按照常规方法进行。

1.2.1 肥料试验

2013 年和 2014 年肥料试验均设高氮(450 kg/hm²)、中氮(300 kg/hm²)、低氮(150 kg/hm²)和不施肥(CK)4 个处理, 每个处理总氮量分 4 次施入, 基肥占氮肥总用量的 20%; 氮、磷、钾含量分别为 1.2%、0.8%和 0.5%的有机肥按 4200 kg/hm²施入; 氮、磷、钾含量均为 15%的复合肥按 375 kg/hm²施入; 分蘖肥占氮肥总用量的 48%, 分两次施入, 移栽后 4 d(6 月 12 日)施用第 1 次分蘖肥, 用量占分蘖肥用量的 60%, 移栽后 12 d(6 月 20 日)施用第 2 次分蘖肥, 用量占分蘖肥用量的 40%。穗肥占氮肥总用量的 32%, 在叶龄余数为 3.0~2.5 时(7 月 18 日)一次性施入。分蘖肥、穗肥均为尿素, 含氮量 46%。

1.2.2 播期试验

2013 年分 5 月 10 日、5 月 30 日和 6 月 20 日 3 个播期。为验证 2013 年的结果, 2014 年通过选择早熟品种推迟播种, 晚熟品种短日照处理的方法, 使

其在不同时间抽穗。选择中熟中粳品系 G7101 和 G7102 分正常播期(5 月 10 日)和推迟播种(6 月 10 日)2 个播期,施肥量、施用次数和施用时间与肥料试验中的中氮处理相同;选择迟熟中粳品系 G7104、晚粳品系 G7106 和南粳 5055 于 5 月 10 日播种,6 月 9 日移栽到盆钵,每个品种栽 10 盆,每盆 5 株。其中 5 盆移栽后 30 d 进行短日照(下午 5 点到次日 上午 8 点用黑布罩遮光,日照 9 h)处理 15 d,使其提早抽穗,另外 5 盆为对照,考查不同抽穗期对直链淀粉含量的影响。分析抽穗后不同时间段的最高温度、最低温度、平均温度和昼夜温差等气象因素与直链淀粉含量的关系。

1.3 测定项目与方法

成熟后在各小区中间随机选择 5 个单株,分别脱粒,风干后按国家优质稻谷标准(GB/T1791—1999)测定精米直链淀粉含量。

1.4 数据统计与分析

按莫惠栋介绍的方法^[34]对数据按两因素随机区组或三因素裂区设计试验进行方差分析,差异显著的因素用 LSD 法进行平均数间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对直链淀粉含量的影响

方差分析结果(表 1)表明,2013 年和 2014 年不同施氮量处理间直链淀粉含量存在显著和极显著差异,品种间直链淀粉含量的差异两年均达极显著水平,而施氮量与品种之间的互作效应 2013 年不显著,2014 年极显著。表明施氮量处理对直链淀粉含量有显著影响,但品种间直链淀粉含量的差异更明显,施氮量与品种之间存在互作效应。

多重比较结果表明(表 2),2013 年不施肥处理(CK)的直链淀粉含量最高,随施氮量的增加,直链淀粉含量呈逐渐降低的趋势,高氮处理的直链淀粉含量最低,与低氮和中氮处理的直链淀粉含量没有显著差异,但与 CK 的直链淀粉含量差异达 5%显著水平。2014 年也是高氮处理的直链淀粉含量最低,而中氮处理的直链淀粉含量最高,两者间的差异达 1%显著水平。CK 和低氮处理的直链淀粉含量居中,与中氮和高氮处理的直链淀粉含量均无显著差异。

从表 1 可知,品种间直链淀粉含量的差异两年均达极显著水平,这是直链淀粉含量差异的主要原因。多重比较结果表明(表 3),2013 年 3 个品种的直链淀粉含量差异均极显著。2014 年 8 个品种的直链淀粉含量,大体可分为高、低两种类型,G7101、G7102、G7103、G7104 为直链淀粉含量较高的一类,均在 9%以上,与其他 4 个品种(系)的差异均达 1%的显著水平。其中,G7101 的直链淀粉含量最高,与 G7102、G7103、G7104 的差异均达 1%的显著水平;G7105、G7012、南粳 9108、南粳 5055 为直链淀粉含量较低的一类,均在 9%以下,其中,G7012 的直链淀粉含量最低,与 G7105 的差异达 1%显著水平。

2.2 播期对直链淀粉含量的影响

方差分析的结果(表 4)表明,2013 年 3 个播期之间直链淀粉含量的差异达显著水平,而品种间直链淀粉含量的差异达极显著水平,播期与品种之间的互作效应不显著。表明播期对直链淀粉含量有显著影响,但品种间直链淀粉含量的差异更明显,播期与品种之间不存在互作效应。

多重比较结果表明(表 6),5 月 10 日播种的直

表 1 2013—2014 年不同氮肥处理稻米直链淀粉含量的方差分析

Table 1. Analysis of variance for amylose content in rice in different nitrogen treatments in 2013—2014.

变异来源 Source of variation	2013				2014			
	df	SS	MS	F	df	SS	MS	F
重复 Repetition	2	2.94	1.47	6.23**	1	0.15	0.15	1.63
处理 Treatment(T)	3	3.11	1.04	4.40*	3	1.68	0.56	6.25**
品种 Variety(V)	2	98.50	49.25	209.02**	7	50.72	7.25	81.04**
处理×品种 T×V	6	0.72	0.12	0.51	21	6.62	0.32	3.52**
误差 Error	22	5.18	0.24		31	2.77	0.09	
总变异 Total	35	110.45			63	61.94		

*,** 分别表示差异达 5%和 1%的显著水平。下表同。
* and ** mean significant difference at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. The same as in the following tables.

表 2 不同施氮量下稻米直链淀粉含量的差异

Table 2. Difference in amylose content in rice in different nitrogen treatments.

施氮处理 Nitrogen treatment	直链淀粉含量 Amylose content/%	
	2013	2014
对照 CK	10.46 a	9.04 AB
低氮 Low nitrogen application level	10.34 ab	8.90 AB
中氮 Medium nitrogen application level	9.93 ab	9.17 A
高氮 High nitrogen application level	9.74 b	8.73 B

同一列数据后跟相同小写字母和大写字母者分别表示差异未达 5% 和 1% 显著水平。下表同。

Values followed by common lowercase and uppercase letters in a column indicate no significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same as in the following tables.

链淀粉含量最高,5 月 30 日播种的直链淀粉含量最低,两个播期间的差异显著。6 月 20 日播种的直链淀粉含量居两者之间,但与 5 月 10 日和 5 月 30 日播期直链淀粉含量的差异均不显著。

为了明确不同播期直链淀粉含量差异的原因,以 5 d 为一个时段和级差,分别分析抽穗后 30 d 内不同时段的最髙温度、最低温度、平均温度和昼夜温差等气象因素与直链淀粉含量的关系,结果表明抽穗后 6~15 d 的最髙温度、最低温度、平均温度和昼夜温差与直链淀粉含量的关系最密切,表明抽穗后

表 3 不同品种稻米直链淀粉含量的差异

Table 3. Difference in amylose content among different rice varieties.

品种 Variety	直链淀粉含量 Amylose content/%
2013	
G7020	12.37±0.46 A
南粳 9108 Nanjing 9108	9.54±0.28 B
G7012	8.44±0.36 C
2014	
G7101	10.66±0.37 A
G7102	9.63±0.36 B
G7104	9.51±0.35 B
G7103	9.15±0.81 B
G7105	8.53±0.57 C
南粳 9108 Nanjing 9108	8.30±0.08 CD
南粳 5055 Nanjing 5055	8.07±0.01 CD
G7012	7.83±0.12 D

6~15 d 处于较高温度下灌浆结实可使半糯粳稻的直链淀粉含量升高(表 5)。鉴于 4 个气象因素之间有密切关系,为了表述方便,以下仅用日平均温度和昼夜温差分析与直链淀粉含量的关系。

为了进一步证实温度对直链淀粉含量的影响,2014 年将生育期较短的中熟中粳品系 G7101 和 G7102 推迟 1 个月播种(6 月 10 日),生育期较长的迟熟中粳品系 G7104、晚粳品系 G7106 和审定品种南粳 5055 短日照处理使其提早抽穗。结果表明,中

表 4 不同播期下稻米直链淀粉含量的方差分析(2013)

Table 4. Analysis of variance for amylose content in rice at different sowing dates (2013).

变异来源 Source of variation	df	SS	MS	F
重复 Repetition	2	0.01	0.00	0.01
播期 Sowing date(SD)	2	3.90	1.95	4.91 *
品种 Variety(V)	2	79.36	39.68	99.88 * *
播期×品种 SD×V	4	1.47	0.37	0.93
误差 Error	16	6.36	0.40	
总变异 Total	26	91.09		

表 5 2013 年不同播期下稻米直链淀粉含量的差异及其与抽穗后 6~15 d 温度的关系

Table 5. Difference of amylose content in rice at different sowing dates and its relationship with the temperature during 6—15 days after heading in 2013.

播期 Sowing date	直链淀粉含量 Amylose content/%	抽穗期 Heading date	抽穗后 6~15 d 温度 Temperature during 6—15 days after heading/℃			
			最高 Highest(H)	最低 Lowest(L)	平均 Mean	昼夜温差 Temperature difference between H and L
05-10	9.95 aA	08-20	30.5 A	23.0 aA	26.8 aA	7.5 aA
05-30	9.08 bA	08-27	28.7 B	21.5 bB	25.1 bB	7.3 bB
06-20	9.22 abA	09-02	28.2 C	21.3 bB	24.7 cB	6.9 cC

表 6 2014 年 2 个中熟中粳品系不同播期的直链淀粉含量及其与抽穗后 6~15 d 温度的关系

Table 6. Amylose content of two medium japonica varieties with medium maturation at different sowing dates and its relationship with the temperature during 6–15 days after heading in 2014.

品种 Variety	5 月 10 日播种 Sowed at May 10				6 月 10 日播种 Sowed at June 10				DAC
	AC/%	HD	MT/℃	TD/℃	AC/%	HD	MT/℃	TD/℃	
G7101	11.70	08-12	25.2	6.3	10.37	08-22	23.7	5.0	1.33 ^{∗∗}
G7102	11.00	08-09	24.4	6.2	9.83	08-21	23.8	5.0	1.17 ^{∗∗}

AC—直链淀粉含量；HD—抽穗期；MT—抽穗后 6~15 d 平均温度；TD—抽穗后 6~15 d 昼夜温差；DAC—直链淀粉含量差异。下表同。

AC, Amylose content; HD, Heading date; MT, Mean temperature during 6–15 days after heading; TD, Temperature difference between day and night during 6–15 days after heading; DAC, Difference in amylose content. The same as in tables below.

表 7 2014 年晚熟品种短日处理的直链淀粉含量及其与抽穗后 6~15 d 温度的关系

Table 7. Amylose content of three japonica varieties with late maturation under short daylight treatment and its relationship with the temperature during 6–15 days after heading in 2014.

品种 Variety	短日处理 Short daylight treatment				对照 CK				DAC
	AC/%	HD	MT/℃	TD/℃	AC/%	HD	MT/℃	TD/℃	
G7104	8.61	08-10	25.1	6.4	7.45	08-20	24.1	5.1	1.16 ^{∗∗}
G7012	6.93	08-13	25.1	6.3	5.86	08-24	24.4	5.5	1.07 ^{∗∗}
南粳 5055	7.59	08-14	25.0	6.2	7.65	08-25	24.8	5.9	−0.06
Nanjing 5055									

熟中粳品系 G7101 和 G7102 推迟播种,抽穗期推迟 10~12 d,直链淀粉含量比正常播种降低 1.17~1.33 个百分点,差异达 1% 显著水平(表 6)。迟熟中粳品系 G7104 和晚粳品系 G7106 短日照处理后,抽穗期提早 10 d 左右,直链淀粉含量增加 1.07~1.16 个百分点,差异也达 1% 显著水平;而南粳 5055 短日处理后,其直链淀粉含量与对照无显著差异(表 7)。

统计抽穗后 6~15 d 的日平均温度和昼夜温差,结果表明,6 月 10 播种的中熟中粳品系 G7101 和 G7102,抽穗后 6~15 d 的日平均温度和昼夜温差均低于 5 月 10 日播种的(表 7)。而短日照处理的迟熟中粳品系 G7104 和晚粳材料 G7106,抽穗后 6~15 d 的日平均温度和昼夜温差均高于对照,南粳 5055 短日照处理与对照抽穗后 6~15 d 的日平均温度和昼夜温差的差异均较小(表 7)。这一结果同样表明抽穗后 6~15 d 处于较高温度下灌浆结实有使半糯粳稻直链淀粉含量升高的趋势。

3 讨论

3.1 氮肥用量对直链淀粉含量的影响

已有研究表明,影响稻米食味品质主要因素有直链淀粉含量、蛋白质含量、糊化温度、胶稠度

等^[35]。食味品质与直链淀粉含量和蛋白质含量均呈极显著负相关,而直链淀粉含量对食味品质的影响最大,其决定系数高达 92%^[36]。我们的育种实践表明,含有低直链淀粉含量基因 *Wx-mp* 的半糯粳稻具有较好的食味品质,其中直链淀粉含量在 10%~14% 的半糯粳稻不仅食味品质极佳,而且外观品质也较好。氮肥对稻米食味品质的影响,一是通过影响稻米的蛋白质含量直接影响食味品质,二是通过影响直链淀粉含量间接影响食味品质。因此,研究氮肥用量对半糯粳稻直链淀粉含量的影响,对优良食味粳稻的育种和栽培均有重要意义。

前人关于氮肥用量对水稻直链淀粉含量影响的研究结果可归为四类:一是增施氮肥导致直链淀粉含量下降^[13-17];二是增施氮肥导致直链淀粉含量上升^[18-21];三是在一定施氮量范围内,氮肥用量与直链淀粉含量呈先上升后下降的曲线关系^[22-23];四是施氮量对直链淀粉含量没有影响^[24-26]。不同研究者得到的结果不一致,可能与供试品种控制直链淀粉含量的基因型不同以及试验条件不同有关。本研究 2014 年氮肥处理与品种的互作显著也说明了氮肥水平对直链淀粉含量的影响不同品种间反应不一致。

本研究以直链淀粉含量较低的优良食味粳稻为

材料的研究结果表明,在氮素水平低于 450 kg/hm^2 时,随着施氮量的增加,直链淀粉含量降低。这与姜元华等^[37]以半糯粳稻品种南粳 9108 和南粳 5055 为材料和陈莹莹等^[38]以江苏省近 10 年 50 个早熟晚粳品种为材料的研究结果一致。

3.2 温度对直链淀粉含量的影响

播期影响直链淀粉含量的本质是温度。以往研究表明,灌浆结实期温度对稻米直链淀粉含量的影响与品种的直链淀粉含量水平有关,但不同研究者的研究结果不同。孙义伟等^[39]的研究表明气温对直链淀粉含量的影响因品种类型而异,高温使低直链淀粉含量的品种直链淀粉含量下降,高直链淀粉含量的品种直链淀粉含量提高。孟亚利等^[40]的研究表明,结实期温度较低会使中低含量型的品种直链淀粉含量增加,糯型品种直链淀粉含量降低,开花后 5~10 d 温度高低对直链淀粉含量影响较大。程方民等^[41]研究提出,多数品种的直链淀粉含量与结实期温度呈二次曲线关系,高直链淀粉含量品种一般在较高温度下直链淀粉含量可达最大,低直链淀粉含量品种的表现则相反。对某一特定品种而言,在一定温度范围内结实期温度与稻米直链淀粉含量呈正相关,而在另一温度区段两者呈负相关,周德翼等^[42]、陈能等^[43]也持类似观点。贾志宽等^[44]则认为,温度对稻米直链淀粉含量的影响,在灌浆期的不同时段表现不同,灌浆期前 18 d 高温不利于直链淀粉含量的累积,18 d 以后高温利于直链淀粉含量的累积,表现为正效应。我们通过两年的试验,发现高温有使优良食味粳稻的直链淀粉含量升高的趋势,温度的影响主要在抽穗后 6~15 d。2013 年分期播种试验结果,第 1 期播种的直链淀粉含量最高为 9.95%,抽穗后 6~15 d 的最高温度、最低温度、平均温度和昼夜温差分别为 30.5°C 、 23.0°C 、 26.8°C 和 7.5°C ,在 3 个播期中均最高。第 2、第 3 期播种的直链淀粉含量分别为 9.08% 和 9.22%,明显低于第 1 播期,抽穗后 6~15 d 的最高温度、最低温度、平均温度和昼夜温差也明显低于第 1 播期,且第 2、第 3 播期差异不大,这与直链淀粉含量的变化趋势一致。2014 年无论是短日照处理还是推迟播种试验也都证实了这一点。此外,南粳 9108 和 G7012 分别参加了 2013 和 2014 年的试验,2013 年南粳 9108 和 G7012 的直链淀粉含量分别为 9.55% 和 8.30%,分别比 2014 年的 8.30% 和 7.83% 高 1.25 和 0.47 个百分点,这与两个品种 2013 年抽穗后 6

~15 d 的最高温度(33°C 和 29°C) 和 2014 年的最高温度(27°C 和 28°C) 变化趋势完全吻合。

氮肥水平对抽穗期也有一定影响。为了明确不同氮肥处理对直链淀粉含量的影响是否包含温度的影响,分析了不同氮肥处理的抽穗期及其抽穗后 6~15 d 的温度。结果表明,2013 年 4 个不同肥料处理的播种到抽穗天数为 98.4~102.9 d,2014 年 4 个不同肥料处理的播抽天数为 99.3~102.1 d。肥料处理虽然有使抽穗期推迟的趋势,但影响不大,抽穗后 6~15 d 的温度变化也不大。因此,本研究氮肥处理对直链淀粉含量的影响主要是由氮肥用量不同所致。

3.3 本研究结果对优良食味粳稻保优栽培的启示

优良食味粳稻(半糯粳稻)是直链淀粉含量介于糯稻和黏稻之间的一种特殊类型水稻,其直链淀粉含量较低,米饭柔软有光泽,咀嚼有弹性,口感好。但精米半透明,呈乳白色,直链淀粉含量低于 8% 时晒干后接近糯米的白色。为了保持半糯水稻的优良食味特性和米粒的透明度,直链淀粉含量在 10%~14% 范围内较佳。本研究结果表明,为了保持优良食味粳稻的食味品质,在栽培策略上应尽量提高其直链淀粉含量,降低蛋白质含量。通过适期播种,使其抽穗后 6~15 d 在适宜温度下灌浆充实。在氮素施用上应尽量多用有机肥,少施化学氮肥,特别是后期尽量避免使用氮肥,防止氮肥用量过多造成直链淀粉含量下降,蛋白质含量上升,降低食味品质。

必须指出的是,本研究结果虽然证实氮肥用量和播期对直链淀粉含量有显著影响,但无论是氮肥试验还是播期试验,造成直链淀粉含量差异最大的因素是品种。2013 年和 2014 年氮肥试验直链淀粉含量品种间变异方差占总方差的比重分别为 89.2% 和 76.2%,2013 年播期试验直链淀粉含量品种间变异方差占总方差的比重为 87.1%。因此,我们将重点从遗传上研究造成优良食味粳稻直链淀粉含量差异的分子基础。

参考文献:

- [1] Kumar I, Khush G S. Genetics of amylose content in rice (*Oryza sativa* L.). *J Genet*, 1986, 65(1): 1-11.
- [2] Kumar I, Khush G S, Juliano B O. Genetic analysis of waxy locus in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor Appl Genet*, 1987, 73(4): 481-488.
- [3] 申岳正, 闵绍楷, 熊振民, 等. 稻米直链淀粉含量的遗传及测定方法的改进. *中国农业科学*, 1990, 23(1): 60-68.

- Shen Y Z, Min S K, Xiong Z M, et al. Genetical studies on amylose content of rice grain and modifies on the determination method. *Sci Agric Sin*, 1990, 23(1): 60-68. (in Chinese with English abstract)
- [4] Wang Z Y, Wu Z L, Xing Y Y, et al. Nucleotide sequence of rice *waxy* gene. *Nucleic Acids Res*, 1990, 18(19): 5898-5898.
- [5] Sano Y. Differential regulation of waxy gene expression in rice endosperm. *Theor Appl Genet*, 1984, 68(5): 467-473.
- [6] Mikami I, Aikawa M, Hirano H Y, et al. Altered tissue-specific expression at the *Wx* gene of the opaque mutants in rice. *Euphytica*, 1999, 105(2): 91-97.
- [7] Sato H, Suzuki Y, Sakai M, et al. Molecular characterization of *Wx-mq*, a novel mutant gene for low-amylose content in endosperm of rice (*Oryza sativa* L.). *Breeding Sci*, 2002, 52(2): 131-135.
- [8] 王才林, 陈涛, 张亚东, 等. 通过分子标记辅助选择培育优良食味水稻新品种. 中国水稻科学, 2009, 23(1): 25-30.
- Wang C L, Chen T, Zhang Y D, et al. Breeding of a new rice variety with good eating quality by marker assisted selection. *Chin J Rice Sci*, 2009, 23(1): 25-30. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王才林, 张亚东, 朱镇, 等. 优质水稻新品种南梗46的选育与应用. 中国稻米, 2008(3): 38-40.
- Wang C L, Zhang Y D, Zhu Z, et al. Breeding and application of new high quality rice variety Nanjing 46. *China Rice*, 2008(3): 38-40. (in Chinese)
- [10] 王才林, 张亚东, 朱镇, 等. 优良食味梗稻新品种南梗5055的选育及利用. 农业科技通讯, 2012(2): 84-87.
- Wang C L, Zhang Y D, Zhu Z, et al. Breeding and application of new good eating quality rice variety Nanjing 5055. *Bull Agric Sci Technol*, 2012(2): 84-87. (in Chinese)
- [11] 王才林, 张亚东, 朱镇, 等. 优良食味梗稻新品种南梗9108的选育与利用. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 86-88.
- Wang C L, Zhang Y D, Zhu Z, et al. Breeding and application of new good eating quality rice variety Nanjing 9108. *Jiangsu Agric Sci*, 2013, 41(9): 86-88. (in Chinese)
- [12] 于新, 赵庆勇, 赵春芳, 等. 携带 *Wx-mq* 基因的不同类型水稻新品种(系)直链淀粉含量分析. 江苏农业学报, 2012, 28(6): 1218-1222.
- Yu X, Zhao Q Y, Zhao C F, et al. Analyses of amylase contents in different types of new rice varieties (lines) carrying *Wx-mq* gene. *Jiangsu J Agric Sci*, 2012, 28(6): 1218-1222. (in Chinese with English abstract)
- [13] 金正勋, 秋太权, 孙艳丽, 等. 氮肥对稻米蛋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.
- Jin Z X, Qiu T Q, Sun Y L, et al. Prospect of consumption of chemical fertilizer in China. *Plant Nutr Fert Sci*, 2001, 7(1): 31-35. (in Chinese with English abstract)
- [14] 徐大勇, 金军, 胡曙军, 等. 氮磷钾肥施用量对稻米直链淀粉含量和淀粉粘滞特性的影响. 中国农学通报, 2004, 20(5): 99-103.
- Xu D Y, Jin J, Hu S J, et al. Effects of N, P and K fertilizer amount on rice grain amylose content and starch viscosity properties. *Chin Agric Sci Bull*, 2004, 20(5): 99-103. (in Chinese with English abstract)
- [15] 陈新红, 刘凯, 徐国伟, 等. 氮素与土壤水分对水稻养分吸收和稻米品质的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(3): 15-19.
- Chen X H, Liu K, Xu G W, et al. Effect of nitrogen and soil moisture on nutrient absorption and quality of rice. *J North-west Sci-Tech Univ Agric For: Nat Sci Ed*, 2004, 32(3): 15-19. (in Chinese with English abstract)
- [16] 高辉, 马群, 李国业, 等. 氮肥水平对不同生育类型梗稻糯米蒸煮食味品质的影响. 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. *Sci Agric Sin*, 2010, 43(21): 4543-4552. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李运祥, 王忠, 顾蕴洁, 等. 施氮处理对稻米淀粉积累的影响. 南京师大学报: 自然科学版, 2003, 26(3): 68-71.
- Li Y X, Wang Z, Gu Y J, et al. Effects of various nitrogen treatments on starch accumulation in caryopsis during the rice grain filling. *J Nanjing Normal Univ: Nat Sci*, 2003, 26(3): 68-71. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘宜柏, 黄英金. 稻米食味品质的相关性研究. 江西农业大学学报, 1989(4): 1-5.
- Liu Y B, Huang Y J. The study on the relativity of flavor quality of rice. *Acta Agric Univ Jiangxiensis*, 1989(4): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [19] 陈能, 罗玉坤, 朱智伟, 等. 优质食用稻米品质的理化指标与食味的相关性研究. 中国水稻科学, 1997, 11(2): 70-76.
- Chen N, Luo Y K, Zhu Z W, et al. Correlation between eating quality and physico-chemical properties of high grain quality rice. *Chin J Rice Sci*, 1997, 11(2): 70-76. (in Chinese with English abstract)
- [20] 陈能, 罗玉坤, 朱智伟, 等. 食用稻米米饭质地及适口性的研究. 中国水稻科学, 1999, 13(3): 152-156.
- Chen N, Luo Y K, Zhu Z W, et al. Studies on the texture and palatability of cooked rice. *Chin J Rice Sci*, 1999, 13(3): 152-156. (in Chinese with English abstract)
- [21] 柳金来, 宋继娟, 周柏明, 等. 氮肥施用量与水稻品质的关系. 土壤肥料, 2005(1): 17-19.
- Liu J L, Song J J, Zhou B M, et al. Relation of applying N quantity and rice quality. *J Soil Fert*, 2005(1): 17-19. (in Chinese with English abstract)
- [22] 张俊国, 张三元, 杨春刚, 等. 不同施氮水平对水稻主要食味品质性状影响的研究. 吉林农业科学, 2010(4): 29-33.
- Zhang J G, Zhang S Y, Yang C G, et al. Studies on the effect of different nitrogen application to shape and main taste quality of rice. *J Jilin Agric Sci*, 2010(4): 29-33. (in Chinese with English abstract)

- English abstract)
- [23] 刘建, 魏亚凤, 夏礼如, 等. 不同氮肥水平对稻米品质和淀粉 RVA 谱特征的影响. 金陵科技学院学报, 2004, 20(1): 34-38. Liu J, Wei Y F, Xia L R, et al. Effect of different nitrogen level on quality of rice grain and RVA profile character. *J Jinling Instit Technol*, 2004, 20(1): 34-38. (in Chinese with English abstract)
- [24] 金军. 氮肥施用量施用期对稻米品质及产量的影响. 扬州: 扬州大学, 2002. Jin J. The effects of the amount and time of nitrogen applied on the quality and yield of rice. Yangzhou: Yangzhou University, 2002. (in Chinese with English abstract)
- [25] 赵居生, 陈秀琴, 李素敏, 等. 施肥对粳稻食味品质的影响. 天津农业科学, 2004, 10(3): 15-17. Zhao J S, Chen X Q, Li S M, et al. Effects of applying quantity of nitrogen on rice eating quality. *Tianjin Agric Sci*, 2004, 10(3): 15-17. (in Chinese)
- [26] 蒋振华, 徐国沾, 施金裕, 等. 氮素施用量和施用期对稻米品质的影响. 上海农业科学, 2004(4): 18-19. Jiang Z H, Xu G Z, Shi J Y, et al. Effects of applying time and quantity of nitrogen on rice quality. *Shanghai Agric Sci*, 2004(4): 18-19. (in Chinese)
- [27] 李清华, 游晴如, 杨东, 等. 不同播种期对宜优 673 产量及稻米品质的影响. 福建农业学报, 2012, 27(7): 691-694. Li Q H, You Q R, Yang D, et al. Effect of sowing date on yield and rice quality of Yiyu 673. *Fujian J Agric Sci*, 2012, 27(7): 691-694. (in Chinese with English abstract)
- [28] 赵庆勇, 朱镇, 张亚东, 等. 播期和地点对不同生态类型粳稻稻米品质性状的影响. 中国水稻科学, 2013, 27(3): 297-304. Zhao Q Y, Zhu Z, Zhang Y D, et al. Effects of sowing date and site on grain quality of rice cultivars planted in different ecological types. *Chin J Rice Sci*, 2013, 27(3): 297-304. (in Chinese with English abstract)
- [29] 张小祥, 季红娟, 戴正元, 等. 播期对扬粳 4227 产量与稻米品质的影响. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2012, 33(4): 46-50. Zhang X X, Ji H J, Dai Zheng Y, et al. Study on characteristics of grain yield and rice quality of Yangjing 4227 under different sowing dates. *J Yangzhou Univ: Agric Life Sci Ed*, 2012, 33(4): 46-50. (in Chinese with English abstract)
- [30] 刘秋员, 宋晓华, 段斌, 等. 播种期对豫南地区不同粳稻品种稻米品质的影响. 中国稻米, 2015, 21(4): 179-183. Liu Q Y, Song X H, Duan B, et al. Effects of different sowing date on the quality of japonica rice in southern Henan. *China Rice*, 2015, 21(4): 179-183. (in Chinese with English abstract)
- [31] 朱镇, 赵庆勇, 张亚东, 等. 播期和种植地点对南粳 46 稻米品质及 RVA 谱的影响. 江苏农业学报, 2013, 29(5): 921-927. Zhu Z, Zhao Q Y, Zhang Y D, et al. Effects of sowing date and planting site on grain quality and RVA profiles of Nanjing 46, a popular cultivar in japonica rice (*Oryza sativa* L.). *Jiangsu J Agric Sci*, 2013, 29(5): 921-927. (in Chinese with English abstract)
- [32] 朱镇, 赵庆勇, 张亚东, 等. 播期和地点对南粳 44 稻米品质的影响. 西南农业学报, 2013, 26(5): 1747-1752. Zhu Z, Zhao Q Y, Zhang Y D, et al. Effect of different sowing date and sites on grain quality of Nanjing 44. *Southwest China J Agric Sci*, 2013, 26(5): 1747-1752. (in Chinese with English abstract)
- [33] 秦阳, 蒋文春, 张诚, 等. 不同水稻品种播期与品质的关系. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(4): 328-331. Qin Y, Jiang W C, Zhang C, et al. Relationship between sowing date and quality traits in different rice varieties. *J Shenyang Agric Univ*, 2004, 35(4): 328-331. (in Chinese with English abstract)
- [34] 莫惠栋. 农业试验统计, 上海: 上海科学技术出版社, 1992: 224-279. Mo H D. Agricultural Experiment Statistics. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1992: 224-279. (in Chinese)
- [35] 松尾孝嶺ら編. 稻学大成(第 3 卷 遺伝篇). 東京: 農山漁村文化協会, 1990: 351-354. Matsuo T. Science of Rice Plant (Vol. 3 Genetics). Tokyo, Japan: Rural Culture Association, 1990: 351-354.
- [36] 张巧凤, 吉健安, 张亚东, 等. 粳稻食味仪测定值与食味评分值的相关性分析. 江苏农业学报, 2007, 23(3): 161-165. Zhang Q F, Ji J A, Zhang Y D, et al. Correlation analysis between tested value and comprehensive taste evaluation of Japonica rice. *Jiangsu J Agric Sci*, 2007, 23(3): 161-165. (in Chinese with English abstract)
- [37] 姜元华, 赵可, 许俊伟, 等. 肥水平对粳型软米食味特征与质构特性的影响. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 288-295. Jiang Y H, Zhao K, Xu J W, et al. Effect of nitrogen fertilizer application rate on the eating characteristic and textural properties of japonica softer rice. *J Plant Nutr Fert*, 2015, 21(2): 288-295. (in Chinese with English abstract)
- [38] 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. 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. *Acta Agron Sin*, 2012, 38(11): 2086-2092. (in Chinese with English abstract)
- [39] 孙义伟. 水稻成熟期气温对稻米品质的影响. 水稻文摘, 1993, 12(2): 6-8. Sun Y W. Effect of temperature during grain filling on rice quality. *Rice Abstr*, 1993, 12(2): 6-8.
- [40] 孟亚利, 高如嵩, 张嵩午. 影响稻米品质的主要气候生态因子研究. 西北农业大学学报, 1994, 22(1): 40-43. Meng Y L, Gao R S, Zhang S W. The major meteorological and ecological factors affecting rice grain qualities. *Acta Univ Agric Boreali-occidentalis*, 1994, 22(1): 40-43. (in Chinese with English abstract)

- [41] 程方民, 丁元树, 朱碧岩. 稻米直链淀粉含量的形成及其与灌浆结实期温度的关系. *生态学报*, 2000, 20(4): 646-652.
Cheng F M, Ding Y S, Zhu B Y. The formation of amylose content in rice grain and its relation with field temperature. *Acta Ecol Sin*, 2000, 20(4): 646-652. (in Chinese with English abstract)
- [42] 周德翼, 张嵩午, 高如嵩, 等. 稻米直链淀粉含量与结实期温度间的关系研究. *西北农业大学学报*, 1994, 22(2): 1-5.
Zhou D Y, Zhang S W, Gao R S, et al. The relationship between amylose content in rice grain and temperature in grain-filling stage. *Acta Univ Agric Boreali-occidentalis*, 1994, 22(2): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [43] 陈能, 沈波, 罗玉坤, 等. 灌浆期对早籼米质的影响. *浙江农业学报*, 1996, 8(4): 251-252.
Chen N, Shen B, Luo Y K, et al. Effect of temperature during grain filling on quality of early indica rice. *Acta Agric Zhejiangensis*, 1996, 8(4): 251-252. (in Chinese with English abstract)
- [44] 贾志宽, 朱碧岩. 灌浆期气温的分布对稻米直链淀粉累积效应的初步研究. *云南农业大学学报*, 1991, 6(2): 65-69.
Jia Z K, Zhu B Y. Preliminary study on the accumulation effect of amylose affected by the air temperature at the filling stage of rice. *J Yunnan Agric Univ*, 1991, 6(2): 65-69. (in Chinese with English abstract)

欢迎订阅 2017 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版是由农业部主管、中国农业科学院与中国农学会共同主办的综合性学术期刊。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种·种质资源·分子遗传学;耕作栽培·生理生化·农业信息技术;植物保护;土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境;园艺;贮藏·保鲜·加工;畜牧·兽医·资源昆虫等栏目。读者对象为国内外农业科研院(所)、大专院校的科研、教学与管理人员。

《中国农业科学》中文版为半月刊,影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。为北京大学图书馆 1992—2014 年连续 7 次遴选的核心期刊,位居《中文核心期刊要目总览》“农业综合类核心期刊表”的首位。1999—2008、2013—2014 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助;2015 年获“中国科协精品科技期刊工程项目”资助。1999 年获“首届国家期刊奖”,2003、2005 年获“第二、三届国家期刊奖提名奖”;2002—2015 年先后 13 次被中国科学技术信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号;2009 年获中国期刊协会/中国出版科学研究院“新中国 60 年有影响力的期刊”称号;2010、2013 年荣获“第二、三届中国出版政府奖期刊提名奖”,2013 年获新闻出版广电总局“百强科技期刊”称号;2012、2013、2014、2015 年获清华大学图书馆等“2012、2013、2014、2015 中国最具国际影响力学术期刊”称号。

《中国农业科学》中文版大 16 开,每月 1、16 日出版,国内外公开发售。每期 208 页,定价 49.50 元,全年定价 1188.00 元。国内统一连续出版物号:CN11-1328/S,国际标准连续出版物号:ISSN 0578-1752,邮发代号:2-138,国外代号:BM43。

《中国农业科学》英文版(*Agricultural Sciences in China, ASA*),2002 年创刊,月刊。2012 年更名为《农业科学学报》(*Journal of Integrative Agriculture, JIA*)。2006 年 1 月起与国际著名出版集团 Elsevier 合作,全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2009 年被 SCI 收录,2015 年 JIA 影响因子为 0.724。2016 年获“中国科技期刊国际影响力提升计划”第二期项目 B 类期刊资助。

JIA 大 16 开,每月 20 日出版,国内外公开发售。每期 180 页,国内订价 80.00 元,全年 960.00 元。国内统一连续出版物号:CN 10-1039/S,国际标准连续出版物号:ISSN 2095-3119,邮发代号:2-851,国外代号:1591M。

《中国农业科学》中、英文版均可通过全国各地邮局订阅,也可向编辑部直接订购。

邮编:100081;地址:北京中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部;电话:010-82109808,82106281,82105098;传真:010-82106247;网址:www.ChinaAgriSci.com;E-mail:zgnykx@caas.cn;联系人:林鉴非。