

蒋彦婕,杨杰,王芳权,等. 低血糖生成指数水稻南粳丝苗的选育及应用[J]. 江苏农业科学,2022,50(18):299-302.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.18.047

低血糖生成指数水稻南粳丝苗的选育及应用

蒋彦婕,杨杰,王芳权,许扬,李霞,陈智慧,李文奇,陶亚军,范方军,王军

(江苏省农业科学院粮食作物研究所,江苏南京 210014)

摘要:以籼稻高产品种扬稻 6 号、低血糖生成指数品种 Basmati、粳稻香味品种 R405 为亲本,进行杂交和复交,历经多代系谱选择,获得多份丰产性、抗倒性等综合农艺性状优良的新品系;通过模拟精米人体外消化试验,获得消化速度慢的品系若干份;再测定直链淀粉含量以及抗性淀粉含量,同时进行食味品质评价,筛选到生育期适中、丰产性好的偏梗型新品系南粳丝苗。南粳丝苗具有优质、低血糖生成指数(GI)等特性,多次检测结果表明,其稻米主要品质指标达国标一级优质米标准,且适口性较好,血糖生成指数为 55,明显低于普通稻米,是一个适合糖尿病、高血糖、肥胖等特殊人群的低升糖指数稻米品种。南粳丝苗已在江苏宜兴江南米道等企业进行规模化生产,具有较大的市场前景。下一步拟通过育种技术进一步提高低 GI 水稻品种的稻谷产量潜力,并强化低 GI 水稻配套栽培技术的研究。

关键词:水稻;低血糖生成指数;育种;栽培

中图分类号:S511.2+20.32 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)18-0299-04

稻米是世界上近一半人口的主食和能量来源。大约 7 000 年前,中国南方就开始种植水稻,从古至今,稻米一直是中华民族赖以生存的最主要食物。淀粉占稻米的比例在 90% 左右^[1],米饭淀粉适合人体消化和吸收,但人体的血糖也容易升高^[2]。据国际糖尿病联盟(IDF)2019 年的统计数据,全球糖尿

病患者数量不断上升,平均年增长率为 5.1%,目前已有 4.63 亿糖尿病患者。中国糖尿病患者约为 1.16 亿,全球排名第一,糖耐量不良(IGT)人数则更高达 3 亿以上。

评价食物血糖生成快慢的指标是血糖生成指数(Glycemic Index,GI 值)^[3],用于衡量食物引起的餐后血糖反应。国际标准化组织 ISO 26641—2010 中规定: $GI \leq 55$,为低 GI 食物; $55 < GI \leq 70$,为中等 GI 食物; $GI > 70$,为高 GI 食物^[4]。低 GI 食物在预防和缓解糖尿病方面具有重要作用。大米通常被认为是高 GI 值食品,经常食用大米(精米),会增加

收稿日期:2022-07-05

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(20)3008]。

作者简介:蒋彦婕(1982—),女,江苏南京人,博士,副研究员,研究方向为水稻遗传育种。E-mail:99485140@qq.com。

通信作者:杨杰,博士,研究员,主要从事水稻遗传育种。E-mail: yangjie@jaas.ac.cn。

参考文献:

- [1]王才林,张亚东,朱镇,等. 水稻优质抗病高产育种的研究与实践[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):921-927.
- [2]王才林,张亚东,朱镇,等. 抗条纹叶枯病优良食味粳稻新品种选育研究[J]. 北方水稻,2011,41(1):67-71,80.
- [3]王妍,魏松红,王小哲,等. 水稻主栽品种对纹枯病的抗性鉴定及评价[J]. 江苏农业科学,2020,48(13):125-128.
- [4]王才林,朱镇,张亚东,等. 江苏省粳稻品质改良的成就、问题与对策[J]. 江苏农业学报,2008,24(2):199-203.
- [5]王才林,张亚东,朱镇,等. 抗条纹叶枯病优良食味晚粳稻新品种南粳 46 的特征特性与栽培技术[J]. 江苏农业科学,2008,36(2):91-92.
- [6]王才林,张亚东,朱镇,等. 优良食味粳稻新品种南粳 5055 的选育及利用[J]. 农业科技通讯,2012(2):84-88.
- [7]陈涛,张亚东,赵庆勇,等. 优良食味抗病高产晚粳稻新品种南粳

- 3908 的选育和栽培技术[J]. 江苏农业科学,2019,47(19):72-74.
- [8]陈培峰,乔中英,谢裕林,等. 优质多抗香稻新品种“苏香粳 100”的选育与应用[J]. 作物研究,2017,31(1):15-17.
- [9]王才林,张亚东,朱镇,等. 优良食味粳稻新品种南粳 9108 的选育与利用[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):86-88.
- [10]殷兰凤,章海坡,孙建荣,等. 优良水稻新品种泰香粳 1402 原种生产技术[J]. 农业科技通讯,2021(12):298-299,315.
- [11]张亚东,朱镇,陈涛,等. 优良食味粳稻南粳 5718 的选育及主要特征特性[J]. 中国稻米,2020,26(4):100-102.
- [12]吴俊生,蔡锋,王才林. “南粳 2728”特征特性及栽培技术要点[J]. 上海农业科技,2019(1):40,47.
- [13]丁成伟,王健康,郭荣良,等. 优质高产中熟中粳稻徐稻 9 号的选育及栽培技术[J]. 北方水稻,2018,48(1):52-53.
- [14]王才林,张亚东,陈涛,等. 姊妹系间杂交快速培育优良食味半糯粳稻新品种的育种效果[J]. 中国水稻科学,2021,35(5):455-465.

患 2 型糖尿病的风险^[5]。虽然稻谷加工精度以及稻米蒸煮方式也会影响 GI 值^[6],但是,不同水稻品种的 GI 值也不一样。因此,筛选并培育出低血糖生成指数的稻米品种是预防和缓解糖尿病最直接、最经济有效的方法,将具有巨大的市场前景和社会效益。

稻米的 GI 值与直链淀粉含量密切相关^[7]。目前,从自然水稻材料中筛选出并得到应用的低 GI 水稻品种很少,以印度的 Swarna、Basmati、ISM 改良种以及澳大利亚的 Doongara 为代表,其 GI 虽低,但直链淀粉含量较高,难以适合太湖流域及周边地区喜食粳米人群的口味。近年来,低 GI 稻米品种的选育研究主要集中在高抗性淀粉方面^[8],一般来说,抗性淀粉含量越高,则 GI 值越低,例如优糖稻 2 号、已商品化的功米 1 号等。但是,这些低 GI 水稻由于米饭很硬,一般口感较差,市场接受程度低。遗传分析发现,GI 是复杂的数量性状,除抗性淀粉主效位点之外,已定位到一些新的 QTL。聚合低 GI 性状与具有消费者偏好的水稻品质基因,是选育营养健康而又适口性好的水稻品种的重要途径。目前,GI 体外测定方法的不断完善也为低 GI 水稻育种提供了技术保障^[9-10]。

笔者所在研究团队以籼稻高产品种扬稻 6 号、低血糖生成指数品种 Basmati、香味粳稻品种 R405 为亲本,进行杂交和复交后,经多代系谱选择,获得多份丰产性、抗倒性等综合农艺性状优良的新品系;通过模拟精米淀粉人体外消化试验,获得消化速度慢的品系若干份;再通过测定直链淀粉含量以及抗性淀粉含量,同时进行食味品质评价,筛选到生育期适中、丰产性好的偏粳型新品系南粳丝苗,该品系具有优质、低血糖生成指数(GI)等特性。多次检测结果表明,南粳丝苗的稻米主要品质指标达国标一级优质米标准,且适口性较好,血糖生成指数仅 55,明显低于普通稻米,是一个适合糖尿病、高血糖、肥胖等特殊人群的低升糖指数稻米品种,具有较大的市场前景和社会效益。

1 选育过程

1.1 亲本选择

扬稻 6 号为江苏里下河地区农业科学研究所选育的著名籼型水稻品种,表现高产、优质、适应性广,适宜在江苏、安徽和湖北作一季中稻种植,曾是大面积应用的两系法杂交稻的主要恢复系。Basmati^[11]源自巴基斯坦,是比泰国香米更为著名的

香稻品种,也是知名的低血糖生成指数品种。R405^[12]为江苏省农业科学院粮食作物研究所培育的具有自主知识产权的长粒型优质香味偏粳型品系,适口性也适合太湖流域及周边地区喜食粳米的消费人群。以上品种均为笔者所在育种团队亲本圃保存材料。

1.2 选育经过

2012 年正季在南京以扬稻 6 号为母本、Basmati 为父本杂交获得 F_1 ,2013 年春在海南再以扬稻 6 号/Basmati 的 F_1 为母本与 R405 复交,之后多代自交并进行农艺性状的系谱选择。通过体外测定血糖生成指数,得到若干目标株系。2018 年在南京溧水基地种植 F_8 ,结合田间农艺性状,筛选确定其中 1 个株系 83134,2019 年参加品比试验,该株系分蘖力中等,茎秆粗壮、弹性好,熟相佳,并进行了稻米体外消化检测。2020 年,编号为 03108 的该品系参加品比试验和多点比较试验,表现熟相好、米粒透明度高、产量等综合性状较好,兼具亲本较高丰产性、上佳适口性及低血糖生成指数等特性,2021 年命名为南粳丝苗(又名“建康 1 号”,图 1)。

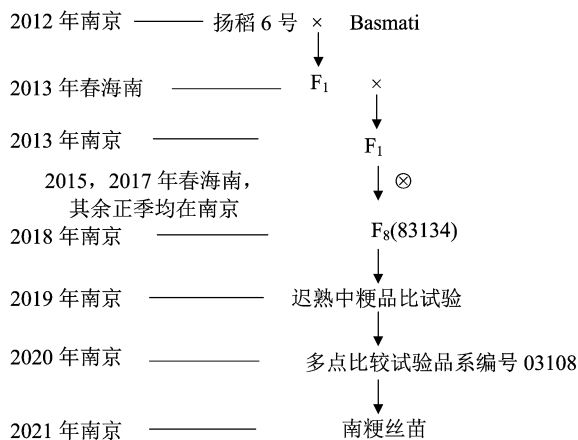


图1 南粳丝苗选育过程

2 特征特性

2.1 籼粳型分类

利用卢宝荣和 Liu 等开发的 36 对籼粳分类 InDel 标记为引物^[13-14],并以日本晴为粳稻对照,9311 号为籼稻对照,对南粳丝苗进行 DNA 检测和籼粳分型研究,籼粳指数计算方法和籼粳分类参照卢宝荣等的标准^[13]。结果表明,除去 2 对反复验证均无扩增条带的引物外,剩余 34 对 InDel 标记中,南粳丝苗籼型基因频率为 0.353,粳型基因频率为 0.647,属于偏粳型水稻。

南粳丝苗与多个粳稻杂交种的平均结实率达到 90% 以上,而与多个籼稻杂交种的平均结实率仅为 50% 左右,表明南粳丝苗与籼稻亲和性差,与粳稻的亲性好,进一步证实南粳丝苗偏粳型。

2.2 主要农艺性状与形态特征

在南京作一季稻种植,5 月中旬播种,南粳丝苗全

生育期在 130 d ~ 135 d,属中熟中粳。株高 86.8 cm 左右,株型紧凑,分蘖力中等,茎秆粗壮有弹性,苗期叶色较深,剑叶长、内卷、斜挺角度大。穗层整齐,穗型适中,穗长 23.3 cm,着粒均匀,稃尖紫色。每 667 m² 有效穗 20 万左右,平均每穗颖花数 134.7,结实率 83.8%,千粒质量 24.5 g(表 1 和图 2)。

表 1 南粳丝苗主要农艺性状

株高 (cm)	穗长 (cm)	有效穗数 (万/667 m ²)	每穗颖花数	结实率 (%)	千粒质量 (g)
86.8 ± 1.2	23.3 ± 0.7	20.0 ± 1.4	134.7 ± 24.2	83.8 ± 4.2	24.5 ± 0.8



图2 南粳丝苗群体、单株、稻穗及精米照片

2.3 产量及抗病性表现

南粳丝苗适应性广泛,2019 年多点评比试验,平均单产 450.8 kg/667 m²;2020 年江苏省内多点示范,平均单产 500.1 kg/667 m²;2021 年江苏东海展示片测产,百亩方平均单产 525 kg/667 m²。

经多年多点试验示范的检验,南粳丝苗高抗水稻条纹叶枯病,对纹枯病、稻瘟病抗性也较好。

2.4 稻米理化品质以及食味品质

农业农村部稻米及制品质量检测中心测定数据,南粳丝苗糙米率 79.3%,精米率 70.1%,整精米率 58.4%,粒长 6.3 mm,长宽比 3.1,垩白粒率 0%,垩白度 0,透明度 2 级,碱消值 6.7 级,胶稠度 68 mm,直链淀粉含量 22.2%,蛋白质含量 8.2%。精米外观透明,垩白度等主要指标达到国标一级米标准。蒸煮时以米水比 1 : 1.4,米饭松软,适口性好,尤其适合南方地区消费者的口味。

2.5 血糖生成指数

中国食品发酵工业研究院有限公司是澳大利亚 GI 基金会在中国唯一授权的国际认证机构,具备 GI 检测资质。公司下属的功能主食创制与慢病营养干预北京市重点实验室采用国际标准 ISO 26642—2010 进行人体试验,结果表明,南粳丝苗精

白米产品 GI 值为 55,属于低 GI 产品。

3 栽培应用技术要点

3.1 适时播种

南粳丝苗适宜种植地区为江苏淮河以北地区,淮河以南稻区适合麦茬直播和瓜后稻。机插育秧时间在 5 月下旬,秧龄 18 ~ 23 d,每 667 m² 栽 1.8 万 ~ 2 万穴,每穴 3 ~ 4 苗,株行距 13 cm × 25 cm 或 12 cm × 30 cm。机直播宜在 6 月 20 日之前完成,每 667 m² 播种 5 kg 左右。

3.2 高产的群体结构要求

每 667 m² 目标产量 550 ~ 600 kg 稻谷的群体结构为:有效穗 18 万 ~ 20 万/667 m²,平均每穗颖花数 140,总颖花数 2 700 万 ~ 3 000 万/667 m²,结实率 85% 左右,千粒质量 24 ~ 25 g。

3.3 肥水管理

基肥和分蘖肥与穗肥的使用比例以 6 : 4 较好,全生育期每 667 m² 施纯氮 18 kg 左右,并注意 N、P、K 肥的配合使用。

浅水插秧,减少植伤;深水护秧,防止败苗;寸水返青,促进早发;中期适时、分次搁田,高峰苗控制在 25 万 ~ 28 万,达到适群体、壮个体,提高有效

成穗率;中后期干湿交替,抽穗扬花期以水为主,尤其是遇及高温天气,要及时满足水稻的“生态需水”,灌水以降低冠层温度,利于扬花授粉而提高结实率。灌浆期“前水不清(尽)、后水不进”,利于养根保叶,活熟到老。

3.4 病虫害防治

用杀菌剂浸种防治恶苗病、线虫病等种传病害;根据预测预报,用生物农药或杀虫剂防治稻蓟马、各种螟虫、飞虱等。分蘖期注意防治纹枯病,抽穗期注意防治穗颈瘟。

4 讨论

随着社会经济的高速发展和物质生活水平的提高,人们的饮食结构发生了较大的变化,高糖分食品的摄入量明显增加,亚健康人群的数量也随之急剧上升,其中,糖尿病、肥胖症等高血糖引起的疾病增加明显,发病率日益走高。饮食质量的调整是从源头上预防和控制此类疾病最经济也是最有效的手段。低 GI 食物在预防和缓解糖尿病、肥胖症等方面具有重要作用。普通大米是高 GI 值食品,因此,低 GI 特性稻米品种选育是面向人们健康生活需求的重要研究内容,也一直是水稻育种的一个难点和重大挑战,筛选并培育出低血糖生成指数稻米品种将具有巨大的市场前景和社会效益。

通过以低血糖生成指数为目标进行筛选和新品种培育,目前已选育出生育期适中、丰产性好的新品系南粳丝苗,其稻米主要品质指标达国标一级优质米标准;由于其淀粉含量远低于从自然水稻材料中筛选出的已有低 GI 水稻品种,所以适口性较好,尤其适宜太湖流域及周边地区喜食粳米人群;南粳丝苗血糖生成指数为 55,明显低于普通稻米品种,是一个适合糖尿病、高血糖、肥胖等特殊人群的稻米品种,具有莫大的市场前景。笔者所在研究团队已与“江南米道”等企业合作,对该品种进行规模化开发。预期将为特殊稻米行业和人们的饮食健康作出应有的贡献。

作为特种健康稻米品种,南粳丝苗的产量潜力仍有待提高。下一步工作准备用南粳丝苗与食味优良、产量潜力更高的粳稻(超级稻)如苏垦 118、南粳 9108 等进行杂交,再通过一系列筛选和鉴定后,选育出产量水平更高的低 GI 水稻新品种。围绕低血糖生成指数这一育种目标,结合优良农艺性状与食味品质,将低 GI 水稻的丰产性潜力提高至

700 ~ 750 kg/667 m²,使其不但品质优,而且丰产性和经济效益更高。另外,为保持低血糖生成指数水稻的优质和低 GI 特性,相应的施肥、水浆管理等栽培应用技术特别是灌浆期淀粉合成阶段的栽培管理技术需要强化研究。

参考文献:

- [1] Butardo V M, Sreenivasulu N, Juliano B O. Improving rice grain quality: State - of - the - art and future prospects [J]. *Methods in Molecular Biology*, 2019, 1892: 19 - 55.
- [2] Kataoka M, Venn B J, Williams S M, et al. Glycaemic responses to glucose and rice in people of Chinese and European ethnicity [J]. *Diabetic Medicine*, 2013, 30: e101 - e107.
- [3] Shah B R, Li B, Wang L, et al. Health benefits of konjac glucomannan with special focus on diabetes [J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2015, 5: 179 - 187.
- [4] 陈静茹, 孟庆佳, 康乐, 等. 低血糖生成指数谷物及其制品研究进展与法规管理现状[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(18): 338 - 343.
- [5] Hu E A, Pan A, Malik V, et al. White rice consumption and risk of type 2 diabetes: meta - analysis and systematic review [J]. *British Medical Journal*, 2012, 344: e1454.
- [6] Anacleto R, Badoni S, Parween S, et al. Integrating a genome - wide association study with a large - scale transcriptome analysis to predict genetic regions influencing the glycaemic index and texture in rice [J]. *Plant Biotechnol Journal*, 2019, 17: 1261 - 1275.
- [7] Fitzgerald M A, Rahman S, Resurreccion A P, et al. Identification of a major genetic determinant of glycaemic index in rice [J]. *Rice*, 2011, 4: 66 - 74.
- [8] Zhou H J, Wang L J, Liu G F, et al. Critical roles of soluble starch synthase SSIIIa and granule - bound starch synthase waxy in synthesizing resistant starch in rice [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113: 12844 - 12849.
- [9] Williams P J, Brand M, Fitzgerald M. Project 4505 GI of rice [M]. Leeton, Australia: Cooperative Research Centre for Sustainable Rice Production, 2005: 84 - 89.
- [10] Englyst H N, Kingman S M. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46 (Suppl 2): S33 - 50.
- [11] 谢黎虹, 陈能, 段彬伍, 等. 印度的巴斯马蒂香稻[J]. *中国稻米*, 2004(10): 37 - 38.
- [12] 仲维功, 杨杰, 陈志德, 等. 江苏扬中“杂草稻”的籼粳分类[J]. *江苏农业学报*, 2006, 22(3): 238 - 242.
- [13] 卢宝荣, 蔡星星, 金鑫. 籼稻和粳稻的高效分子鉴定方法及其在水稻育种和进化研究中的意义[J]. *自然科学进展*, 2009, 19(6): 628 - 638.
- [14] Liu P, Cai X X, Lu B R. Single - seeded InDel fingerprints in rice: an effective tool for *indica - japonica* rice classification and evolutionary studies [J]. *Journal of Systematics and Evolution*, 2012, 50: 1 - 11.