

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.02.012

于海霞, 彭莉, 杨明, 等. 糯小麦“山农糯麦 1 号”籽粒及淀粉品质分析[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(2): 100-105.

YU H X, PENG L, YANG M, et al. Quality characteristics of grain and starch of waxy wheat “Shannong nuomai 1”[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(2): 100-105.

糯小麦“山农糯麦 1 号”籽粒及淀粉品质分析

于海霞¹, 彭莉², 孙明涛³, 杨明², 邓志英¹, 田纪春^{1,4}✉

(1. 山东农业大学 小麦育种全国重点实验室, 山东 泰安 271018;

2. 山东天泽泰田种业科技有限公司, 山东 泰安 271000;

3. 山东省菏泽市农业农村局, 山东 菏泽 274000;

4. 山东华田农业科技有限公司, 山东 泰安 271000)

摘要:为更好地了解糯小麦的品种特性,以山东省第一个审定的高产糯小麦“山农糯麦 1 号”为材料,研究其籽粒和淀粉特性。结果发现:该品种几乎不含直链淀粉(仅 0.1%),较普通小麦具有较高的蛋白质含量(16.4%)和面粉白度(81.2%)。扫描电镜观察淀粉粒度分布不均匀,A 型淀粉颗粒较多。快速粘度分析(RVA)测定表明淀粉具有较低的糊化温度,较短的糊化时间,较低的峰值黏度、最终粘度和回生值。加工时面团吸水率明显较高,形成时间大于稳定时间。这些结果将为山农糯麦 1 号适于用作配粉和加工食品提供参考依据。

关键词:糯性小麦;籽粒;淀粉;糊化特性;粉质特性

中图分类号:TS201.1;S-3 文献标识码:A 文章编号:1007-7561(2024)02-0100-06

网络首发时间:2024-03-05 16:04:54

网络首发地址:https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240301.1552.006

Quality Characteristics of Grain and Starch of Waxy Wheat “Shannong nuomai 1”

YU Hai-xia¹, PENG Li², SUN Ming-tao³, YANG Ming², DENG Zhi-ying¹, TIAN Ji-chun^{1,4}✉

(1. Shandong Agricultural University/National Key Laboratory of Wheat Improvement, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Shandong Tianze Taitian Seed Technology Co., Ltd, Tai'an, Shandong 271000, China;

3. Heze Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Heze, Shandong 274000, China;

4. Shandong Huatian Agricultural Technology Co., Ltd, Tai'an, Shandong 271000, China)

Abstract: Waxy wheat is the new variety for special purposes first proposed by Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China in 2017. In order to better understand the characteristics of waxy wheat, we have studied the grain and starch characteristics of Shannong nuomai 1, which was the first high-yield waxy wheat approved by Shandong Province. The results showed this variety hardly contained

收稿日期:2023-09-14

基金项目:山东省自然科学基金面上项目(ZR2020MC093);泰安市农业良种工程(2022NYLZ06);山东省农业良种工程(2022LZGCQY002)

Supported by: Natural Science Foundation of General Project of Shandong Province (No. ZR2020MC093); the Agricultural Improved Variety Project of Tai'an City (No. 2022NYLZ06); the Agricultural Improved Variety Project of Shandong Province (No. 2022LZGCQY002)

作者简介:于海霞,女,1983年出生,博士,高级实验师,研究方向为小麦品质分析及遗传育种。E-mail:306948200@qq.com

通讯作者:田纪春,男,1954年出生,博士,教授,研究方向为谷物品质检测分析及分子设计育种。E-mail:jctian@sdau.edu.cn

any amylose (only 0.158%), but had the high protein content (16.4%) and flour whiteness (81.2%). There were uneven starch particle size distribution with more A-type starch particles using scanning electron microscopy. In terms of pasting properties, a lower gelatinization temperature, shorter gelatinization time, lower peak viscosity, final viscosity when comparing with those of common wheat. The water absorption rate of dough was obviously higher than that of common wheat, and the formation time was longer than stability time. These studies could provide reference and theoretical basis for power blending and processed products with Shannong nuomai 1.

Key words: waxy wheat; grain; starch; gelatinization characteristics; farinose quality

为了满足人们日益增长的对营养和健康的品质需求, 特色功能性小麦新品种培育是近年来的重要育种目标。淀粉作为小麦籽粒的重要组成部分, 会通过自身组成的变化及与蛋白质的相互作用来影响面团特性及加工、食品品质等。

小麦淀粉主要由直链淀粉(20%~25%)及支链淀粉(75%~80%)组成。糯小麦籽粒中 Waxy 蛋白的 3 个亚基全部缺失或隐性纯合会导致合成的直链淀粉含量极低(<1%), 淀粉表现为糯性^[1]。农大糯麦 1 号是 2006 年中国农业大学的刘广田教授研究成功的中国第一个糯小麦品种, 我国随后又培育出紫糯麦 1 号等多个糯小麦品种, 因农艺性状差、产量低, 影响了生产应用^[2-3]。“山农糯麦 1 号”是山东省审定的第一个新型高产糯质小麦(2018 年, 审定编号 20186028), 直链淀粉含量几乎没有, 在农艺、产量等方面表现都非常突出, 创国内外糯小麦高产记录 10 424.4 kg/hm²。因其颜色独特、面粉品质优良及全糯性等特性, 可作为新食品开发的优质原粮。但目前对其品质性状还未进行详细研究, 本研究旨在为该品种的大面积推广和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料种植

2018—2022 年将“山农糯麦 1 号”种植在山东省泰安市山东农业大学教学基地(116°36'E, 36°57'N), 实验采用完全随机区组设计, 常规大田管理。

1.2 仪器与设备

布勒实验磨(LRMM-8040-3-D): 布勒粮食检验仪器无锡有限公司; 全自动凯氏定氮仪(K1160): 海能未来技术集团有限公司; 全自动紫外分光光度计(UV 2700): 成都安恒达科技有

限公司; 面筋测定仪(Perten 2200): 珀金埃尔默企业管理(上海)有限公司; 智能白度测定仪(WSB-X): 杭州大成光电仪器有限公司; 色彩色差仪(CR410): 柯尼卡美能达公司; 激光粒度仪(LS 13 320): 贝克曼库尔特商贸(中国)有限公司; 扫描电子显微镜(ZEISS, 6610): 德国蔡司; 快速黏度仪(TechMaster RVA): 波通瑞华科学仪器(北京)有限公司; 电子粉质仪(Farinograph-AT): 北京布拉德科技发展有限公司。

1.3 品质指标测定

小麦收获后进行室内考种, 经布勒实验磨磨粉后过 100 目筛。测定前确保样品水分含量 14%。

取样后在农业农村部谷物品质监督检验测试中心(泰安)测定, 测定指标包括容重、蛋白质含量、直链淀粉含量、色度、快速黏度分析(RVA)、稳定时间等。每项测试 3 次重复。

蛋白质含量: 参照 NY/T 3—1982《谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法(半微量凯氏法)》, 称取 2 g 样品, 使用全自动凯氏定氮仪测定, 粗蛋白质换算系数 5.7。

直链淀粉含量: 参照 NY/T 55—1987《水稻、玉米、谷子籽粒直链淀粉测定法》, 依据直链淀粉与碘生成深蓝色复合物的原理, 称取 10 g 面粉, 通过全自动紫外分光光度计在 620 nm 处测定吸光值, 计算直链淀粉含量。

湿面筋含量: 参照 GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉 面筋含量》第 2 部分: 仪器法称取 10 g 样品, 使用面筋测定仪测定。

白度: 参照 GB/T 12097—89《淀粉白度测定方法》使用智能白度测定仪测定。

色度仪: 参照 GB/T 27628—2011《粮油检验 小麦粉粉色、麸星的测定》, 用色彩色差仪测定小麦粉表面的色度值, L^* 表示颜色的明

亮度，正数表示偏白； a^* 表示红绿值； b^* 表示黄蓝值。

淀粉粒径大小：参考徐家露^[4]方法，称取淀粉样品 100 mg 于干净离心管中，加入 10 mL 75% 乙醇，涡旋振荡器振荡混匀后超声混匀，采用激光粒度仪对样品进行检测。D10、D50 和 D90 分别代表淀粉颗粒累计体积达到总体积 10%、50% 和 90% 时的粒径。

淀粉粒大小及形态：使用扫描电子显微镜观察，成熟小麦中的淀粉粒度由 A 型淀粉颗粒（直径 $>10 \mu\text{m}$ ）和 B 型淀粉颗粒（直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ ）组成。

快速粘度分析 RVA 参数：按 GB/T 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定快速粘度仪法》执行并简化方法。测定峰值粘度、最低粘度、最终粘度、衰减值、回生值、峰值时间和糊化温度等指标。

粉质参数：参照 GB/T 14614—2019《粮油检验

小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》，采用电子粉质仪测定，测试结果以吸水量、形成时间、稳定时间等表示。使用 300 g 揉面头。

1.4 数据处理

通过 Excel 2007 进行实验数据的分析。

2 结果与分析

2.1 籽粒物理品质分析

经农业农村部谷物品质监督检验测试中心（泰安）测试 2018—2022 年样本，发现山农糯麦 1 号籽粒容重高达 795.4 g/L，表明籽粒饱满整齐，质地紧密，皮壳薄，出粉率高，依据小麦国家标准^[5]，属于 1 类小麦。使用小麦硬度测定仪测定硬度，籽粒的硬度指数为 61.3，粗蛋白质含量为 16.4%，面筋含量 35.7%。根据小麦品种品质分类国家标准^[6]，该品种属于高蛋白、高湿面筋小麦。面粉白度 81.2%，色泽中 L^* 值较高，面粉颜色较明亮（表 1），出粉率 65%。

表 1 2018—2022 年山农糯麦 1 号的主要籽粒和淀粉品质指标
 Table 1 Main quality parameters of grain and starch of waxy wheat "Shannong nuomai 1"

	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	平均值	
籽粒容重/(g/L)	790	809	790	799	789	795.4	
籽粒粗蛋白/%	16.4	17.0	16.0	16.6	16.0	16.4	
硬度指数	61	62.7	60.6	61.2	60.9	61.3	
面筋含量/%	34.4	38.0	35.2	36.2	34.5	35.7	
面粉白度/%	81.4	82.2	80.3	80.9	81.4	81.2	
小麦粉色泽	L^*	90.3	90.5	90.5	90.4	90.5	
	a^*	-1.2	-1.3	-1.3	-1.3	-1.3	
	b^*	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	
直链淀粉含量/%	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	
小麦粉粒度	D10/ μm	16.8	16.7	16.5	16.7	16.7	
	D50/ μm	55.7	54.3	52.5	53.9	53.5	
	D90/ μm	153.8	151.6	151.8	153.3	154.0	
快速粘度分析 RVA/cP	峰值粘度	2 105	2 102	2 142	2 111	2 163	2 124
	最低粘度	879	912	899	895	909	902
	衰减值	1 226	1 190	1 243	1 216	1 254	1 226
	最终粘度	1 330	1 342	1 363	1 340	1 363	1 347
	回生值	481	430	464	445	454	455
	峰值时间/min	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$	68.60	68.60	68.55	68.60	68.65	68.6
	吸水率/(mL/100 g)	78.2	77.6	78.8	78.7	78.6	78.4
粉质参数	形成时间/min	3.5	3.6	3.3	3.0	3.6	3.4
	稳定时间/min	2.8	2.8	1.8	1.9	2.5	2.36
	弱化度/FU	161	182	179	159	148	165.8
	粉质指数/mm	50	52	/	47	51	50

2.2 淀粉粒度品质分析

山农糯麦 1 号直链淀粉含量 0.15%，达到糯质小麦的标准。淀粉的粒度分布是影响淀粉理化特性、面筋结构及与蛋白质相互作用的重要因素。激光粒度分析仪测定发现粒度分布不均匀，粒径小于 D10 (16.7 μm) 的颗粒占 10%，中值粒径 D50 (53.9 μm) 常用于表示糯麦的平均粒径，D90 表明粒径小于 152.9 μm 的颗粒占 90% (表 1)。

利用扫描电子显微镜观察淀粉的微观结构 (图 1)，发现了直径 $>10 \mu\text{m}$ 的 A 型大淀粉颗粒和直径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的 B 型小淀粉颗粒。A 型淀粉颗粒呈饼形圆盘状，不均匀的表面形态，B 型淀粉颗粒多呈球形，表面相对光滑。从分布上看，B 型淀粉颗粒数量少，占比小于 10%。

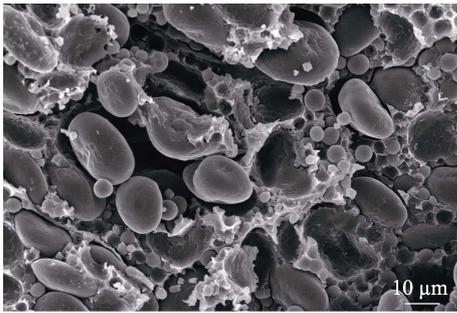


图 1 山农糯麦 1 号淀粉颗粒的扫描电镜观察

Fig.1 The starch particles images of waxy wheat "Shannong nuomai 1" by scanning electron microscopy

2.3 淀粉糊化特性分析

RVA 测定结果 (表 1 和图 2) 表明，山农糯麦 1 号淀粉颗粒在 68.6 $^{\circ}\text{C}$ 左右快速膨胀破裂，淀粉吸水迅速膨胀，峰值粘度显著升高，历时 3.9 min 左右就达到了峰值粘度 (2 124 cP)。之后粘度开始下降达到低谷 (902 cP)，其粘度不再下降，趋于一个稳定的粘度，没有第二个峰值粘度，衰减值 1 226 cP，最终粘度值为 1 347 cP。与其它品种相比，糊化温度 68.6 $^{\circ}\text{C}$ ，一般低于非糯性淀粉的糊化温度，表明糯性淀粉更容易糊化。糯小麦面粉具有较短的糊化时间，较低的回生值 (图 2)，说明糯麦面粉的凝沉阻力较大，其凝沉速度和程度较低所以具有快速糊化且不易老化的趋势。

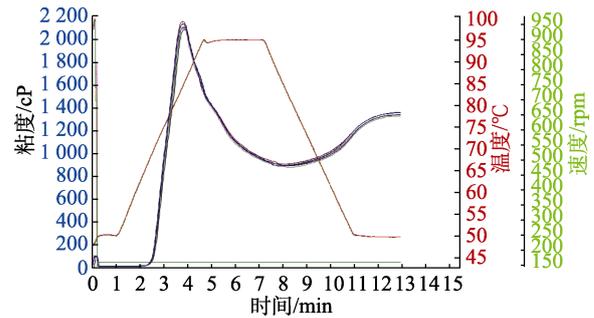


图 2 山农糯麦 1 号面粉的糊化特性图

Fig.2 Pasting properties of waxy wheat "Shannong nuomai 1"

2.4 淀粉粉质特性分析

粉质曲线是评价面团特性的重要指标之一，可以直观反映出面粉的稳定时间等面团流变学特性。山农糯麦 1 号面粉吸水率为 78.4 mL/100 g，面团形成时间为 3.4 min，面团稳定时间 2.36 min，弱化度 165.8 FU，粉质指数 50 (表 1 和图 3)。山农糯麦 1 号与对照普通小麦相比，吸水率明显较高，在面团持水性、延伸性表现出了比普通小麦粉更好的加工特性。

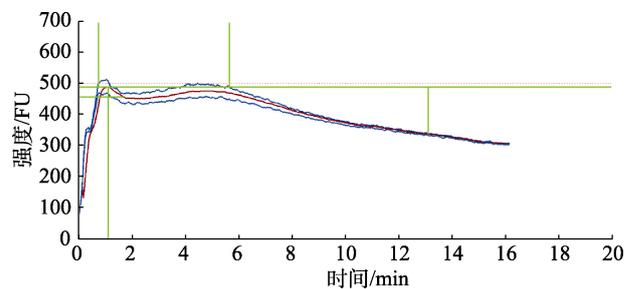


图 3 山农糯麦 1 号面粉的粉质曲线

Fig.3 Flour quality parameter curve of waxy wheat "Shannong nuomai 1"

3 讨论

3.1 糯小麦的品种特性

淀粉在面粉中含量最多，并且具有独特的物理化学性质，能显著影响面团的流变学特性，其营养品质和加工品质具有重要的社会和经济意义，已引起了育种家的广泛重视。

山农糯麦 1 号是山东省审定的第一个与高产普通品种产量相当的糯质小麦新品种，合成直链淀粉的关键酶 Waxy 蛋白 Wx-A1、Wx-B1 和 Wx-D1 这 3 个基因位点全部缺失，属于全糯小麦^[7]。山农糯麦 1 号的容重 796 g/L，达到 1 级小麦标准，出

粉率 65%，面粉加工企业喜欢收购。随着直链淀粉合成能力的丧失，粗蛋白和湿面筋含量数值比较高且稳定，淀粉与蛋白质之间似乎存在此消彼长的现象。

与普通小麦相比，山农糯麦 1 号面粉具有较高的吸水率，而面筋网络较弱，结构较松散，在加工过程中难以成形，形成时间大于稳定时间。较低的形成时间及稳定时间和较低的回生值等，具有更容易快速糊化且不易老化的趋势，与前人糯麦的研究结果一致^[8]，可能由于所含的直链/支链淀粉含量不同及淀粉颗粒紧密程度不同会造成数值稍有差异。时岩玲等^[9]对 waxy 蛋白缺失小麦后代的淀粉特性也进行了研究，发现正反交组合 F1 代种子的直链淀粉含量介于糯麦和普通小麦两类亲本之间，且含量不同。F1 代种子的峰值粘度低于普通小麦亲本。直链淀粉含量与峰值粘度、回生值、最低粘度和最终粘度呈正相关，而与糊化温度和峰值时间的相关关系不显著。

3.2 糯小麦的应用价值和前景

淀粉种类、比例显著影响小麦品质，使用糯麦调节小麦配粉中的直/支链淀粉的比例，可以增加多种食品的体积、改变外形和口感，提高营养品质，是改良现有食品品质的绝好添加材料。前人研究发现直链淀粉含量与鲜切面的粘弹性、光滑性和总评分呈二次曲线关系^[10]。支链淀粉含量与面团形成时间、面团稳定时间呈极显著正相关。糯麦粉可作为一种独特的面包软化剂改善面包的体积膨胀和柔软性，有效延缓面包陈化变硬，延长食品货架期^[11]，添加适量糯麦粉的水饺皮表现出更低的蒸煮损失率和冻裂率^[12]。已开发生产出糯淀粉、糯小麦酒、糯质麦仁等多种功能性食品和食品原料。糯麦淀粉可用作浓缩剂、浆糊等的添加成分。糯麦面粉制作粘糕类特色食品、糯米纸类食品包装纸，还可以延长速冻食品的货架寿命。

4 结论

本研究室获得的山农糯麦 1 号直链淀粉含量极低，同时具有较高的蛋白质和吸水率，其糊化特性和粉质参数与普通小麦不同。较低的回生值

和形成时间及稳定时间等，使面粉具有较好的延伸性、容易快速糊化且不易老化的特性，这将为品质改良、延长食品货架期等提供参考。

参考文献：

- [1] 何中虎. 糯小麦的研究概况[J]. 作物杂志, 1999, (2):7-9.
HE Z. Overview of research on waxy wheat[J]. Crops, 1999, (2): 7-9.
- [2] 孙彩玲, 田纪春, 翟红梅, 等. 糯性小麦育种的早期选择[J]. 山东农业科学, 2006, 3: 15-17.
SUN C L, TIAN J C, ZHAI H M, et al. Early selection of waxy wheat[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2006, 3: 15-17.
- [3] 毛瑞喜, 张中华. 高产糯小麦新品种济糯麦 1 号[J]. 农业知识, 2020.
MAO R X, ZHANG Z H. New high yield waxy wheat Jinuomai 1[J]. Agriculture Knowledge, 2020.
- [4] 徐家露. 不同糯稻品种的支链淀粉结构及其遗传基础研究[D]. 江西农业大学, 2021.
XU J L. Structural analysis and genetic basis of amylopectin in different glutinous rice varieties[D]. Jiangxi Agricultural University, 2021.
- [5] 国家市场监督管理总局. 中华人民共和国国家标准 小麦: GB 1351—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023:5.
State Administration for Market Regulation. National Standard of the People's Republic of China Wheat: GB 1351—2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023: 5.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 中华人民共和国国家标准 小麦品种品质分类: GB/T17320—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 2.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. National Standard of the People's Republic of China Quality classification of wheat varieties: GB/T17320—2013[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023: 5.
- [7] 邓志英, 田纪春. 糯小麦新品种山农糯麦 1 号的培育[J]. 中国种业, 2022, 7: 106-109.
DENG Z Y, TIAN J C. Cultivation of new waxy wheat Shannong nuomai 1[J]. China Seed Industry, 2022, 7: 106-109.
- [8] CHANG H, ZHANG J, XIA J, et al. Influence of waxy proteins on wheat resistant starch formation, molecular structure and physicochemical properties[J]. Food Chemistry, 2022, 376: 131944.
- [9] 时岩玲, 田纪春. Waxy 蛋白缺失小麦及正反交组合淀粉特性的研究[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(1):3.
SHI Y L, TIAN J C. Starch properties of waxy-protein deficient wheat and its reciprocal hybrids[J]. Journal of Triticeae Crops,

2004, 24(1): 3.

- [10] 张艳, 阎俊, 陈新民, 等. 糯小麦配粉对普通小麦品质性状和鲜切面条品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(5): 803-835.

ZHANG Y, YAN J, CHEN X M, et al. Effect of blending waxy wheat flour with common wheat on protein and starch properties and Chinese fresh noodle quality[J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(5): 803-835.

- [11] MORITA N, MAEDA T, MIYAZAKI M, et al. Effect of substitution of waxy-wheat flour for common flour in dough and baking properties[J]. Food Science and Technology Research, 2007, 8(2): 119-124.

- [12] 杨艳芳, 周惠明, 郭晓娜, 等. 糯小麦粉对速冻水饺品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 5.

YANG Y F, ZHOU H M, GUO X N, et al. The effect of waxy wheat flour on the quality of quick frozen dumplings[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(1): 5.

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。