

刘 健,张 晓,文 莉,等.不同外源添加剂对小麦糊化特性的影响[J].江苏农业科学,2024,52(14):183-189.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.14.026

不同外源添加剂对小麦糊化特性的影响

刘 健,张 晓,文 莉,张 勇,张晓祥

(江苏里下河地区农业科学研究所/农业农村部长江中下游小麦生物学与遗传育种重点实验室,江苏扬州 225007)

摘要:解析不同外源添加剂对小麦糊化特性的影响,为小麦品质改良提供理论支撑。以 4 个糯小麦和 3 个非糯小麦品种为试验材料,测定其糊化参数(RVA 值),并研究不同外源添加剂(蔗糖、氯化钠、硝酸银和二硫苏糖醇)对不同小麦品种糊化特性的影响。研究表明,糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、峰值时间低于非糯小麦,除扬麦 13 外,糯小麦稀懈值高于非糯小麦。与对照相比,4 种不同外源添加剂均可显著影响小麦糊化特性。添加蔗糖、氯化钠和硝酸银均能增加峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度等糊化参数,而二硫苏糖醇处理后糊化值则相反。添加蔗糖、氯化钠后,除中科糯麦 1 号的峰值黏度、低谷黏度、最终黏度增加的幅度最高,显著高于其他品种;济糯 1 号、扬糯麦 1 号、扬糯麦 2 号的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度增加不及非糯小麦或者与非糯小麦相当;添加硝酸银后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值均增加,且糯小麦各糊化参数的增加幅度明显高于非糯小麦;添加二硫苏糖醇后,糯小麦和非糯小麦的低谷黏度、峰值黏度、稀懈值、回生值、最终黏度均降低,且糯小麦各糊化参数的降低幅度明显大于非糯小麦。4 种不同处理后峰值黏度出现的时间均没有显著变化。

关键词:糯小麦;非糯小麦;糊化特性;淀粉;育种;品质改良

中图分类号:S512.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)14-0183-07

淀粉糊化特性是评价小麦面粉质量的一个重要指标,直接影响面条等食品加工品质以及口感、评分等。目前,淀粉糊化特性测定方法主要包括差示扫描量热仪法、布拉班德黏度仪法和快速黏度分析仪(RVA)法。其中 RVA 法测定时间短,面粉需要量较少,用途广泛,可测定绝对黏度^[1],已被越来越多地用于测定谷物淀粉理化特性,RVA 值是表征淀粉理化特性的重要参数。

淀粉糊化特性在不同小麦品种间表现不一致。王晨阳等研究发现,弱筋小麦主要黏度参数如峰值黏度、低谷黏度、最终黏度和回生值显著小于强筋品种,而稀懈值则相反^[2-3];冯辉等研究认为,不同品种的淀粉峰值黏度、低谷黏度和最终黏度表现为中筋>强筋>弱筋^[4];而张琪琪等研究认为,软质小麦峰值黏度、低谷黏度、稀懈值高于硬质小麦,而

最终黏度、回生值、峰值时间则相反^[5];贾辉辉等的研究表明,强筋小麦峰值黏度、稀懈值低于弱筋小麦,但低谷黏度、回生值和最终黏度高于弱筋小麦^[6]。上述不同研究者之间结果不完全一致,可能因选用品种不同造成的;也可能因弱筋小麦支链淀粉含量高造成主要淀粉糊化参数高于强筋小麦,而强筋小麦蛋白质含量较高导致其糊化温度高^[7]。*wx* 基因缺失对小麦糊化特性影响较大。Wang 等研究认为,与普通小麦相比,糯小麦糊化温度和回生值较低,但峰值黏度及稀懈值较高^[8];裴星旭认为,糯小麦主要淀粉糊化参数最低,均极显著低于其他 *wx* 基因缺失型及其野生型,但糯小麦稀懈值最高^[9]。

糊化特性还受外源添加剂影响。陈建省等研究认为,添加面筋蛋白峰值黏度、低谷黏度、最终黏度、回生值和峰值时间均呈现明显下降趋势^[10];添加脂肪能提高糊化温度,但降低峰值黏度、低谷黏度、最终黏度、稀懈值和回生值等糊化参数^[7]。添加盐对淀粉糊化特性的影响可能比较复杂^[11],Li 等认为糊化参数受直链淀粉结构和盐类型影响^[12];熊小青等研究发现,添加氯化钠后,小麦淀粉峰值黏度、低谷黏度、最终黏度均下降,而糊化温度、稀懈值和回生值均上升^[13];Devi 等认为添加氯化钠能最

收稿日期:2023-08-09

基金项目:扬州市现代农业项目(编号:YZ2022049);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(21)3102];国家小麦产业技术体系建设专项(编号:CARS-03-8)。

作者简介:刘 健(1987—),男,江苏盐城人,硕士,助理研究员,主要从事小麦育种和品质改良研究。E-mail:liu_jian945@163.com。

通信作者:张晓祥,硕士,副研究员,主要从事小麦品质遗传改良研究和新品种示范推广。E-mail:zxz@wheat.org.cn。

有效地提高糊化温度^[7]。江帆研究发现,添加蔗糖能增加峰值黏度、低谷黏度、稀懈值、最终黏度、回生值和峰值时间,但降低峰值温度^[14];Renzetti 等认为,糖会提高糊化温度并改变糊化焓,但不会影响淀粉在水中的糊化机制^[15]。Saccomanno 等研究发现,添加硝酸银后能增加面粉的糊化参数值,并且没有发现品种间存在差异^[16]。Xie 等研究认为,还原剂二硫苏糖醇降低了非糯小麦面粉糊化温度和峰值黏度^[17],但 Derycke 等发现二硫苏糖醇在糊化过程对 RVA 黏度的作用表现为先升高后降低的趋势^[18]。

上述不同外源添加剂对非糯小麦影响的研究较多,对小麦淀粉糊化特性的影响不尽相同,但对糯小麦的糊化特性研究相对较少,且基于外源添加剂种类对糊化特性影响也较少。本研究在前人研究的基础上,通过选用不同小麦品种以及不同外源添加剂来研究小麦淀粉糊化特性,期待为今后改良小麦品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验材料由 4 个糯小麦和 3 个非糯小麦组成,其中 4 个糯小麦分别为济糯 1 号、中科糯麦 1 号、扬糯麦 1 号、扬糯麦 2 号;3 个非糯小麦分别为强筋小麦师栾 02-1、中筋小麦扬麦 158 和弱筋小麦扬麦 13。供试材料于 2019 年 10 月 30 日在江苏里下河地区农业科学研究所万福试验基地(32°24'N, 119°26'E)进行种植。试验采用随机区组设计,2 次重复,每个小区面积 6.67 m²,机械条播,采用常规大田模式进行管理,及时防治病、虫、草害。2020 年 6 月 1 日小区收获脱粒,晾晒除杂后统一磨粉。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 面粉的制备 采用布勒大型实验磨进行磨粉,磨粉前先除去样品中的麦头、瘪粒、砂块等杂质,称取小麦 2 kg,然后按照水分调节表来确定加水量,进行润麦,并放置于阴暗处用密封袋封装 18 h 后进行磨粉。

1.2.2 糊化特性的测定 按照 GB/T 24853—2010 中的方法,采用 RVA 4500 型快速黏度仪(瑞典波通仪器公司)测定糊化特性参数。开机,预热机器 30 min,运行 RVA 控制软件。称取 4.0 g 面粉到 RVA 中,并加入 25.0 mL 蒸馏水,将糊状物在 50 ℃ 保持 1 min,在 3.7 min 内加热至 95 ℃,然后在

95 ℃ 保持 2.5 min。然后在 3.8 min 内将糊状物冷却至 50 ℃,并在 50 ℃ 保持 2 min,同时保持 160 r/min 的转速^[19]。其中外源添加剂分别为 5% (质量体积比)氯化钠、16% (质量体积比)蔗糖、5 mmol/L 硝酸银和 5 mmol/L 二硫苏糖醇各 1 L,代替蒸馏水。4 种外源添加剂分别代表无机盐、有机物、氧化剂、还原剂存在下对糊化特性的影响。主要测试参数有峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值和峰值时间。

1.3 数据统计与分析

利用 Excel 2010 和 SPSS 20 进行差异显著性比较分析和作图。

2 结果与分析

2.1 糊化特性

由表 1 可知,糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值和峰值时间依次分别为 1 396.0 ~ 2 681.5、104.5 ~ 531.0、299.5 ~ 1 597.0、195.0 ~ 1 066.0、1 201.0 ~ 1 629.5 cP 和 3.47 ~ 3.73 min,其中中科糯麦 1 号的上述各指标均最小。师栾 02-1、扬麦 158、扬麦 13 等 3 个非糯小麦品种的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值和峰值时间依次分别为 2 470.5 ~ 3 299.5、1 170.5 ~ 1 460.0、2 874.0 ~ 3 425.0、1 584.5 ~ 1 965.0、886.0 ~ 1 447.0 cP 和 6.13 ~ 6.24 min,其中强筋小麦师栾 02-1 的上述指标均最小(回生值除外),而弱筋小麦扬麦 13 的峰值黏度、稀懈值最高,中筋小麦扬麦 158 的低谷黏度、回生值和最终黏度最高。可以看出,糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、峰值时间总体上低于非糯小麦;除扬麦 13 外,稀懈值表现为糯小麦高于非糯小麦。

2.2 不同外源添加剂对糊化特性的影响

由表 2 可以看出,外源添加剂试验结果表明因添加剂种类和不同小麦品种间差异相差较大。与对照相比,添加蔗糖、氯化钠、硝酸银和二硫苏糖醇均能显著影响小麦的糊化特性。其中,添加蔗糖、氯化钠、硝酸银后,7 个小麦品种峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值等参数值增加,不同外源添加剂对糊化特性的增加幅度表现为蔗糖 > 氯化钠 > 硝酸银;而添加二硫苏糖醇后,7 个小麦品种淀粉的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和稀懈值均降低,但 4 种不同处理后峰值黏度出现的时间均没有明显变化。

表 1 不同小麦品种的糊化参数比较

品种	峰值黏度 (cP)	回生值 (cP)	最终黏度 (cP)	低谷黏度 (cP)	稀懈值 (cP)	峰值时间 (min)
济糯 1 号	2 436.0 ± 14.0d	531.0 ± 3.0d	1 597.0 ± 2.0c	1 066.0 ± 1.0c	1 370.0 ± 13.0bc	3.73 ± 0.0c
中科糯麦 1 号	1 396.0 ± 19.0f	104.5 ± 3.5f	299.5 ± 4.5d	195.0 ± 1.0d	1 201.0 ± 18.0cd	3.47 ± 0.0e
扬糯麦 1 号	2 234.0 ± 22.0e	503.5 ± 14.5d	1 434.5 ± 26.5c	931.0 ± 12.0c	1 303.0 ± 10.0bc	3.70 ± 0.0c
扬糯麦 2 号	2 681.5 ± 25.5c	418.0 ± 1.0e	1 470.0 ± 3.0c	1 052.0 ± 2.0c	1 629.5 ± 23.5a	3.60 ± 0.0d
师栾 02-1	2 470.5 ± 10.5d	1 289.5 ± 1.5b	2 874.0 ± 7.0b	1 584.5 ± 8.5b	886.0 ± 2.0e	6.13 ± 0.0b
扬麦 158	3 070.0 ± 45.0b	1 460.0 ± 11.0a	3 425.0 ± 18.0a	1 965.0 ± 7.0a	1 105.0 ± 52.0d	6.20 ± 0.0ab
扬麦 13	3 299.5 ± 10.5a	1 170.5 ± 10.5c	3 023.0 ± 78.0b	1 852.5 ± 67.5a	1 447.0 ± 57.0b	6.24 ± 0.0a

注:同列数值后的不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,下表同。

2.2.1 蔗糖对糊化特性的影响 添加蔗糖后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度均增加,且非糯小麦的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度明显高于糯小麦(图 1)。糯小麦中扬糯麦 1 号的峰值黏度和回生值最高,济糯 1 号的低谷黏度和最终黏度最高,而扬糯麦 2 号的稀懈值最高;非糯小麦中扬麦 158 的峰值黏度、回生值、稀懈值最高,弱筋小麦扬麦 13 的最终黏度和低谷黏度最高。糯小麦中中科糯麦 1 号的峰值黏度、低谷黏度、最终黏度增加的幅度最高,明显高于其他品种;其余 3 个糯小麦的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度增加不及 3 个非糯小麦,但糯小麦的稀懈值和回生值增加幅度明显高于非糯小麦。

2.2.2 氯化钠对糊化特性的影响 添加氯化钠后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和稀懈值均增加(图 2)。非糯小麦中弱筋小麦扬麦 13 的糊化参数值最高;糯小麦中扬糯麦 2 号的峰值黏度、稀懈值最高,扬糯麦 1 号的低谷黏度、最终黏度最高,济糯 1 号的回生值最高。中科糯麦 1 号的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度增加的幅度最高,明显高于其他品种;其余 3 个糯小麦峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度的增加幅度与 3 个非糯小麦比较相当,但糯小麦的稀懈值增加幅度略高于非糯小麦。

2.2.3 硝酸银对糊化特性的影响 添加硝酸银后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值均增加,且糯小麦各糊化参数的增加幅度明显高于非糯小麦(图 3)。糯小麦中扬糯麦 2 号的峰值黏度最高,济糯 1 号的低谷黏度和最终黏度最高,而扬糯麦 1 号的回生值最高;非糯小麦弱筋小麦扬麦 13 的峰值黏度、低谷黏度、稀懈值和最终黏度最高,而中筋小麦扬麦 158 的回生值最高。

糯小麦中尤以中科糯麦 1 号的糊化参数值增加最多,且增加幅度明显高于其他糯小麦品种;非糯小麦中以强筋小麦师栾 02-1 和弱筋小麦扬麦 13 增加较多,中筋小麦扬麦 158 增加较少。

2.2.4 二硫苏糖醇对糊化特性的影响 添加二硫苏糖醇后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值均降低,且糯小麦各糊化参数的降低幅度明显高于非糯小麦(图 4)。糯小麦中科糯麦 1 号的峰值黏度、低谷黏度、最终黏度和回生值最小,扬糯麦 1 号的稀懈值最小;非糯小麦中强筋小麦师栾 02-1 的各糊化参数值最小。非糯小麦中峰值黏度、低谷黏度和最终黏度均降低,但弱筋小麦扬麦 13 和中筋小麦扬麦 158 的稀懈值略有增加,而回生值增加幅度更高。

3 讨论

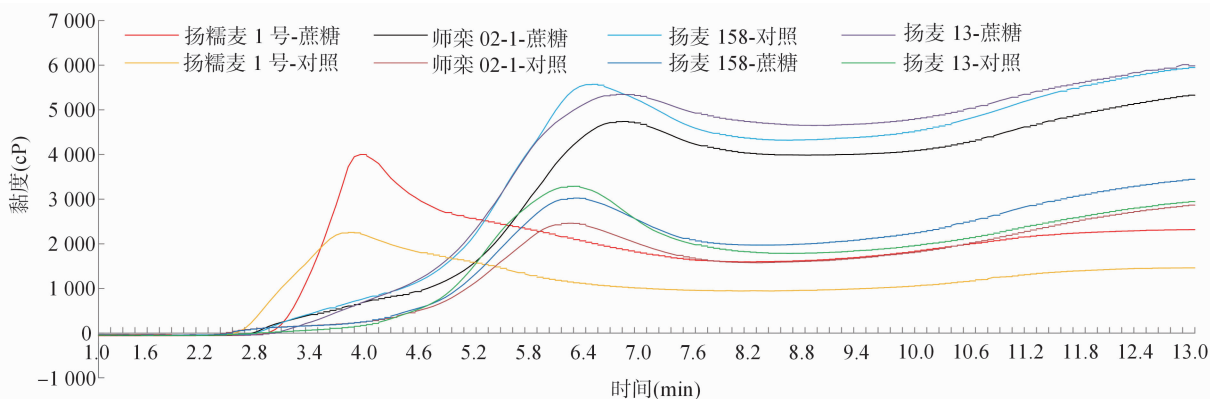
3.1 不同品种间糊化特性差异比较

糊化特性与淀粉结构、淀粉粒大小和比例以及成分有关,直链淀粉含量高、淀粉粒小,峰值黏度等糊化特性也较高^[20-21],糊化参数中以峰值黏度为最重要指标^[22]。与普通小麦相比,糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值和峰值时间均显著低于非糯小麦^[23],但张钟秀等认为糯小麦的稀懈值高于非糯小麦^[24]。本研究中糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和峰值时间均显著低于非糯小麦,但稀懈值则相反。稀懈值的高低由峰值黏度与低谷黏度之间的差值决定^[25],稀懈值与淀粉热稳定性呈负相关^[26],糯小麦淀粉糊对热不稳定^[27]。本研究中糯小麦的峰值黏度与低谷黏度之间的差值比非糯小麦的大,因此糯小麦稀懈值也较高。

就不同筋力非糯小麦糊化特性而言,李友军研

表2 不同外源添加剂对小麦品种糊化参数的影响

外源 添加剂	品种	峰值黏度			回生值			最终黏度			低谷黏度			稀糊值			峰值时间	
		数值 (cP)	较对照 增幅(%)	数值 (cP)	较对照 增幅(%)	数值 (cP)	较对照 增幅(%)	数值 (cP)	较对照 增幅(%)	数值 (cP)	较对照 增幅(%)	数值 (cP)	较对照 增幅(%)	数值 (min)	较对照 增幅(%)			
蔗糖	济糯 1号	3 926.0 ± 1.0g	61.2	696.5 ± 3.5jk	31.2	2 453.5 ± 16.5hi	53.6	1 762.0 ± 8.0h	65.3	2 164.0 ± 7.0e	58.0	3.9 ± 0.0jkl	4.6					
	中科糯麦 1号	2 920.0 ± 60.0j	109.2	421.0 ± 5.0pq	302.9	1 176.0 ± 15.0p	292.7	755.0 ± 10.0o	287.2	2 165.0 ± 5.0e	80.3	3.8 ± 0.0kl	10.5					
	扬糯麦 1号	4 023.0 ± 22.0fg	80.1	733.0 ± 11.0j	45.6	2 328.0 ± 10.0ij	62.3	1 595.0 ± 1.0ij	71.3	2 428.0 ± 23.0bc	86.3	3.9 ± 0.0jkl	4.6					
	扬糯麦 2号	4 152.5 ± 1.5ef	54.9	576.0 ± 29.0lmno	37.8	2 237.0 ± 9.0jkl	52.2	1 661.0 ± 20.0hij	57.9	2 491.5 ± 21.5bc	52.9	3.8 ± 0.0l	4.6					
	师柴 02-1	4 722.0 ± 18.0c	91.1	1 455.5 ± 62.5fg	12.9	5 296.0 ± 34.0b	84.3	3 840.5 ± 96.5c	142.4	881.5 ± 78.5k	-0.5	6.8 ± 0.1b	10.9					
	扬麦 158	5 552.0 ± 20.0a	80.8	1 617.0 ± 10.0d	10.8	5 928.0 ± 20.0a	73.1	4 316.0 ± 5.0b	119.6	1 241.0 ± 10.0ij	12.3	6.4 ± 0.0e	2.8					
	扬麦 13	5 357.5 ± 9.5b	62.4	1 328.0 ± 5.0hi	13.5	6 010.0 ± 25.0a	98.8	4 682.0 ± 30.0a	152.7	675.5 ± 20.5l	-53.3	6.7 ± 0.0b	7.5					
	济糯 1号	3 656.0 ± 6.0h	50.1	635.0 ± 15.0klm	19.6	2 289.0 ± 3.0ijk	43.3	1 654.0 ± 22.0hij	55.2	2 007.0 ± 23.0f	46.5	4.2 ± 0.0h	12.6					
	中科糯麦 1号	3 340.5 ± 15.5j	139.3	544.0 ± 15.0mno	420.6	1 898.5 ± 6.5n	533.9	1 354.5 ± 8.5lm	594.6	1 986.0 ± 7.0f	65.4	4.2 ± 0.0h	21.0					
	扬糯麦 1号	3 906.5 ± 59.5g	74.9	626.5 ± 16.5klmn	24.4	2 335.5 ± 9.5ij	62.8	1 709.0 ± 7.0hi	83.6	2 247.5 ± 16.5de	72.5	4.1 ± 0.0hi	11.8					
硝酸银	扬糯麦 2号	4 015.0 ± 9.0fg	49.7	548.0 ± 4.0mno	31.1	2 207.0 ± 5.0jkl	50.1	1 659.0 ± 9.0hij	57.7	2 356.0 ± 0.0cd	44.6	4.0 ± 0.0ij	11.1					
	师柴 02-1	3 988.5 ± 24.5g	61.4	1 425.0 ± 6.0fg	10.5	4 217.0 ± 63.0d	46.7	2 827.0 ± 34.0e	78.4	1 241.5 ± 19.5ij	40.1	7.0 ± 0.0a	14.2					
	扬麦 158	4 430.5 ± 23.5d	44.3	1 926.0 ± 13.0b	31.9	4 838.0 ± 5.0e	41.3	2 962.0 ± 58.0e	50.7	1 468.5 ± 34.5h	32.9	7.0 ± 0.0a	12.9					
	扬麦 13	4 481.0 ± 22.0d	35.8	2 089.0 ± 2.0a	78.5	5 129.5 ± 113.5b	69.7	3 140.5 ± 11.5d	69.5	1 470.5 ± 19.5h	1.6	7.0 ± 0.0a	12.3					
	济糯 1号	3 898.5 ± 7.5g	60.0	606.5 ± 2.5klmn	14.2	2 133.0 ± 3.0kl	33.6	1 526.5 ± 5.5jk	43.2	2 372.0 ± 13.0cd	73.1	3.5 ± 0.0m	-6.2					
	中科糯麦 1号	4 153.5 ± 3.5ef	197.5	541.0 ± 2.0no	417.7	1 905.0 ± 10.0mn	536.1	1 379.0 ± 7.0klm	607.2	2 824.5 ± 39.5a	135.2	3.4 ± 0.0mn	-1.6					
	扬糯麦 1号	4 007.0 ± 23.0g	79.4	644.5 ± 0.5jkl	28.0	2 071.5 ± 4.5lm	44.4	1 427.0 ± 5.0kl	53.3	2 580.0 ± 28.0b	98.0	3.4 ± 0.0jkl	-7.2					
	扬糯麦 2号	4 263.5 ± 16.5e	59.0	506.5 ± 1.5op	21.2	1 947.0 ± 2.0lmn	32.4	1 440.5 ± 3.5kl	36.9	2 823.0 ± 20.0a	73.2	3.3 ± 0.0efg	-9.2					
	师柴 02-1	3 050.5 ± 21.5j	23.5	1 487.0 ± 10.0ef	15.3	3 400.5 ± 14.5f	18.3	1 913.5 ± 4.5g	20.8	11 370.0 ± 17.0ij	28.3	6.1 ± 0.0de	-0.5					
	扬麦 158	3 329.5 ± 13.5i	8.5	1 577.5 ± 6.5de	8.0	3 628.0 ± 30.0e	5.9	2 050.5 ± 36.5g	4.4	1 279.0 ± 23.0i	15.7	6.2 ± 0.0de	-0.6					
二硫苏糖醇	扬麦 13	3 948.0 ± 32.0g	19.7	1 370.5 ± 2.5gh	17.1	3 654.5 ± 11.5e	20.9	2 284.0 ± 9.0f	23.3	1 664.0 ± 41.0g	15.0	6.3 ± 0.0cd	1.0					
	济糯 1号	1 681.5 ± 22.5m	-31.0	380.0 ± 12.0q	-28.4	1 287.5 ± 4.5o	-19.4	907.5 ± 16.5n	-14.9	774.0 ± 6.0kl	-43.5	3.9 ± 0.0n	4.6					
	中科糯麦 1号	866.5 ± 1.5p	-37.9	98.5 ± 1.5r	-5.7	188.5 ± 1.5s	-37.1	90.0 ± 0.0p	-53.8	776.5 ± 1.5kl	-35.3	3.5 ± 0.0m	1.7					
	扬糯麦 1号	1 495.5 ± 44.5o	-33.1	369.5 ± 7.5q	-26.6	1 189.5 ± 26.5op	-17.1	820.0 ± 19.0no	-11.9	675.5 ± 25.5l	-48.2	3.9 ± 0.0jk	6.2					
	扬糯麦 2号	1 599.0 ± 4.0no	-40.4	354.5 ± 3.5q	-15.2	1 066.0 ± 2.0pq	-27.5	711.5 ± 1.5o	-32.4	887.5 ± 2.5k	-45.5	3.8 ± 0.0kl	6.5					
	师柴 02-1	2 132.5 ± 19.5l	-13.7	1 271.5 ± 10.5i	-1.4	2 548.5 ± 6.5h	-11.3	1 277.0 ± 17.0m	-19.4	855.5 ± 2.5k	-3.4	6.1 ± 0.0ef	0.0					
	扬麦 158	2 720.5 ± 9.5k	-11.4	1 729.5 ± 9.5e	18.5	3 332.5 ± 11.5f	-2.7	1 603.0 ± 2.0ij	-18.4	1 117.5 ± 7.5j	1.1	6.0 ± 0.0fg	-3.2					
	扬麦 13	3 051.0 ± 6.0j	-7.5	1 380.5 ± 6.5gh	17.9	2 899.5 ± 16.5g	-4.1	1 519.0 ± 10.0jk	-18.0	1 532.0 ± 4.0gh	5.9	6.0 ± 0.0g	-4.3					



因不同糯小麦品种的变化趋势较一致，选用扬糯麦 1 号作为代表作图。下图同

图1 外源添加蔗糖对糊化特性的影响

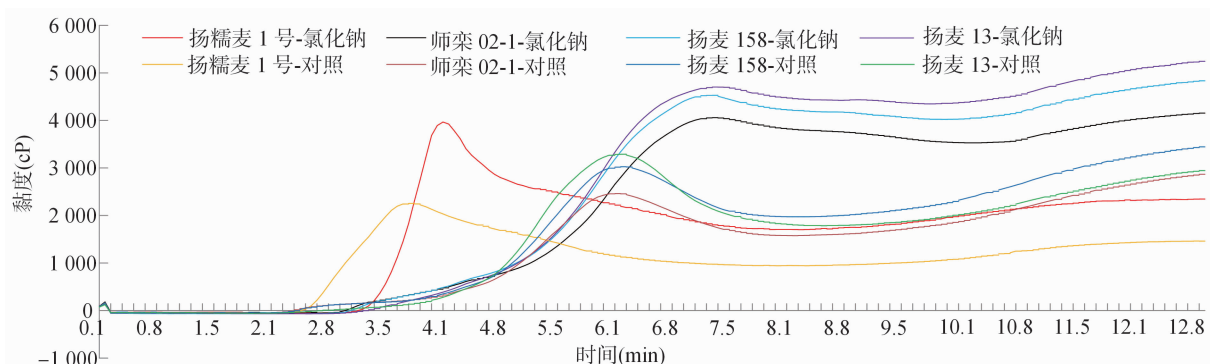


图2 外源添加氯化钠对糊化特性的影响

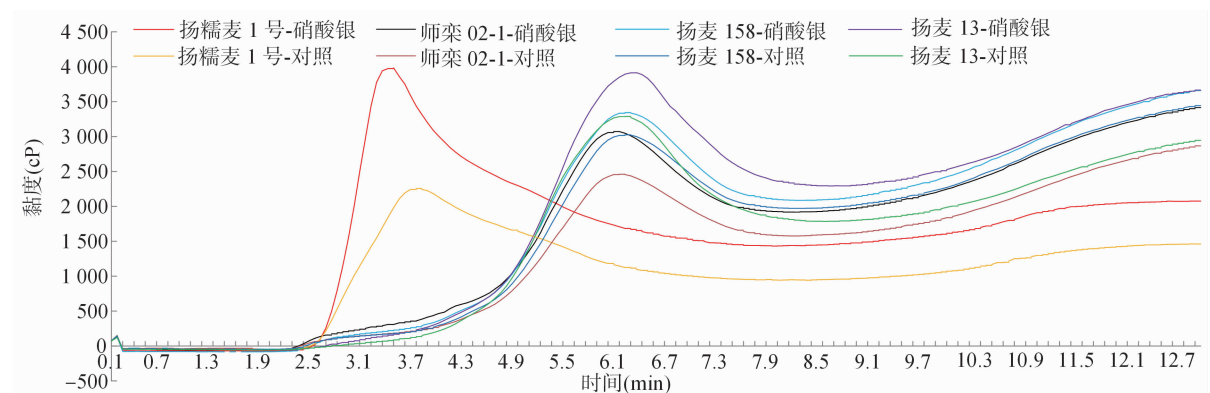


图3 外源添加硝酸银对糊化特性的影响

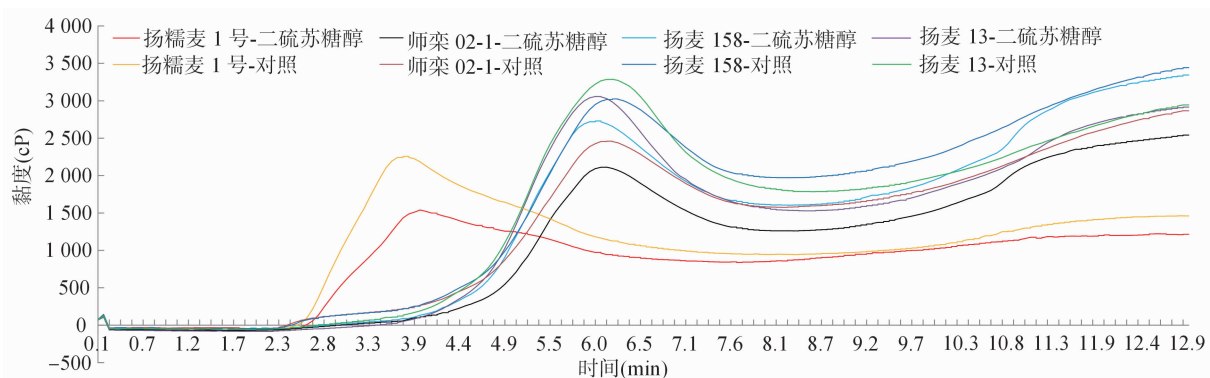


图4 外源添加二硫苏糖醇对糊化特性的影响

究认为峰值黏度、低谷黏度和最终黏度表现为中筋小麦 > 强筋小麦 > 弱筋小麦,而稀懈值表现为弱筋小麦 > 强筋小麦 > 中筋小麦,回生值表现为强筋小麦 > 中筋小麦 > 弱筋小麦^[28]。本研究中,峰值黏度和稀懈值表现为弱筋小麦 > 中筋小麦 > 强筋小麦,回生值表现为中筋小麦 > 强筋小麦 > 弱筋小麦,低谷黏度、最终黏度表现为中筋小麦 > 弱筋小麦 > 强筋小麦,与前人的研究^[28]不一致。本研究中强筋品种峰值黏度等糊化参数值低于弱筋小麦和中筋小麦,可能因本试验中强筋小麦为北方品种,而中筋品种和弱筋品种为南方品种,正如刘建军等的研究结果认为我国北方冬麦区品种峰值黏度显著低于南方麦区及国外(如澳大利亚和美国等)品种^[29]。裴星旭研究认为 *wx* 基因部分缺失可提高峰值黏度和稀懈值,以缺失 *wx-B1* 对峰值黏度影响最大^[9]。本研究中扬麦 13 缺少 *wx-B1*^[30],可能导致其峰值黏度和稀懈值高于强筋小麦和中筋小麦。

3.2 蔗糖对糊化特性的影响

研究发现添加蔗糖能增加峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值和峰值时间,但峰值温度降低^[13]。随着蔗糖浓度增加,峰值黏度、最终黏度和低谷黏度显著增加,稀懈值和回生值增加幅度不大。本研究中外源添加蔗糖后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、最终黏度、低谷黏度均增加,而糯小麦的稀懈值和回生值增加幅度显著高于非糯小麦。可能因蔗糖分子多羟基,亲水性强,在淀粉糊化过程中与淀粉分子竞争吸附水,造成水分浓度减少,导致黏度上升^[14]。回生值是最终黏度与低谷黏度的差值,稀懈值是峰值黏度与低谷黏度的差值^[25]。本研究中添加蔗糖后糯小麦和非糯小麦的峰值黏度与最终黏度增加幅度较一致,而糯小麦低谷黏度相对非糯小麦增加较小(表 2),因此糯小麦稀懈值和回生值增加幅度较大。但是添加蔗糖后非糯小麦低谷黏度比糯小麦增加较多原因还不清楚,需要进一步研究。

3.3 氯化钠对糊化特性的影响

熊小青等的研究表明,添加氯化钠后小麦淀粉峰值黏度、最终黏度和低谷黏度均减小,而糊化温度、稀懈值和回生值均增加^[13]。本研究中添加氯化钠后,糯小麦和非糯小麦峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和稀懈值均增加,可能因氯化钠可增加淀粉分子静电引力,使淀粉分子更加紧密,减少淀粉分子运动;氯化钠可以增加结合自由能,使淀

粉分子稳定^[31],导致各糊化值均增加。

3.4 硝酸银对糊化特性的影响

添加硝酸银后所有小麦面粉糊化参数值均增加^[16]。赵芸认为在硝酸银溶液当中,糯小麦与非糯小麦的峰值黏度均有升高,且糯小麦的峰值黏度高于非糯小麦^[32]。本研究中添加硝酸银后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和稀懈值均增加,与非糯小麦相比,糯小麦的峰值黏度更高,这与前人的研究结果^[32]较一致。可能因添加外源硝酸银抑制了糯小麦粉中的 α -淀粉酶活性,影响了 α -淀粉酶降解,与非糯小麦相比,糯小麦淀粉颗粒更易受到影响, α -淀粉酶活性和蛋白质基质结合导致糯小麦粉糊化特性发生较大变化^[33]。

3.5 二硫苏糖醇对糊化特性的影响

Xie 等研究认为,添加二硫苏糖醇可降低小麦面粉的 RVA 糊化温度和峰值黏度^[17],严妍等发现稻米峰值黏度、稀懈值、最终黏度和回生值因添加二硫苏糖醇显著下降^[34]。本研究中添加二硫苏糖醇后,糯小麦和非糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值均降低,且糯小麦各糊化参数的降低幅度显著大于非糯小麦。可能因蛋白质和淀粉相互作用形成网络结构,使淀粉结构稳定,二硫苏糖醇处理后破坏了蛋白质中的二硫键^[35],降低了淀粉与蛋白质的水合作用,限制了淀粉的糊化特性^[36],使峰值黏度、回生值、最终黏度和低谷黏度等糊化值降低。与硝酸银作用相反,二硫苏糖醇能增强 α -淀粉酶活性^[37],表现为糯小麦糊化参数降低幅度大于非糯小麦。

4 结论

糯小麦的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和峰值时间总体上低于非糯小麦。与对照相比,添加蔗糖、氯化钠、硝酸银后,7 个小麦品种的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度、稀懈值等参数值均增加,而添加二硫苏糖醇后,7 个小麦品种的峰值黏度、回生值、最终黏度、低谷黏度和稀懈值均明显降低;4 种不同处理后峰值黏度出现的时间均没有明显变化。

参考文献:

- [1] 张 凯. 不同品种普通玉米淀粉性质的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2005:53-55.

- [2]王晨阳,苗建利,张美微,等. 高温、干旱及其互作对两个筋力小麦品种淀粉糊化特性的影响[J]. 生态学报,2014,34(17):4882–4890.
- [3]韩雅楠. 四川小麦淀粉理化特性响应施氮时期的机制初探[D]. 雅安:四川农业大学,2018;23–24.
- [4]冯 辉,王晨阳,郭天财,等. 播期对不同筋力型小麦品种淀粉糊化特性的影响[J]. 麦类作物学报,2009,29(4):647–651.
- [5]张琪琪,万映秀,曹文昕,等. 小麦籽粒硬度及淀粉糊化特性研究[J]. 浙江农业学报,2016,28(5):731–735.
- [6]贾辉辉,冯国华,刘东涛,等. 长期定位施肥对不同筋力型小麦品质的影响[J]. 麦类作物学报,2015,35(6):850–855.
- [7]Devi A, Sindhu R, Khatkar B S. Effect of fats and oils on pasting and textural properties of wheat flour[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(10):3836–3842.
- [8]Wang W W, Shi Y C. Gelatinization, pasting and retrogradation properties of hydroxypropylated normal wheat, waxy wheat, and waxy maize starches[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 106:105910.
- [9]裴星旭. 小麦 *Wx* 基因对淀粉相关性状的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2021;24–25.
- [10]陈建省,邓志英,吴 澎,等. 添加面筋蛋白对小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(2):388–395.
- [11]Donmez D, Pinho L, Patel B, et al. Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties; starch gelatinization and retrogradation [J]. Current Opinion in Food Science, 2021, 39:103–109.
- [12]Li E P, Lv J Q, Huo D A, et al. Importance of amylose chain–length distribution in determining starch gelatinization and retrogradation property of wheat flour in the presence of different salts[J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 308:120648.
- [13]熊小青,车瑞彬,李利民,等. 氯化钠对 5 种不同植物来源淀粉糊特性的影响[J]. 粮食与油脂,2020,33(2):50–55.
- [14]江 帆. RVA 仪分析不同添加物对大米粉糊化特性的影响[J]. 食品研究与开发,2013,34(8):74–77.
- [15]Renzetti S, van den Hoek I A F, van der Sman R G M. Mechanisms controlling wheat starch gelatinization and pasting behaviour in presence of sugars and sugar replacers; role of hydrogen bonding and plasticizer molar volume [J]. Food Hydrocolloids, 2021, 119:106880.
- [16]Saccomanno B, Berbezy P, Findlay K, et al. Characterization of wheat lacking B–type starch granules [J]. Journal of Cereal Science, 2022, 104:103398.
- [17]Xie L H, Chen N, Duan B W, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non–waxy rice[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 47(2):372–379.
- [18]Derycke V, Veraverbeke W S, Vandeputte G E, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice[J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(4):468–474.
- [19]Li Q Q, Li C, Li E P, et al. A molecular explanation of wheat starch physicochemical properties related to noodle eating quality [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108:106035.
- [20]梁丽松,徐 娟,王贵禧,等. 板栗淀粉糊化特性与淀粉粒粒径及直链淀粉含量的关系[J]. 中国农业科学,2009,42(1):251–260.
- [21]李文阳,王 斐,王长进. 玉米籽粒胚乳淀粉粒度分布特征及其与黏度参数的关系[J]. 安徽科技学院学报,2019,33(1):11–15.
- [22]张 勇,何中虎. 我国春播小麦淀粉糊化特性研究[J]. 中国农业科学,2002,35(5):471–475.
- [23]于 恒. 关于糯性与非糯性小麦胚乳淀粉体发育、消亡及其理化性质的比较研究[D]. 扬州:扬州大学,2016:36–37.
- [24]张钟秀,黄海云,尤明山,等. 糯小麦与非糯小麦面粉糊化特性的比较[J]. 粮油食品科技,2011,19(2):6–8.
- [25]李文阳. 小麦胚乳淀粉粒形成及氮素调控研究[D]. 泰安:山东农业大学,2010:14–15.
- [26]丁 忠. 基于加工适应性的豆面面条配方优化及品质研究[D]. 石家庄:河北经贸大学,2021:16–17.
- [27]游新勇,张国权,李 琼. 糯小麦淀粉品质特性研究[J]. 粮食与饲料工业,2008(4):8–10.
- [28]李友军. 氮、磷、钾对不同类型专用小麦淀粉品质的调控效应[D]. 武汉:华中农业大学,2005:48–49.
- [29]刘建军,赵振东. 面条煮面品质与小麦品质性状的关系[J]. 山东农业科学,2000,32(4):10–12.
- [30]张 晓,张伯桥,江 伟,等. 扬麦系列品种品质性状相关基因的分子检测[J]. 中国农业科学,2015,48(19):3779–3793.
- [31]Chen Z G, Li X, Tong Z G, et al. The effects of NaCl on starch molecular conformation [J]. Starch, 2023, 75(5/6):2200243.
- [32]赵 芸. 糯小麦穗发芽和其他理化特性研究及糯小麦近等基因系的建立[D]. 扬州:扬州大学,2014:19–20.
- [33]Garimella Purna S K, Shi Y C, Guan L, et al. Factors governing pasting properties of waxy wheat flours [J]. Cereal Chemistry, 2015, 92(5):529–535.
- [34]严 妍,张 杰,刘任源,等. 还原剂 DTT 对稻米 RVA 谱特征的影响[J]. 现代农业科技,2015(19):313–314.
- [35]康 乐,曲向阳. 一种可有效提升病毒核酸回收效率的磁珠法核酸提取试剂配方:CN114214317A[P]. 2022–03–22.
- [36]Zhang F, Laraib Y, Chai X J, et al. The effect of reducing agent DTT on pasting, hydration and microstructure properties of foxtail millet[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95:103044.
- [37]Acer Ö, Bekler F M, Piringçioğlu H, et al. Purification and characterization of thermostable and detergent–stable α –amylase from *Anoxybacillus* sp. AH1[J]. Food Technology and Biotechnology, 2016, 54(1):70–77.