

基于面筋聚集仪的小麦粉品质快速检测方法研究

李晓丽,张洋,姜兰芳,郝建宇,王敏,马小飞,张定一,姬虎太

(山西农业大学小麦研究所,山西临汾 041000)

摘要:为探究面筋聚集仪测试(GPT)在快速预测小麦加工品质方面的可行性,以150份小麦品种(系)面粉样品为材料,对面筋聚集指标、沉降值、面筋含量、面团流变学指标等主要面粉质量参数进行检测,并分析面筋聚集指标与其他被测指标的相关性。结果表明,供试小麦粉被测指标中,吸水率的变异系数最小(4.69%),面团形成时间的变异系数最大(82.08%),峰值时间(PMT)、启动能量(A1)、稳定能量(A2)的变异系数均大于40%。PMT、峰值扭矩(BEM)、峰前值(AM)、峰后值(PM)、A1、A2和聚集能量(A3)共7个GPT指标与其他被测指标存在不同程度的相关性,其中PMT与沉降值呈极显著正相关($P<0.01$),与湿面筋含量呈极显著负相关;BEM、AM、PM、A3与沉降值和湿面筋含量均呈极显著正相关;AM、PM和A3与吸水率、形成时间等粉质仪指标均呈极显著正相关;PMT与吸水率呈极显著负相关,与形成时间和稳定时间呈极显著正相关;PMT、AM和PM与拉伸面积、最大拉伸阻力呈极显著正相关。利用GPT特性建立与其他被测品质指标的逐步线性回归方程,决定系数均达到0.01显著水平,其中拉伸面积、最大拉伸阻力、面筋指数、稳定时间等指标的决定系数较高($R^2>0.6$)。A3可以预测沉降值、湿面筋含量等指标,PMT、AM、PM可以预测稳定时间、拉伸面积、面筋指数等面团指标。

关键词: 面筋聚集仪;品质分析;小麦

中图分类号:S512.1;S330

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)11-1521-07

Prediction of Wheat Quality Based on GlutoPeak

LI Xiaoli, ZHANG Yang, JIANG Lanfang, HAO Jianyu,

WANG Min, MA Xiaofei, ZHANG Dingyi, JI Hutai

(Institute of Wheat Research, Shanxi Agricultural University, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: In order to explore the feasibility of using GlutoPeak test (GPT) for rapid evaluation of wheat quality, flour samples of 150 wheat varieties (lines) were tested for the main quality indicators, including GPT indicators, sedimentation, gluten content, and dough rheological properties. The correlations between GPT indicators and other parameters were evaluated. The results showed that among the tested indicators of the wheat flour samples, water absorption had the smallest coefficient of variation (4.69%), while dough development time had the largest coefficient of variation (82.08%). The coefficients of variation for peak maximum time, startup energy, and plateau energy were all above 40%. Correlation analysis showed that there were significant correlations between the GPT indicators and dough rheological properties. The seven GPT indicators included peak maximum time (PMT), brabender units at the maximum (BEM), ante maximum (AM), post maximum (PM), startup energy (A1), plateau energy (A2) and aggregation energy (A3). The PMT showed a highly significant positive correlation with sedimentation and a highly significant negative correlation with wet gluten content,

收稿日期:2024-12-19 修回日期:2025-03-13

基金项目:山西省基础研究计划项目(202303021212092);山西省种业创新良种联合攻关项目(NYGG26);国家现代农业产业技术体系项目(CAR-03-53)

第一作者 E-mail:446367413@qq.com(李晓丽)

通讯作者 E-mail:sxjihut@163.com(姬虎太)

while the BEM, AM, PM and A3 exhibited a highly significant positive correlation with both sedimentation and wet gluten content. The AM, PM and A3 showed a highly significant positive correlation with water absorption and development time. The PMT had a highly significant negative correlation with water absorption, while it showed highly significant positive correlations with development time and stability time. The PMT, AM and PM were significantly positively correlated with stretch area and max resistance. Then, stepwise linear regression models were developed using the GPT indices to predict other parameters. The coefficients of determination were all significant at the 0.01 level, and the GPT indicators had high coefficients of determination ($R^2 > 0.6$) for other parameters, such as stretch area, max resistance, gluten index, and stability time. A3 can predict sedimentation and wet gluten content, while PMT, AM and PM can predict stability time, stretch area, and gluten index among dough indicators.

Keywords: GlutoPeak test; Quality analysis; Wheat

小麦 (*Triticum aestivum* L.) 是中国主要的口粮作物之一, 是制作各种蒸煮及烘焙食品的主要原料^[1]。小麦籽粒中含有约 70% 的淀粉、15% 的蛋白质及少量的维生素和矿物质, 各成分的含量及相互作用共同决定面粉的性质及加工用途^[2]。小麦蛋白质成分主要包括清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和麦谷蛋白, 其中醇溶蛋白和麦谷蛋白分别决定面团的延伸性和粘弹性, 两者共同组成面筋蛋白。目前, 小麦品质主要通过籽粒或面粉的物理、化学、面团流变学特性及蒸煮或烘焙等指标评价^[3]。利用面筋指数仪、粉质仪、拉伸仪等检测面粉质量特性具备较高的精确度和可重复性等优点, 缺点是操作繁琐、耗时较长、样品需要量较大等问题, 无法实现小麦品质的快速检测和评价^[4-5]。因此, 探索一种快速、高效、精准的评价方法对小麦品质育种及质量分析具有重要意义。

面筋聚集仪测试 (GlutoPeak test, GPT) 是一种通过高速剪切力测量麦谷蛋白和醇溶蛋白的聚合程度、达到检测面筋强度、进而反映面筋质量特性的测试方法, 具有快速、样品需要量少、易于操作等优点^[6-9]。Chandi 等^[10]对 GPT 测定全麦粉、软质和硬质小麦粉的条件进行优化, 确定了不同面粉与水或溶剂的比例、温度、转速, 该条件适用于蛋白质含量为 7.5%~17.3% 的面粉样品, 为 GPT 在面粉质量评估等工作中的应用奠定了基础。Karaduman 等^[11]对软质小麦的研究表明, GPT 指标中的峰值时间 (PMT) 和峰前值 (AM) 可用于软质小麦育种材料的早代筛选。Song 等^[12]采用三个不同面筋强度的小麦品种的近等基因系, 通过对其 GPT 特性与面筋指数、Zeleny 沉降值、面团流变学特性进行比较, 发现面筋强度

越高, PMT 越长。目前, 国外关于小麦 GPT 特性与常规品质指标相关性及其应用已取得一些研究进展^[13-14], 但国内的相关研究却鲜见报道, GPT 对小麦育种和加工应用价值还需进一步验证。

本研究对 150 份小麦材料的 GPT 指标峰值时间 (PMT)、峰值扭矩 (BEM)、峰前值 (AM)、峰后值 (PM)、启动能量 (A1)、稳定能量 (A2)、聚集能量 (A3) 和面筋品质及面团流变学特性进行测定, 并对 GPT 特性与其他指标间的相关性进行分析, 以期利用 GPT 预测小麦粉品质及筛选小麦育种早代材料提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为 150 份小麦品种 (系), 依据 2017 优质小麦品种审定标准可将其分为四种类型, 包括强筋小麦 41 份, 中强筋小麦 32 份, 中筋小麦 56 份, 普通小麦 (按照品质指标不属于强筋、中强筋、中筋和弱筋任何一种) 21 份。2022—2023 年种植于山西农业大学小麦研究所韩村基地, 试验采用随机区组设计, 6 行区, 行长 3.0 m, 行距 25 cm, 3 次重复; 水分、肥料及病虫草害防治同当地常规大田。

1.2 方法

1.2.1 小麦粉的制备

籽粒收获、风干、存放 2 个月后, 从 3 次重复中各取 1 500 g 样品进行混合, 润麦 20 h 后采用小型实验磨粉机 (880101, Brabender) 磨粉, 将得到的小麦粉放置 15 d 后测定其品质指标^[15]。

1.2.2 小麦 GPT 特性测定

参照 Chandi 等^[10]的方法, 采用 GlutoPeak

(803400,Brabender)测定,由 GPT 图谱可得到指标 BEM(测试过程中破坏面粉与水形成的面筋结构所需要的最大扭矩)、PMT(到达峰值扭矩所需要的时间)、AM 和 PM(到达峰值扭矩前 15 s 与后 15 s 的扭矩值,即峰前值与峰后值)、A1(启动能量)、A2(稳定能量)和 A3(聚集能量)。

1.2.3 小麦面粉品质特性测定

面筋特性根据 AACC Method 38-12A 标准方法,采用面筋洗涤系统(GM2200,Perten)测定;沉降值根据 GB/T15685-1995,采用沉降值测定仪(880508,Brabender)测定。

粉质指标根据 GB/T 14614-2019 采用粉质仪(810130,Brabender)测定;拉伸指标根据 GB/T 14615-2019 采用拉伸仪(860704,Brabender)测定。

1.3 数据处理

用 Excel 2007 和 SPSS 22.0 对数据进行处理和相关分析。

2 结果与分析

2.1 供试小麦粉的 GPT 特性

对 150 份小麦粉的 GPT 特性进行统计分析,结果(表 1)发现,A2、A1 和 PMT 的变异系数较大,分别为 58.78%、49.08%和 40.89%,BEM、AM、PM、A3 的变异系数较小,变化范围为 10.88%~19.23%。GPT 指标在 4 种类型小麦粉间存在不同程度的差异,强筋、中强筋和中筋小麦的 PMT 显著长于普通小麦($P < 0.05$);强筋小麦的 BEM、PM 和 A3 值显著高于其他 3 种类型小麦;强筋小麦的 AM 值最高,其次为中强筋和中筋小麦,普通小麦的 AM 值最低,且存在极显著差异($P < 0.01$);不同类型小麦粉间的 A1 和 A2 无显著性差异(表 2)。

表明 GPT 特性在供试样品中存在丰富的遗传多样性,可以反映不同品种(系)间的品质差异。

2.2 供试小麦粉的面粉特性

对 150 份小麦粉的沉降值、面筋含量、面团流变学等品质指标进行统计分析(表 3),发现面团流变学指标中,除吸水率和延伸度外,其余品质指标的变异系数均大于 40%,其中形成时间的变异系数最大(82.08%)。沉降值、湿面筋含量等面粉品质指标的变异系数相对较小,为 12.33%~27.36%。这表明样品的面粉及面团品质各指标的变异范围较大,品种(系)类型较为丰富。

2.3 GPT 指标与面粉品质指标的相关性分析

GPT 指标与沉降值、面筋特性等面粉品质的相关性分析结果(表 4)表明,PMT、BEM、AM、PM

表 1 供试小麦粉样品的 GPT 特性
Table 1 Gluten aggregation characteristic of wheat flour samples

GPT 特性 GPT trait	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
PMT/s	22.00	144.00	53.79	21.99	40.89
BEM/BU	58.00	98.00	81.13	8.83	10.88
AM/BU	13.00	53.00	32.47	6.24	19.23
PM/BU	44.00	78.00	59.33	6.72	11.33
A1/GPI	134.66	2 405.42	1 175.50	576.91	49.08
A2/GPI	54.13	2 730.72	1 175.28	690.83	58.78
A3/GPI	1 349.53	2 450.84	1 919.36	234.98	12.24

PMT:峰值时间;BEM:峰值扭矩;AM:峰前值;PM:峰后值;A1:启动能量;A2:稳定能量;A3:聚集能量。

PMT: Peak maximum time; BEM: Brabender units at the maximum; AM: Ante maximum; PM: Post maximum; A1: Startup energy; A2: Plateau energy; A3: Aggregation energy.

表 2 不同类型小麦粉的 GPT 特性差异

Table 2 Difference of GPT of different flour types

类型 Type	PMT/s	BEM/BU	AM/BU	PM/BU	A1/GPI	A2/GPI	A3/GPI
强筋小麦 Strong gluten wheat	60.36±17.81Aa	85.76±8.33Aa	36.95±6.53Aa	64.55±6.94Aa	1 330.35±732.54Aa	1 276.70±850.73Aa	2 086.12±234.14Aa
中强筋小麦 Mediumstrong gluten wheat	61.84±22.30Aa	77.13±8.27Bb	32.09±5.09Bb	57.72±5.53Bb	1 147.15±636.30Aa	1 155.03±775.52Aa	1 832.01±204.09Bb
中筋小麦 Medium gluten wheat	52.95±22.76Aa	80.00±8.45Bb	31.49±4.12Bb	57.93±5.43Bb	1 128.41±489.35Aa	1 164.18±629.37Aa	1 885.02±203.95Bb
普通小麦 Common wheat	30.57±4.62Bb	80.95±8.06ABb	26.62±6.00Cc	55.05±5.02Bb	1 032.34±161.51Aa	1 032.34±161.51Aa	1 808.88±188.28Bb

同列数据后不同大、小写字母表示不同类型间差异在 0.01、0.05 水平显著。

Different capital and normal letters following data in same columns indicate significant differences among different types at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

表 3 小麦样品的面粉及面团特性分析

Table 3 Analysis on flour and dough quality of the wheat samples

性状 Trait	指标 Index	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%
面粉品质 Flour quality	沉降值 Zeleny sedimentation/mL	19.00	57.50	32.69	7.07	21.63
	湿面筋含量 Wet gluten content/%	24.60	49.30	35.76	4.41	12.33
	干面筋含量 Dry gluten content/%	9.60	22.70	14.07	2.51	17.88
	面筋指数 Gluten index	21.77	99.05	65.23	17.85	27.36
面团品质 Dough quality	吸水率 Water absorption/%	55.70	70.80	62.25	2.92	4.69
	形成时间 Development time/min	1.70	34.20	8.23	6.76	82.08
	稳定时间 Stability time/min	1.20	43.20	12.28	9.70	78.97
	弱化度 Softening degree	9.00	211.00	66.68	41.45	62.16
	粉质质量指数 Farinograph quality number	26.00	473.00	156.38	110.94	70.94
	拉伸面积 Stretch area/cm ²	9.00	294.00	115.84	57.08	49.28
	拉伸阻力 Resistance/E. U	52.00	1 102.00	443.20	183.46	41.40
	延伸度 Extensibility/mm	94.00	214.00	150.74	23.87	15.84
	最大拉伸阻力 Max resistance/E. U	80.00	1 162.00	547.84	258.69	47.22
最大拉伸比例 Max extensile rate	0.70	10.30	3.68	1.79	48.58	

表 4 GPT 指标与面粉品质的相关性

Table 4 Correlation of GPT and flour quality index

GPT	Zeleny 沉降值 Zeleny sedimentation	湿面筋含量 Wet gluten content	干面筋含量 Dry gluten content	面筋指数 Gluten index
PMT	0.296**	-0.429**	-0.055	0.710**
BEM	0.269**	0.583**	0.484**	-0.119
AM	0.612**	0.317**	0.452**	0.358**
PM	0.463**	0.368**	0.484**	0.255**
A1	0.161*	0.379**	0.271**	-0.184*
A2	0.203*	0.395**	0.279**	-0.183*
A3	0.487**	0.561**	0.579**	0.112

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

和 A3 与沉降值均呈极显著正相关 ($P < 0.01$), A1 和 A2 与沉降值均呈显著正相关 ($P < 0.05$); PMT 与湿面筋含量呈极显著负相关, 其他 6 个 GPT 指标与湿面筋和干面筋含量均呈极显著正相关; PMT、AM、PM 与面筋指数均呈极显著正相关, A1 和 A2 与面筋指数呈显著负相关。

由表 5 可知, AM、PM 和 A3 与吸水率、形成时间、粉质质量指数均呈极显著正相关; PMT 与吸水率呈极显著负相关, 与形成时间、稳定时间和粉质质量指数均呈极显著正相关; BEM 和 A2 与吸水率均呈极显著正相关; PMT、AM、PM 和 A3 与弱化度均呈极显著负相关。AM 和 BM 与拉伸面积、延伸度、最大拉伸阻力均呈极显著正相关; PMT 与除延伸度外的其余拉伸指标均呈极显著正相关; BEM 与延伸度呈极显著正相关, 与最大

拉伸比例呈显著负相关; A1 与最大拉伸比例呈显著负相关; A3 与拉伸面积、延伸度均呈极显著正相关。这表明 GPT 指标与粉质、拉伸等面团流变学指标有较为复杂的相关性。

2.4 小麦粉 GPT 指标与其他品质指标的回归分析

以 GPT 的 7 个指标作为变量, 通过逐步线性回归分析建立与其他被测品质指标的回归方程, 结果如表 6 所示, 所建方程的决定系数多数在 0.01 水平显著, 由大到小依次为面团拉伸面积 (0.718)、最大拉伸阻力 (0.703)、稳定时间 (0.679)、面筋指数 (0.650)、弱化度 (0.636)、粉质质量指数 (0.621)、最大拉伸比例 (0.566)、沉降值 (0.492)、形成时间 (0.486) 和吸水率 (0.445)。说明使用这些回归方程可以通过测定 GPT 指标预测面粉品质指标。

表 5 GPT 指标与粉质及拉伸指标的相关性

Table 5 Correlation of GPT parameters with farinographic and extensographic parameters

GPT	吸水率 Water absorption	形成时间 Development time	稳定时间 Stability time	软化度 Softening degree	粉质质量 指数 Farinograph quality number	拉伸面积 Stretch area	拉伸阻力 Re- sistance	延伸度 Exten- sibility	最大 拉伸阻力 Max. resistance	拉伸比例 Extensile rate
PMT	-0.384**	0.497**	0.678**	-0.615**	0.612**	0.655**	0.683**	0.092	0.715**	0.674**
BEM	0.635**	0.113	0.004	-0.021	0.077	0.055	-0.121	0.378**	-0.064	-0.186*
AM	0.477**	0.445**	0.424**	-0.459**	0.455**	0.513**	0.353**	0.410**	0.422**	0.285**
PM	0.563**	0.427**	0.389**	-0.421**	0.433**	0.425**	0.276**	0.414**	0.344**	0.207*
A1	0.459**	-0.101	-0.182*	-0.022	-0.094	-0.094	-0.139	0.119	-0.150	-0.175*
A2	0.422**	-0.053	-0.146	-0.023	-0.050	-0.042	-0.143	0.202*	-0.128	-0.183*
A3	0.620**	0.304**	0.242**	-0.253**	0.290**	0.333**	0.109	0.518**	0.196*	0.028

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$.

表 6 GPT 指标与其他品质指标的回归分析

Table 6 Regression analysis of GPT index and other quality indices

预测指标 Prediction index	回归方程 Regression equation	决定系数 Determination coefficient
沉降值 Zeleny sedimentation	$y = -9.170 \times 10^{-16} + 0.402x_1 + 0.478x_3 - 0.345x_4 + 0.521x_7$	0.492**
湿面筋含量 Wet gluten conten	$y = -3.250 \times 10^{-16} - 0.229x_1 - 0.552x_4 + 1.001x_7$	0.445**
面筋指数 Gluten index	$y = 5.099 \times 10^{-16} + 0.724x_1 + 0.380x_3 + 0.240x_5 - 0.292x_6$	0.650**
吸水率 Water absorption	$y = -2.961 \times 10^{-15} - 0.295x_1 + 0.489x_4 + 0.134x_6$	0.434**
形成时间 Development time	$y = -1.102 \times 10^{-15} + 0.454x_1 + 0.276x_3 + 0.317x_4 - 0.154x_5$	0.486**
稳定时间 Stability time	$y = -2.869 \times 10^{-16} + 0.661x_1 + 0.264x_3 + 0.283x_4 - 0.123x_6$	0.679**
软化度 Softening degree	$y = 2.424 \times 10^{-15} - 0.633x_1 + 0.205x_2 - 0.183x_3 - 0.419x_4 - 0.166x_5$	0.636**
粉质质量指数 Farinograph quality number	$y = -2.555 \times 10^{-16} + 0.642x_1 + 0.216x_3 + 0.317x_4$	0.621**
拉伸面积 Stretch area	$y = 1.284 \times 10^{-16} + 0.723x_1 + 0.319x_3 + 0.260x_7$	0.718**
最大拉伸阻力 Max resistance	$y = -2.288 \times 10^{-16} + 0.733x_1 + 0.299x_3 + 0.172x_4$	0.703**
最大拉伸比例 Max extensile rate	$y = 1.326 \times 10^{-16} + 0.641x_1 + 0.320x_3 + 0.323x_4 + 0.242x_5 - 0.252x_6 - 0.363x_7$	0.566**

x_1 : PMT; x_2 : BEM; x_3 : AM; x_4 : PM; x_5 : A1; x_6 : A2; x_7 : A3; ** : $P < 0.01$.

3 讨论

GlutoPeak 作为一种快速检测面粉质量的仪器,在预测面条^[16]、面包^[17]、食品添加剂对面粉加工功能的影响^[18]及小麦存储过程中的质量变化^[19]等方面具有重要的应用价值。本研究对 GPT 指标与面粉品质指标间的相关性进行了分析,发现 GPT 指标与湿面筋含量、吸水率、稳定时间、拉伸面积等关键品质性状间存在显著相关性。

本研究 150 份供试材料的 GPT 指标中,A2 (58.78%)、A1(49.08%)和 PMT(40.89%)的变异系数较大,强筋小麦的 BEM、PM、A3 和 AM 值显著高于其他 3 种类型小麦,强筋、中强筋和中筋小麦的 PMT 显著长于普通小麦,表明 GPT 特性在不同类型小麦材料间有显著差异,可以用于小麦品质指标的预测。沉降值、湿面筋含量、面团流变学特性是评价小麦食品加工品质常用的重要

指标^[20-21]。本研究发现,GPT 指标与沉降值、面筋特性、面团流变学指标间存在不同程度的相关性,且与多数性状间存在显著或极显著相关性,如湿面筋含量与 BEM 呈极显著正相关,与 PMT 呈极显著负相关,这与前人研究结果一致^[22-24]。Mecitoglu 等^[25]分析了 12 种不同硬度小麦品种的 GPT 指标与其他品质指标的相关性,发现 PMT 与沉降值负相关,与本研究结果不一致,可能与供试材料的品质类型和样本量有关。AM 可以反映面粉中面筋蛋白含量,高 AM 值对应更高的交联程度和强的面筋网络弹性^[26]。本研究中,AM 与除延伸度以外的其他面团流变学指标均呈极显著正相关,且强筋小麦面粉的 AM 值较高,说明用 AM 值可以预测面团流变学特性;吸水率与 BEM 呈极显著的正相关,这与 Wang 等^[27]研究结果一致。小麦粉的吸水能力会影响 GPT 测试过程中高速剪切引起的面筋糊的稠度,并对

BEM 产生作用,当吸水率相近时,强筋小麦粉的面筋指数高,稳定时间长,拉伸面积大,代表其麦谷蛋白和醇溶蛋白的聚合性好,破坏面筋网络结构所需要的力较大,在 GPT 图谱上表现为 PMT、AM 和 PM 值较大,普通小麦粉的面筋指数和 PM 值较小。

面粉特性和面团流变学特性在小麦品质鉴定、配麦配粉研究等方面具有重要作用^[28-30]。本研究以 7 个 GPT 指标作为变量,建立与其他被测品质指标的回归方程,决定系数均在 0.01 水平上显著,GPT 指标对拉伸面积、最大拉伸阻力、稳定时间、面筋指数、弱化度、粉质质量指数等指标的决定系数较高($R^2 > 0.6$)。PMT、AM、PM 与稳定时间、拉伸面积、面筋指数等受蛋白质质量影响较大的面团指标相关显著,A3 与沉降值、湿面筋含量等受蛋白质含量影响较大的指标相关显著。由于研究材料的差异,不同研究者对 GPT 预测面筋含量和面团延展性等指标的结果不尽相同。Song 等^[12]和 Sissons 等^[31]研究表明,PMT 与面筋指数相关性最大,与本研究结果一致。Rakita 等^[32]研究发现,BEM 可以通过预测面筋含量、面粉吸水率和面团韧性等指标用于区分小麦品种的优劣。Marti 等^[33]的研究结果显示,A3 和 BEM 对于预测面团稳定性、延展性和韧性相关的品质指标最为重要。而本研究中,BEM 对面粉及面团特性的影响不显著,与 Fu 等^[34]研究结果一致,这可能是不同研究者选用的试验材料品质类型的差异性造成的。

4 结论

GPT 指标与沉降值、面筋指数、粉质和拉伸等常规品质指标间存在显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)相关性;A3 可以预测沉降值、湿面筋含量等指标,PMT、AM、PM 可以预测稳定时间、拉伸面积、面筋指数等面团指标;可以通过测定面筋聚合特性,根据回归方程来预测小麦粉的品质状况。

参考文献:

- [1] 马思雨,王曦曦,田潇凌,等.制粉对小麦粉营养品质影响机理研究现状[J].中国粮油学报,2023,38(2):187.
MA S Y, WANG X X, TIAN X L, *et al.* Research status of the influence mechanism of milling on nutritional quality of wheat flour [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38(2): 187.
- [2] 姜兰芳,李晓丽,曹勇,等.基于主成分分析的面筋聚集仪预测小麦品质[J].食品科学,2022,43(14):85.
JIANG L F, LI X L, CAO Y, *et al.* Prediction of wheat quality using GlutoPeak combined with principal component analysis [J]. *Food Science*, 2022, 43(14): 85.
- [3] 刘通通,张雯婧,彭嘉颖,等.黄淮麦区优质强筋、中筋小麦粉品质特性与面条性质的相关性分析[J].中国粮油学报,2022,37(2):39.
LIU T T, ZHANG W J, PENG J Y, *et al.* Correlation analysis between quality characteristics of high-quality strong-gluten and medium-gluten wheat flour and noodle properties in Huanghuai wheat area [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(2): 39.
- [4] 麻琦,赵仁勇,侯赛,等.使用混合实验仪快速检测小麦品质指标[J].河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(5):51.
MA Q, ZHAO R Y, HOU S, *et al.* Rapid determination of wheat quality indexes using mixolab [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2016, 37(5): 51.
- [5] 李晓丽,姜兰芳,马小飞,等.基于主成分分析的强筋小麦加工品质综合评价[J].麦类作物学报,2022,42(12):1473.
LI X L, JIANG L F, MA X F, *et al.* Comprehensive processing quality evaluation of strong gluten wheat based on principal component analysis [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(12): 1473.
- [6] WANG J G, HOU G G, LIU T, *et al.* GlutoPeak method improvement for gluten aggregation measurement of whole wheat flour [J]. *LWT*, 2018, 90: 8.
- [7] SCHOPF M, SCHERF K A. Predicting vital wheat gluten quality using the gluten aggregation test and the microscale extension test [J]. *Current Research in Food Science*, 2020, 3: 322.
- [8] MALEGORI C, GRASSI S, OHM J B, *et al.* GlutoPeak profile analysis for wheat classification: Skipping the refinement process [J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 79: 73.
- [9] GEISLITZ S, WIESER H, SCHERF K A, *et al.* Gluten protein composition and aggregation properties as predictors for bread volume of common wheat, spelt, durum wheat, emmer and einkorn [J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 83: 204.
- [10] CHANDI G K, SEETHARAMAN K. Optimization of gluten peak tester: A statistical approach [J]. *Journal of Food Quality*, 2012, 35(1): 69.
- [11] KARADUMAN Y, SAYASLAN A, AKN A. GlutoPeak parameters of whole wheat flours for gluten quality evaluation in soft wheat breeding programs [J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 95: 103031.
- [12] SONG W F, ZHANG X X, ZHANG Y B, *et al.* Using near-isogenic lines of common wheat (*Triticum aestivum* L.) to determine the relationship between GlutoPeak parameters and quality characteristics [J]. *Cereal Research Communications*, 2020, 48(1): 81.
- [13] GRASSI S, GULLÌ M, VISIOLI G, *et al.* Gluten aggregation

- properties as a tool for durum wheat quality assessment: A chemometric approach [J]. *LWT*, 2021, 142: 111048.
- [14] ZAWIEJA B, MAKOWSKA A, GUTSCHE M. Prediction of selected rheological characteristics of wheat based on GlutoPeak test parameters [J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 91: 102898.
- [15] 邓丽丽, 张艳, 张剑, 等. 不同品种小麦粉的理化性质与北方馒头品质关系的研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(4): 47.
DENG L L, ZHANG Y, ZHANG J, et al. Relationship between physicochemical properties of wheat flour from different cultivars and quality of north Chinese steamed bread [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(4): 47.
- [16] LU Z H, SEETHARAMAN K. Suitability of Ontario-grown hard and soft wheat flour blends for noodle making [J]. *Cereal Chemistry*, 2014, 91(5): 482.
- [17] WIESER H, KIEFFER R. Correlations of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on a micro-scale [J]. *Journal of Cereal Science*, 2001, 34(1): 19.
- [18] DURMUS Y, ANIL M, SIMSEK S. Discrimination of glutoPeak test and mixograph parameters for evaluation of wheat flour supplemented with hazelnut skin, cross-linked starch, and oxidized starch [J]. *Foods*, 2023, 12(2): 328.
- [19] MU M Y, GENG R D, YUE Y Y, et al. Quality prediction of freshly-harvested wheat using GlutoPeak during postharvest maturation [J]. *Grain & Oil Science and Technology*, 2021, 4(4): 174.
- [20] POPA C N, TAMBA BEREHOIU R M, LAMBRACHE N. Assessment of gluten index component wet gluten remaining on the sieve as predictor of wheat bakery potential [J]. *Revista de Chimie*, 2019, 70(11): 3994.
- [21] PASYNKOV A V, ZAVALIN A A, PASYNKOVA E N. Improving the forecast of raw gluten content in wheat grain [J]. *Russian Agricultural Sciences*, 2020, 46(3): 207.
- [22] TURKSOY S, ONAR D. A rapid detection of whole wheat gluten quality by a novel chemometric technique-GlutoPeak [J]. *Foods*, 2022, 11(13): 1927.
- [23] GOLDSTEIN A, ASHRAFI L, SEETHARAMAN K. Effects of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45(8): 1641.
- [24] 宋亚博, 宋斌, 麻琦, 等. 使用面筋峰值仪快速评价小麦品质的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(5): 45.
SONG Y B, SONG B, MA Q, et al. Rapid determination of wheat quality using glutoPeak [J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2017, 38(5): 45.
- [25] MECITOĞLU G Ç, ŞAHİN M, GÖÇMEN A A, et al. Evaluation of GlutoPeak test for prediction of bread wheat flour quality, rheological properties and baking performance [J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 90: 102827.
- [26] BOUACHRA S, BEGEMANN J, AARAB L, et al. Prediction of bread wheat baking quality using an optimized GlutoPeak®-Test method [J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 76: 8.
- [27] WANG K, SANGHA J, CUTHBERT R, et al. Effectiveness and biochemical basis of wholemeal GlutoPeak test in predicting water absorption and gluten strength of Canadian hard red spring wheat [J]. *Cereal Chemistry*, 2021, 98(4): 878.
- [28] 杜亚飞, 王旭琳, 吴桂玲, 等. 国内强筋小麦品种及配麦的面包加工性能研究[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(3): 359.
DU Y F, WANG X L, WU G L, et al. Research on bread processing performance of domestic strong gluten wheat varieties and blending wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(3): 359.
- [29] 周刚, 张文涛, 鲁清林, 等. 甘肃冬小麦品种品质性状分析与评价[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(10): 1180.
ZHOU G, ZHANG W T, LU Q L, et al. Analysis and evaluation on quality of winter wheat varieties from Gansu Province [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(10): 1180.
- [30] 姜兰芳, 王敏, 曹勇, 等. 山西主栽小麦品种蒸煮食品加工性比较[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(11): 1359.
JIANG L F, WANG M, CAO Y, et al. Comparison of processability of steamed and boiled food products of wheat cultivars in Shanxi Province [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(11): 1359.
- [31] SISSONS M. GlutoPeak: A breeding tool for screening dough properties of durum wheat *Semolina* [J]. *Cereal Chemistry*, 2016, 93(6): 550.
- [32] RAKITA S, DOKIĆ L, HADNA ĐEV T D, et al. Predicting rheological behavior and baking quality of wheat flour using a GlutoPeak test [J]. *Journal of Texture Studies*, 2018, 49(3): 339.
- [33] MARTI A, AUGST E, COX S, et al. Correlations between gluten aggregation properties defined by the GlutoPeak test and content of quality-related protein fractions of winter wheat flour [J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 66: 89.
- [34] FU B X, WANG K, DUPUIS B. Predicting water absorption of wheat flour using high shear-based GlutoPeak test [J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 76: 116.