

基于主成分分析的不同小麦品种制作的 韧性饼干品质评价

刘孟宜¹, 田博宇¹, 王滢颖¹, 王超², 李慧静^{1*}

(1. 河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071000; 2. 今麦郎食品有限公司面粉事业部,
河北 邢台 054000)

摘要:以河北省2018年生产的15种小麦品种为材料,测定其理化指标,流变学和糊化指标,并制作韧性饼干,测定韧性饼干的质构特性,采用相关性和主成分分析方法分析小麦品种品质特性对韧性饼干品质的影响。结果表明:15种小麦粉的峰值黏度、弱化度、形成时间、降落数值对韧性饼干品质的影响显著;峰值黏度和回复性呈正相关,弱化度与脆性、弹性和咀嚼性呈负相关,形成时间与硬度呈正相关,降落数值与脆性呈正相关;并选出中麦155、婴泊700和京花11为最适小麦品种;得到适宜的韧性饼干工艺参数范围为:湿面筋含量 $\leq 31.46\%$,降落数值 ≤ 531 s,形成时间 ≤ 3.34 min,稳定时间 ≤ 2.97 min,粉质质量指数范围36 mm~52.5 mm;小麦粉的峰值黏度 $\leq 1\,240$ BU,最终黏度 $\leq 2\,004.5$ BU,崩解值 ≤ 386 BU,回升值 $\leq 1\,024.5$ BU。

关键词:韧性饼干;小麦品种;相关性;主成分分析;品种筛选

Comprehensive Quality Evaluation of Semi-hard Biscuits of Different Wheat Varieties Based on Principal Components Analysis

LIU Meng-yi¹, TIAN Bo-yu¹, WANG Ying-ying¹, WANG Chao², LI Hui-jing^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China;
2. Flour Division of Jinmailang Food Co., Ltd., Xingtai 054000, Hebei, China)

Abstract: Fifteen wheat varieties produced in 2018 in the Hebei Province, China were used as materials, and their physical, chemical, rheological, gelatinization indicators were determined. The texture characteristics of semi-hard biscuits made from the different wheat varieties were also measured. Additionally, correlation and principal component analyses were used to determine the effects of the wheat varieties on the quality of the prepared semi-hard biscuits. The maximum viscosity, degree of softening, development time, and falling number of the 15 wheat flours had a greater effect on the quality of the semi-hard biscuits. The maximum viscosity and recovery were positively correlated, while the degree of softening was negatively correlated with brittleness, elasticity, and chewiness. Moreover, the development time was positively correlated with the hardness, and the falling number was positively correlated with the brittleness. Based on the above results, the wheat varieties Zhongmai 155, Yingbo 700, and Jinghua 11 were identified as the most suitable to prepare semi-hard biscuits. Of note, the parameters suitable for semi-hard biscuits were as follows: wet gluten content $\leq 31.46\%$, falling number ≤ 531 s, development time ≤ 3.34 min, stability time ≤ 2.97 min, farinograph quality number ranging between 36.0 mm~52.5 mm, maximum viscosity $\leq 1\,240$ BU, final viscosity $\leq 2\,004.5$ BU, breakdown ≤ 386 BU, and setback $\leq 1\,024.5$ BU.

Key words: semi-hard biscuits; wheat varieties; processing property correlation; principal component analysis; variety screening

基金项目:河北省二期现代农业产业技术体系小麦创新团队产后加工与食品开发(HBCT2018010207)

作者简介:刘孟宜(1994—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品工程。

* 通信作者:李慧静,女,教授,博士,研究方向:粮食、油脂及植物蛋白工程。

引文格式:

刘孟宜,田博宇,王滢颖,等.基于主成分分析的不同小麦品种制作的韧性饼干品质评价[J].食品研究与开发,2021,42(10):44-53.

LIU Mengyi, TIAN Boyu, WANG Yingying, et al. Comprehensive Quality Evaluation of Semi-hard Biscuits of Different Wheat Varieties Based on Principal Components Analysis[J]. Food Research and Development, 2021, 42(10):44-53.

烘焙食品的营养极其丰富,并且是被广泛食用的产品^[1]。我国于1930年引进机制饼干生产线,目前随着消费量的不断增加,饼干的种类也越来越多^[2]。饼干具有口味多样和保质期长等特点^[3-5]。然而,制作优质的饼干受小麦品种品质特性的影响。小麦的品质特性是其在市场上评估的关键要素,包括容重、千粒重、降落数值、蛋白质含量、面筋含量、面筋指数、沉降数值以及小麦粉的流变特性等^[6-9]。Ma等^[10]研究了15种软质小麦对苏打饼干特性的影响,结果表明在生产饼干时应使用破损淀粉含量在1.9%~3.4%,蛋白质含量在7.9%~9.7%(干基)和沉降值在20.0 mL~32.0 mL范围内的软质小麦粉。张平等^[11]研究了江苏省优质软麦品质特性与酥性饼干的加工品质关系,研究结果表明小麦粉蛋白质含量与饼干直径呈正相关,沉淀值、吸水率、稳定时间和峰值时间与饼干直径呈显著负相关。张康逸等^[12]研究了不同改良剂对韧性饼干品质的影响,结果表明小麦粉的吸水率、面筋含量、面筋黏弹性小更适合制作韧性饼干。Moiraghi等^[13]研究了44种软小麦的淀粉特性(如颗粒粒径分布和糊化特性)与饼干品质的关系,结果表明破损淀粉含量越低,溶剂保留能力越低,糊化温度和焓值越低,对饼干直径的影响也就越大,所以软麦粉的A型淀粉比例越高,其破损淀粉含量和吸水能力越低,对饼干制作越具有积极的影响。由于感官评价员具有主观性,在评估食品品质时更多研究者采用质构仪代替感官评价,并获得与感官评价相关的参数(包括硬度、弹性、内聚性、黏性和咀嚼性)^[14-17]。目前,在国内对饼干专用粉的研究不是很多,而且大部分是酥性饼干,对韧性饼干专用粉的研究较少,为全面评价韧性饼干专用粉的品质标准,本研究选用河北省主产的15种小麦,磨粉制备韧性饼干,测定小麦粉的理化指标和流变学特性、韧性饼干的质构特性,通过方差分析、相关性分析和主成分分析研究小麦粉品质特性与韧性饼干品质特性之间的关系,确定影响韧性饼干品质的主要小麦粉品质性状,为我国韧性饼干专用粉品质评价体系的建立提供理论依据,以便更好地促进饼干产业的健康快速发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

白砂糖、小苏打、碳酸氢铵、植物油:市售。本试验选用的小麦品种及产地见表1。

表1 小麦品种及产地

Table 1 Wheat varieties and producing areas	
品种	产地
邢麦13	河北省邢台市农业科学研究院
衡6632	河北省农林科学院旱作农业研究所
衡4399	河北省农林科学院旱作农业研究所
京花11	河北省廊坊市廊牛街乡土楼村
衡S29	河北省农林科学院旱作农业研究所
邢麦6	河北省邢台市农业科学研究院
河农6119	河北大禹种业有限公司
中麦155	河北沿海嘉农种业有限公司
邢麦7	河北省邢台市农业科学研究院
婴泊700	河北婴泊种业科技有限公司
石农956	河北大地种业有限公司
河农827	河北农业大学
中信麦99	河北众信种业科技有限公司
京冬18	河北省廊坊市廊牛街乡土楼村
衡0628	河北冀农种业有限公司

1.2 仪器与设备

Farinograph-AT粉质仪、Extensograph-E拉伸仪、Viscograph-E黏度仪:德国Brabender公司;CP114电子天平、101-0AB电热鼓风干燥箱:奥豪斯仪器上海有限公司;DEGURU DKM201型多功能厨师机:广东顺德地一日用电气科技有限公司;FN-II型降落值测定仪、JJM54型面筋数量和质量测定仪:杭州汇尔仪器设备有限公司;FKM-160型电动压面机:永康市富康电器有限公司;KA-30远红外线食品烘炉:广州市厨宝烘焙机械设备有限公司;TMS-Pro食品物性分析仪:美国FTC公司;ALMB实验磨粉机:布勒粮食检验仪器无锡有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 小麦粉理化指标测定

1.3.1.1 磨粉

使用ALMB实验磨粉机,按照其使用手册进行磨粉,所需润麦加水量(g)=小麦质量(g)×[润麦水分(%) - 实际水分(%)]/[100% - 实际水分(%)],室温(20℃

-30℃)条件下润麦24 h。

1.3.1.2 水分测定

水分测定参照 GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》。

1.3.1.3 湿面筋含量、干面筋含量和面筋指数测定

湿面筋含量参照 GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 仪器法测定湿面筋》的方法测定。

干面筋含量参照 GB/T 5506.4—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 快速干燥法测定干面筋》的方法测定。

面筋指数参照 LS/T 6102—1995《小麦粉湿面筋质量测定法 面筋指数法》的方法测定。

1.3.1.4 降落数值测定

降落数值测定参照 GB/T 10361—2008《小麦、黑麦及其面粉, 杜伦麦及其粗粒粉 降落数值的测定 Hagberg-Perten 法》的方法测定。

1.3.2 小麦粉流变学和糊化特性测定

粉质特性测定参照 GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》的方法测定; 拉伸特性测定参照 GB/T 14615—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法》的方法测定; 糊化特性测定参照 GB/T 14490—2008《粮油检验 谷物及淀粉糊化特性测定 粘度仪法》的方法测定。

1.3.3 韧性饼干的制作

参照田金河等^[10]的方法制作韧性饼干, 稍作修改。

1.3.3.1 配方

小麦粉 100 g, 植物油(豆油) 10 mL, 白砂糖 12 g, 小苏打 0.8 g, 碳酸氢铵 0.8 g, 水 32.5 mL。

1.3.3.2 操作步骤

调粉: 将加水溶解后的白砂糖、小苏打、碳酸氢铵倒入多功能厨师机中, 并加入植物油(豆油)搅拌均匀。小麦粉过 80 目筛, 倒入多功能厨师机中进行调制。在调制时为了防止面筋的生成, 可用 35℃ 左右的水和面, 调制 10 min 左右。

压片与成型: 调制完成后需静置 10 min, 然后压片。用压面机的轱辘反复压多次, 折叠并旋转 90°, 最后压成 3.5 mm 的面片, 在面片上扎均匀的小孔。

摆盘: 烤盘使用前要预热, 涂抹植物油, 将面片均匀地摆在烤盘上, 不可太近, 以防粘连。

烘烤: 将烤盘放入烤箱中, 下火 170℃, 上火 190℃, 20 min 即可。

1.3.4 韧性饼干质构测定

将韧性饼干放在测试平台上, 选用直径为 32 mm 的圆锥形探头, 质构参数设定如下: 测试速度为 60 mm/min, 形变量 20%, 启始力 2 N, 进行质构分析,

每种样品测试 3 次取其平均数。

1.4 数据处理

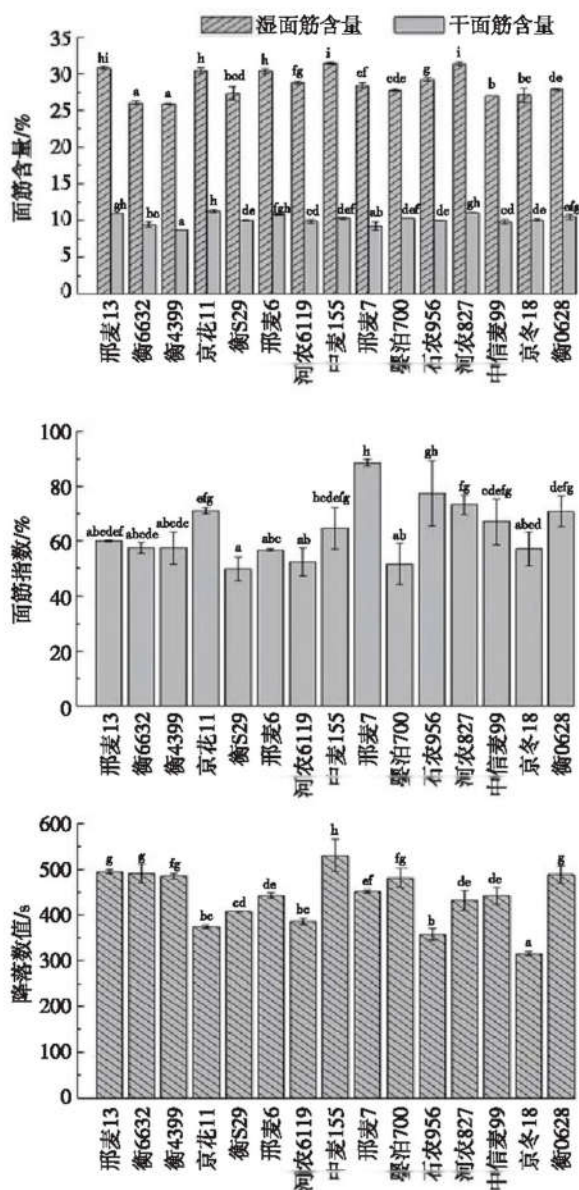
采用 SPSS17.0 软件对数据进行主成分分析(Kaiser 标准化的正交旋转法)和相关性分析(双侧检验)。采用 ANOVA 进行邓肯氏差异分析($p < 0.05$ 为差异显著)。采用 Origin 9.0 作图。

2 结果与分析

2.1 指标测定与数据分析

2.1.1 理化指标数据分析

15 种小麦粉的湿面筋含量、干面筋含量、面筋指数、降落数值测定结果如图 1 所示。



不同字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图1 小麦粉理化指标

Fig.1 Physical and chemical indicators of wheat flour

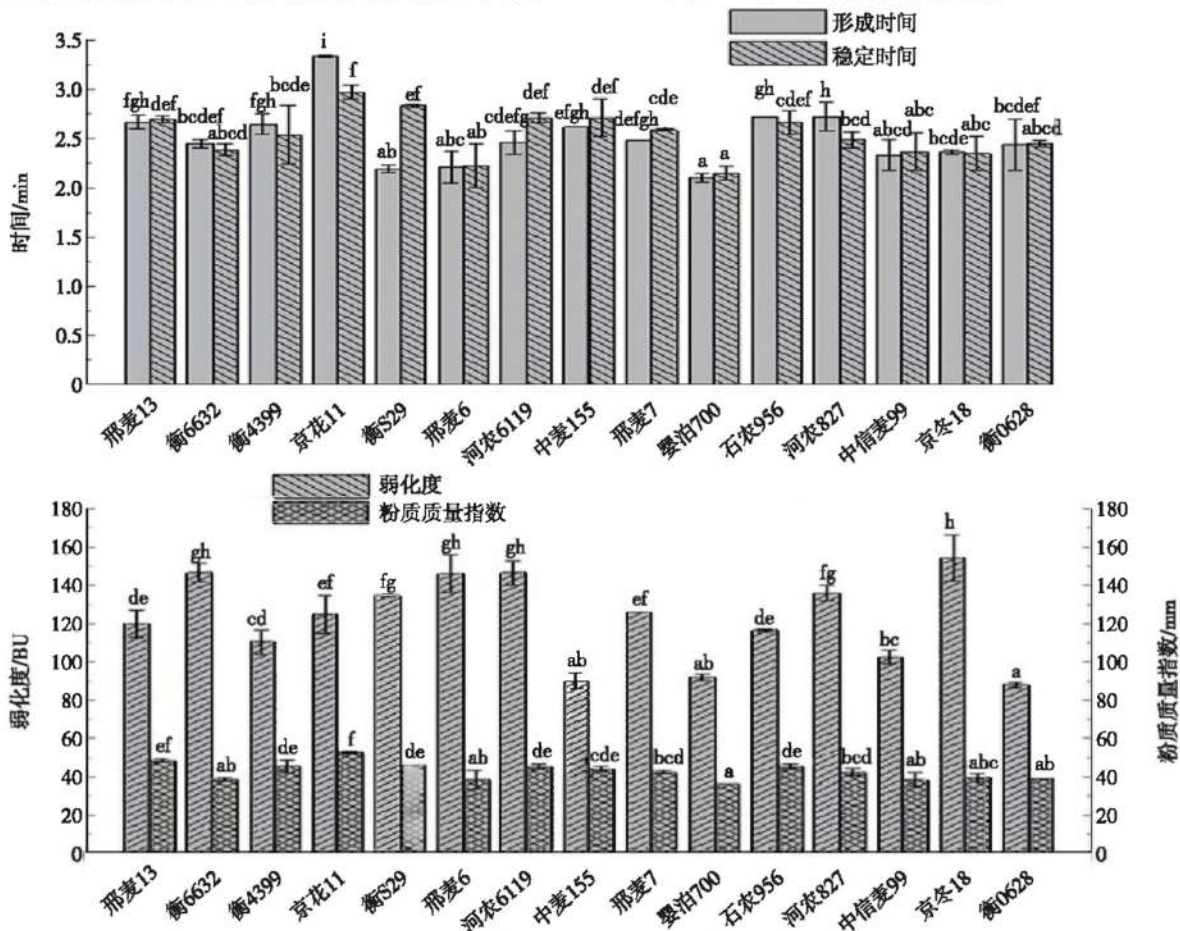
由图1可知,湿面筋含量的变幅在25.92%~31.46%,干面筋含量的变幅在8.75%~11.31%,面筋指数的变幅在49.78%~88.69%,降落数值的变幅在315 s~513 s。在15种小麦粉的理化指标中,对于面筋指数来说,最大的是邢麦7,最小的是衡S29,该指标变异系数在理化指标中最大。国标中规定低筋粉的湿面筋含量<26%(GB/T 17320—2013《小麦品种品质分类》)。在本研究的理化指标中,湿面筋含量符合国标要求的小

麦品种只有衡4399,张平平^[10]研究了江苏省15种优质软麦品种品质特性与酥性饼干品质的关系,其结果表明湿面筋含量(28.4%~35.3%)与饼干加工品质间没有必然的联系。15种小麦粉的降落数值则全部符合酥性饼干用小麦粉的标准(>150 s)。

2.1.2 流变学指标和糊化特性分析

15种小麦粉的粉质指标测定结果见图2。

由图2可知,形成时间的变幅在2.11 min~3.34 min,



不同字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图2 小麦粉粉质指标

Fig.2 Wheat flour farinographic properties

稳定时间的变幅在2.15 min~2.97 min,弱化度的变幅在88.00 BU~154.50 BU,粉质质量指数的变幅在36.00 mm~52.50 mm。15种小麦粉的粉质指标中,对于稳定时间来说,最大的是京花11,最小的是蒙泊700,该指标变异系数在粉质指标中最小,各样品稳定时间均在国标规定的3 min之内。对于弱化度来说,最大的是京冬18,最小的是衡0628,该指标变异系数在粉质指标中最大。罗勤贵^[9]研究了11个弱筋小麦品种的品质与酥性饼干品质之间的关系,其研究结果表明在粉质指标中,形成时间、稳定时间和弱化度在11种弱筋小麦品种的变异系数较大,与本研究结果一致。研究认为

粉质指标是预测和控制酥性饼干品质的重要指标。

拉伸指标测定结果见图3。

在分析拉伸数据时选择面团醒发45 min的数据^[20]。由图3可知,拉伸曲线面积的变幅在20.50 cm²~35.00 cm²,拉伸阻力的变幅在85.50 BU~123.50 BU,延伸度的变幅在127 mm~204 mm,最大拉伸阻力的变幅在90.50 BU~125.00 BU,拉伸比例的变幅在0.45~1.00,最大拉伸比例的变幅在0.50~1.00。15种小麦粉的拉伸指标中,对于拉伸比例来说,最大的是蒙泊700,最小的是石农956,该指标变异系数在拉伸指标中最大。陈洪金^[21]研究了酥性饼干专用粉品质指标的质量

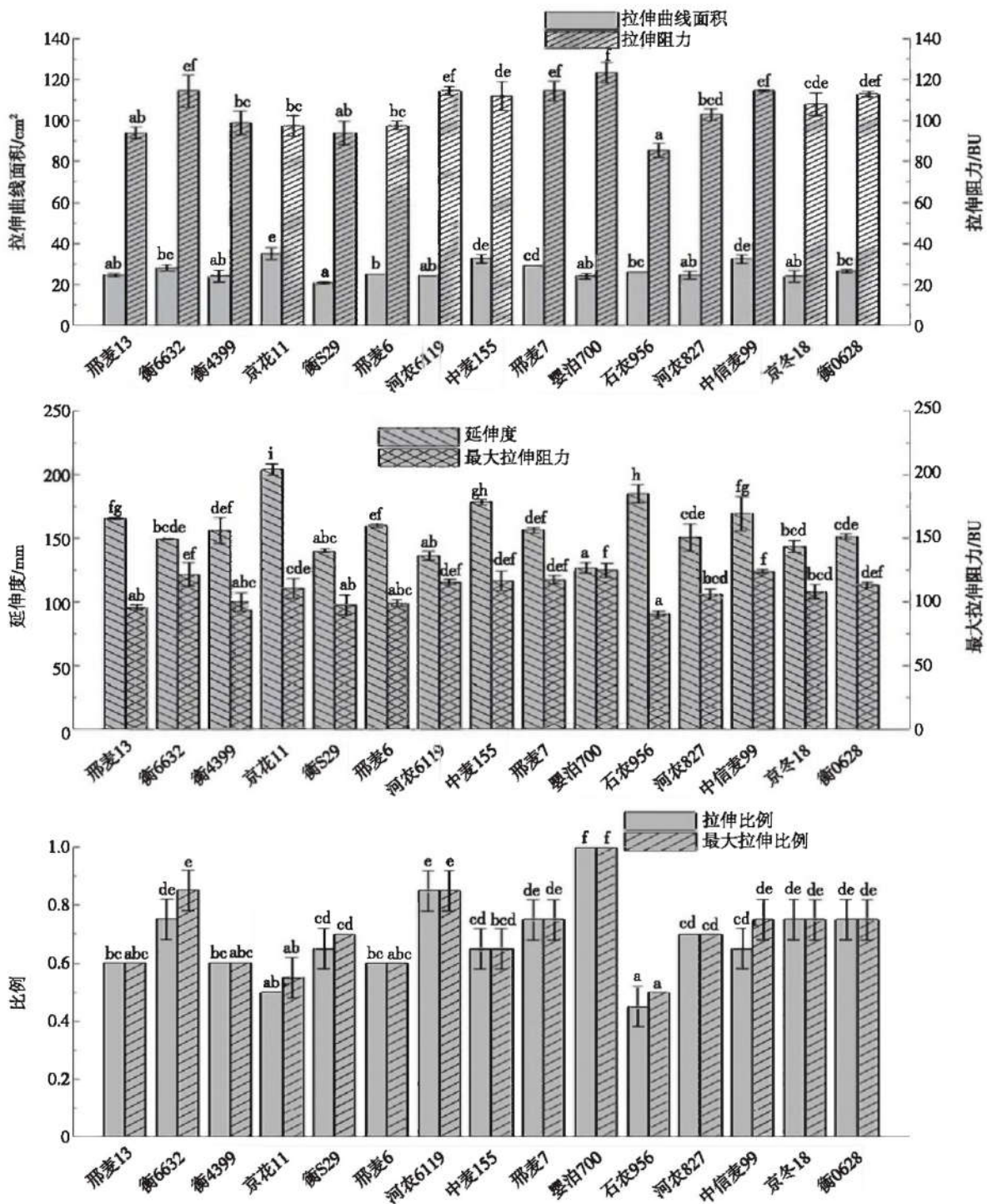
不同字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图3 小麦粉拉伸指标

Fig.3 Wheat flour extension properties

标准,其研究结果表明制作酥性饼干专用粉的拉伸指标中,拉伸阻力在150 BU~200 BU范围内,延伸度>120 mm,本研究中的拉伸阻力均<130 BU,是由于前者使用的是商业化的专用粉,其生产是通过配粉与后期添加剂的修饰,而本研究采用单一的小麦品种。

糊化指标测定结果见图4。

由图4可知,糊化温度的变幅在59.65℃~61.55℃,峰值黏度的变幅在413.50 BU~1 482.00 BU,最终黏度的变幅在491.50 BU~2 004.50 BU,崩解值的变幅在301.50 BU~689.50 BU,回升值的变幅在288.00 BU~1 024.50 BU。在15种小麦粉的糊化指标中,对于崩解值来说,最大的是衡S29,最小的是京冬18,该指标变

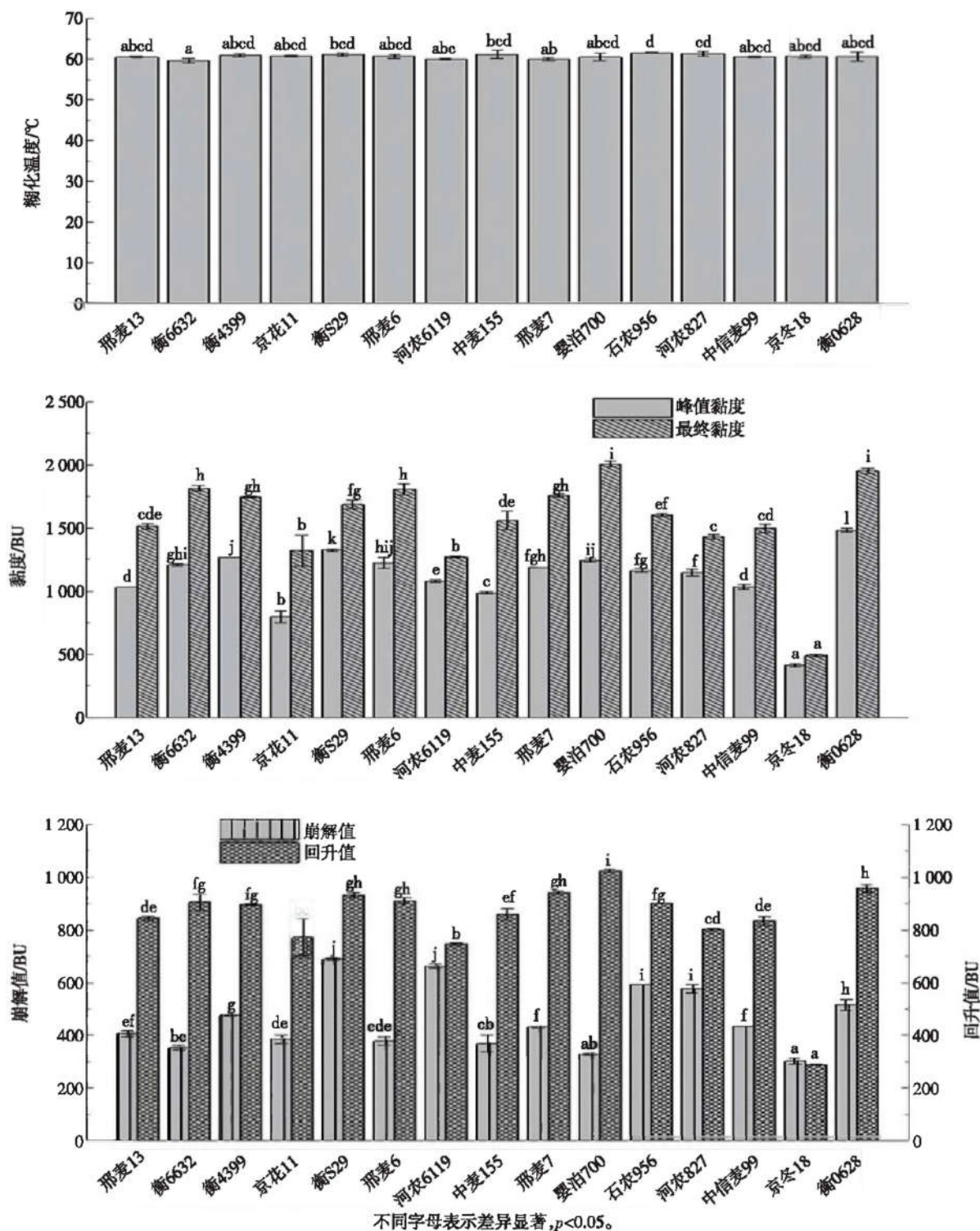


图4 小麦粉糊化指标

Fig.4 Wheat flour gelatinization properties

异系数在糊化指标中最大。除糊化温度外其余糊化指标的变异系数均在20%以上,且品种间存在着较大的差异,与罗勤贵^[9]的研究结果一致。在糊化指标中,除糊化温度外,京冬18均为最小值,与降落数值的结果一致,这与京冬18的淀粉酶活性高有关。

2.1.3 韧性饼干的品质评价结果

对韧性饼干的品质评价为质构的物性评价,其结果如图5所示。

由图5可知,脆性的变幅在8.47 N~33.13 N,硬度的变幅在24.23 N~44.20 N,回复性的变幅在0.20~0.35,

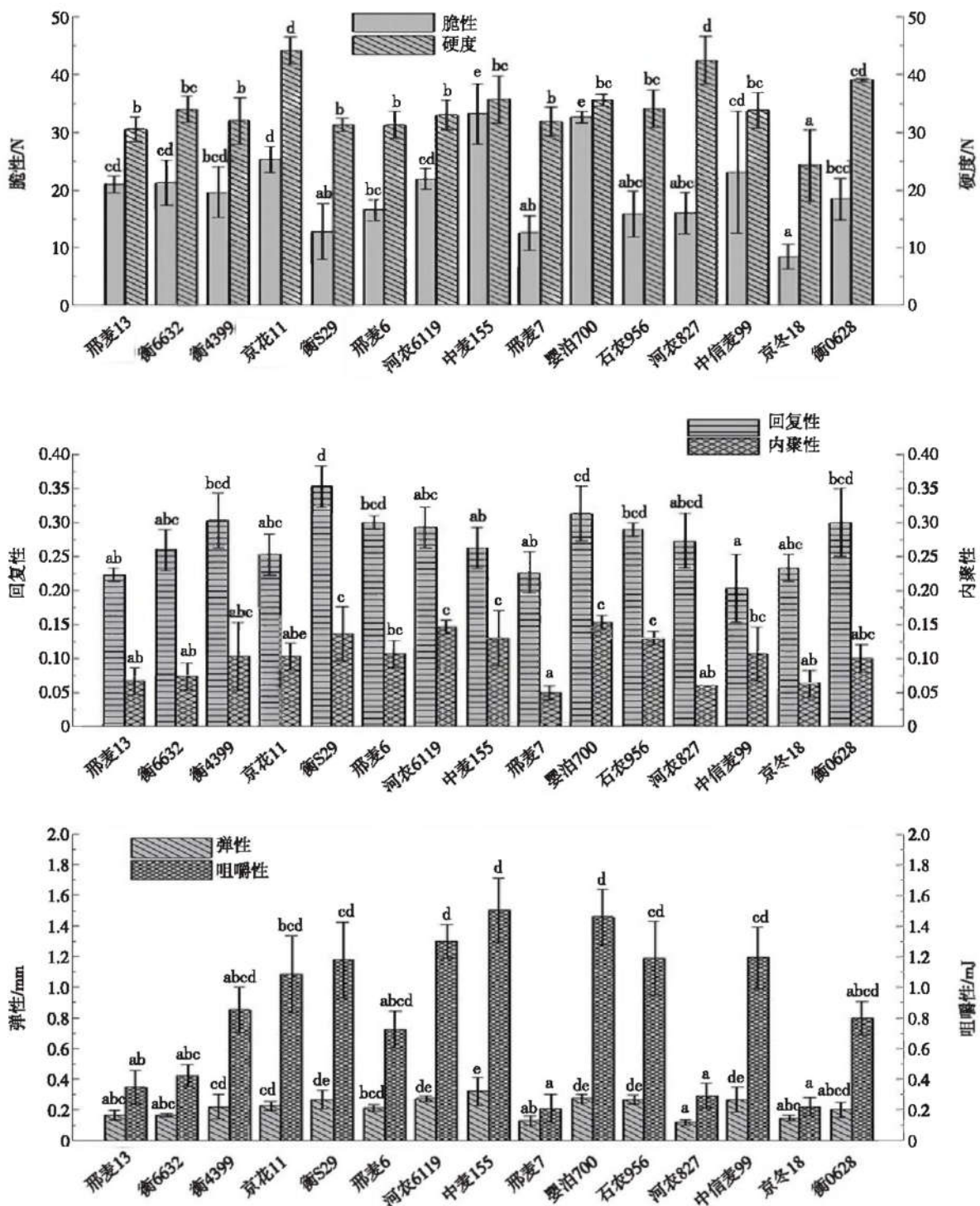


图5 韧性饼干质构结果

Fig.5 Texture results of semi-hard biscuits

内聚性的变幅在 0.05~0.15, 弹性的变幅在 0.12 mm ~ 0.32 mm, 咀嚼性的变幅在 0.21 mJ ~1.50 mJ。在 15 种小麦粉韧性饼干的质构指标中, 对于咀嚼性来说, 最大的是中麦 155, 最小的是邢麦 7, 其变异系数在质构的指标中最大。质构指标与王超超^[2]所分析发酵饼干的质构指标结果一致, 其研究结果表明发酵饼干感官

评价和质构参数之间的相关性较好, 感官评价主要与质构的硬度、内聚性、弹性相关。

2.2 小麦粉特性与饼干品质相关性分析

运用软件 SPSS17.0 对小麦粉品质和韧性饼干品质数据进行处理, 将小麦粉的各项指标与韧性饼干的质构指标结果进行相关性分析, 其结果如表 2 所示。

表2 韧性饼干质构与小麦粉指标的相关性

Table 2 Correlation analysis between semi-hard biscuits quality and main indexes of wheat flour

指标	脆性	硬度	回复性	弹性	咀嚼性	内聚性
形成时间	0.152	0.562*	-0.455	-0.086	-0.093	-0.228
弱化度	-0.597*	-0.295	-0.215	-0.538*	-0.615*	-0.511
峰值黏度	0.107	0.257	0.640*	0.097	0.137	0.240
崩解值	-0.359	0.115	0.521*	0.060	0.038	0.161
最大拉伸阻力	0.524*	0.182	-0.125	0.222	0.327	0.177
湿面筋含量	0.168	0.305	-0.208	-0.004	-0.007	-0.038
干面筋含量	0.169	0.438	-0.249	-0.176	-0.109	-0.137
面筋指数	0.016	0.355	-0.524*	-0.238	-0.175	-0.303
降落数值	0.565*	0.141	0.109	0.232	0.248	0.170

注:*表示在0.05水平上显著相关。

由表2可知,小麦粉的形成时间与硬度呈正相关,与罗勤贵^[9]的研究结果相似,其研究结果表明饼干硬度与评价值呈正相关,而评价值是小麦粉的形成时间、稳定时间和弱化度的综合评价,小麦粉的形成时间和稳定时间越长,弱化度也就越小,其评价值越大;弱化度与脆性、弹性、咀嚼性呈负相关,这可能由于弱化度大,面团在搅拌过度后面筋变弱的程度大,使得面团变软发黏,这样的面团不易加工且小麦粉烘焙质量不佳^[2];峰值黏度对韧性饼干品质影响最大(0.640),与回复性呈正相关;崩解值与回复性呈正相关,与张平等^[10]的研究结果相似;最大拉伸阻力与脆性呈正相关,这可能是由于拉伸阻力越大,面筋弹性越好,制作的饼干成品也就越好^[2];面筋指数与回复性呈负相关;降落数值与脆性呈正相关。

2.3 不同小麦品种制作韧性饼干的综合评价

2.3.1 主成分分析检验

采用KMO(Kaiser-Meyer-Olkin)与Bartlett's(Bartlett test of sphericity)检验,进行因子分析前的拟合检验,分析主成分分析适宜性。其结果如表3所示。

表3 KMO与Bartlett's检验

Table 3 KMO and Bartlett's test

KMO检验	Bartlett's 检验		
	卡方近似值	自由度(df)	p 值
0.568	91.494	15	0.000

由表3可知,KMO值为0.568,证明质构指标适合使用主成分分析法;Bartlett's球型检验中卡方近似值较大(91.494),对应的p值较小(0.000),达到显著水平,因此此质构指标适合进行主成分分析。

2.3.2 评价模型建立

质构指标主成分的方差贡献率见表4。

由表4可知,第一主成分方差贡献率为59.918%,

表4 质构指标主成分的方差贡献率

Table 4 Variance contribution rate of main components of texture indicators

主成分	特征值(λ)	方差贡献率/%
一	3.595	59.918
二	1.228	20.464

第二主成分方差贡献率为20.464%,2个主成分累计方差贡献率达到80%以上。第一主成分(Z_1)主要反映咀嚼性、内聚性、弹性、脆性和回复性,第二主成分(Z_2)主要反映回复性。两个主成分互不关联,各自具有其代表性,所以可以选用二个成分代表6个指标对韧性饼干品质进行分析。

根据主成分得分系数矩阵,可以得到各主成分韧性饼干品质指标的表达式如下。

$$Z_1 = 0.519X_1 + 0.503X_2 + 0.497X_3 + 0.369X_4 + 0.150X_5 + 0.269X_6$$

$$Z_2 = 0.001X_1 - 0.234X_2 - 0.091X_3 + 0.521X_4 + 0.660X_5 - 0.479X_6$$

式中: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别代表脆性、硬度、回复性、内聚性、弹性、咀嚼性标准化后数据。

2.3.3 计算主成分得分和综合得分

质构指标主成分的成分得分见表5。

表5 成分得分

Table 5 Ingredient score

品种	第一主成分		第二主成分		总得分	排名
	得分	排名	得分	排名		
邢麦 13	-1.830	12	0.479	6	-0.609	13
衡 6632	-1.361	11	0.495	5	-0.421	11
衡 4399	0.098	8	-0.658	11	-0.113	9
京花 11	0.793	6	1.992	1	0.770	3
衡 S29	1.423	4	-2.211	15	0.051	8
邢麦 6	-0.171	10	-1.048	13	-0.308	10
河农 6119	1.847	3	-0.648	10	0.577	4
中麦 155	2.669	2	0.983	3	1.275	1
邢麦 7	-2.953	14	0.109	9	-1.136	14
婴泊 700	2.812	1	0.264	7	1.166	2
石农 956	1.135	5	-0.821	12	0.258	6
河农 827	-2.025	13	1.258	2	-0.507	12
中信麦 99	0.611	7	0.889	4	0.445	5
京冬 18	-3.084	15	-1.324	14	-1.516	15
衡 0628	0.034	9	0.242	8	0.069	7

由表5可知,第一主成分排名为婴泊700、中麦155和河农6119,第二主成分排名为京花11、河农827和中麦155,综合得分排名为中麦155、婴泊700和京花11。根据主成分分析得出的3种得分较高小麦品

种,得出适宜制作韧性饼干的指标范围:湿面筋含量 $\leq 31.46\%$,降落数值 ≤ 531 s,形成时间 ≤ 3.34 min,稳定时间 ≤ 2.97 min,粉质质量指数范围 36.0 mm~52.5 mm;小麦粉的峰值黏度 $\leq 1\ 240$ BU,最终黏度 $\leq 2\ 004.5$ BU,崩解值 ≤ 386 BU,回升值 $\leq 1\ 024.5$ BU。

3 结论

河北省主要以生产中强筋小麦为主,大部分研究的是中强筋小麦,对弱筋小麦研究较少,而本文选择的15种小麦是河北省农业厅主推的节水稳产小麦品种。对15种小麦粉的相关指标对韧性饼干品质的影响进行了研究,首先分析了韧性饼干质构与小麦粉指标的相关性分析,小麦粉的峰值黏度、弱化度、形成时间、降落数值对韧性饼干品质的影响显著,其中峰值黏度和回复性呈正相关,弱化度与脆性、弹性、咀嚼性呈负相关,形成时间与硬度呈正相关,降落数值与脆性呈正相关。其次韧性饼干质构的6个指标依据主成分分析提取了2个主成分因子,其累计方差贡献率达到80.382%;根据成分得分表得出中麦155、婴泊700和京花11为适宜制备韧性饼干的小麦品种。并得出适宜制作韧性饼干的指标范围:湿面筋含量 $\leq 31.46\%$,降落数值 ≤ 531 s,形成时间 ≤ 3.34 min,稳定时间 ≤ 2.97 min,粉质质量指数范围 36.0 mm~52.5 mm;小麦粉的峰值黏度 $\leq 1\ 240$ BU,最终黏度 $\leq 2\ 004.5$ BU,崩解值 ≤ 386 BU,回升值 $\leq 1\ 024.5$ BU。

参考文献:

- [1] GOZALEZ-MONTEMAYOR Á, FLORES-GALLEGOS A, CONTRERAS-ESQUIVEL J, et al. *Prosopis* spp. functional activities and its applications in bakery products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 94: 12-19.
- [2] 张岐军.软质小麦品种饼干品质评价[D].北京:中国农业科学院, 2004:65-70.
ZHANG Qijun. Cookie quality evaluation of soft wheat cultivars[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science, 2004:65-70.
- [3] MANLEY D. 1-Setting the scene: a history and the position of biscuits [M]. England: Woodhead Publishing, 2011: 1-9.
- [4] GARCIA-ARMENTA E, GUTIERREZ G, ANAND S, et al. Analysis of the failure of cracked biscuits[J]. Journal of Food Engineering, 2017, 196: 52-64.
- [5] DAUDA A, ABIODUN O, ARISE A, et al. Nutritional and consumers acceptance of biscuit made from wheat flour fortified with partially defatted groundnut paste[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 90: 265-269.
- [6] 刘广晓. HMW-GS 缺失对宁麦 9 号加工品质的影响及其分子基础[D]. 扬州: 扬州大学, 2016:65-70.
- [7] DVORACEK V, BRADOVA J, SEDLACEK T, et al. Relationships among mixolab rheological properties of isolated starch and white flour and quality of baking products using different wheat cultivars [J]. Journal of Cereal Science, 2019, 89: 102801.
- [8] 黄婷玉. 焙烤食品组分与面筋质构的关系及应用[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015:50-55.
HUANG Tingyu. The relationship between baking food components and gluten texture and its application[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015:50-55.
- [9] 邹春雷. 花后碳氮调控对春小麦源库关系与籽粒品质的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016:60-65.
ZOU Chunlei. Effect of carbon and nitrogen regulation at post-anthesis on source-sink relation and grain quality of spring wheat[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2016:60-65.
- [10] MA F, BAIK B. Soft wheat quality characteristics required for making baking powder biscuits[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 127-133.
- [11] 张平平, 姚金保, 王化敦, 等. 江苏省优质软麦品种品质特性与饼干加工品质的关系[J]. 作物学报, 2020, 46(4):491-502.
ZHANG Pingping, YAO Jinbao, WANG Huadun, et al. Soft wheat quality traits in Jiangsu Province and their relationship with cookie making quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(4):491-502.
- [12] 张康逸, 张灿, 郭东旭, 等. 酶对饼干粉及韧性饼干品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12):201-206
ZHANG Kangyi, ZHANG Can, GUO Dongxu, et al. Effects of enzymes on the quality of biscuit powder and tough biscuits[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12):201-206.
- [13] MOIRAGHI M, SCIARINI L, PAESANI C, et al. Flour and starch characteristics of soft wheat cultivars and their effect on cookie quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(10): 4474-4481.
- [14] JIA M, YU Q, CHEN J, et al. Physical quality and *in vitro* starch digestibility of biscuits as affected by addition of soluble dietary fiber from defatted rice bran[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105349.
- [15] 姚晓丹. 酶制剂改良韧性饼干品质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 45-50.
YAO Xiaodan. Study on the quality improvement for hard biscuit processed by enzymes[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018:45-50.
- [16] 杨剑婷. 添加淀粉和面筋蛋白及小麦籽粒不同层次配粉对面粉加工品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2017:110-115.
YANG Jianting. Effects of starch gluten addition and different pearling fractions mixed on processing quality of wheat flour [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017: 110-115.
- [17] 马德军. 粘弹性食品材料物性检测系统研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 100-105.

- MA Dejun. Research on texture detection system for food which own viscosity and elasticity[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 100-105.
- [18] 田金河,王艳婕,曾庆孝,等. 拉伸仪在半甜韧性饼干品质控制中的应用研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(21): 117-121.
- TAN Jinhe, WANG Yanjie, ZENG Qingxiao, et al. Application study of extensograph in semi-sweet hard biscuit production[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012,33(21): 117-121.
- [19] 罗勤贵. 弱筋小麦品质与酥性饼干质量关系研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008: 18-29.
- LUO Qingui. Relationship between quality properties of soft gluten wheat and biscuit quality[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008:18-29.
- [20] 曾洁. 粮油加工实验技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 109-112.
- ZENG Jie. Experimental technology of grain and oil processing[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009: 109-112.
- [21] 陈洪金. 酥性饼干专用粉品质指标的研究[J]. 无锡轻工业学院学报, 1993(4): 287-297.
- CHEN Hongjin. Study on the quality index of special powder for cookies[J]. Journal of the Wuxi Institute of Light Industry, 1993(4): 287-297.
- [22] 王超超. 不同贮存条件下发酵饼干质构变化规律及货架寿命预测研究[D]. 南京: 南京财经大学, 2012: 30-40.
- WANG Chaochao. Study on fermentation biscuit texture variation and shelf-life prediction in different storage conditions[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2012: 30-40.
- [23] 李宁波,王晓曦,于磊,等. 面团流变学特性及其在食品加工中的应用[J]. 食品科技, 2008(8): 35-38.
- LI Ningbo, WANG Xiaoxi, YU Lei, et al. Dough rheology properties and its application in the food processing industry[J]. Food Science and Technology, 2008(8): 35-38.
- [24] 张丹. 马铃薯-小麦混合粉面团品质改良及其酥性饼干的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2017: 30-40.
- ZHANG Dan. Quality improvement of potato flour on properties of wheat flour dough and it's development of biscuits[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2017: 30-40.

加工编辑: 王艳

收稿日期: 2020-06-29