

张晓艳,殷芳,王兆华,等. 山东省不同生态区小麦品质分布特征及光谱信息比较研究[J]. 江苏农业科学,2025,53(8):49-57.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.08.007

山东省不同生态区小麦品质分布特征 及光谱信息比较研究

张晓艳¹,殷芳¹,王兆华¹,赵鑫喆²,刘锋¹

(1. 山东省农业科学院农业信息与经济研究所,山东济南 250100; 2. 南京农业大学资源与环境科学学院,江苏南京 210095)

摘要:为了解山东省小麦种植类型及品质特征分布现状,对山东省不同生态区 44 个县 127 个小麦样品进行抽样调查与品质检测,分析不同生态区小麦的品质分布特征。结果表明,胶东地区的小麦在穗数、每穗粒数、千粒重均较高的情况下,平均产量也最高,为 771.90 kg/667 m²,鲁西南地区的小麦产量最低。不同生态区的小麦品质分析结果显示,胶东地区在产量较高的基础上,蛋白质含量、湿面筋含量、沉淀值、面团的形成时间和稳定时间等指标均较低;鲁西南、鲁西北地区虽然产量相对低,但前者容重、蛋白质含量、湿面筋含量、沉淀值、面团形成时间最高;后者的面筋指数和面团稳定时间最高。通过对山东省不同生态区小麦的品质分布特征进行分析,小麦品种济麦 22、济麦 44 的蛋白质含量平均值分别为 13.38%、14.30%,湿面筋含量平均值分别为 33.90%、31.98%;光谱反射率在不同光谱范围内的变化趋势一致,且济麦 44 明显低于济麦 22。同一品种小麦在不同生态区品质表现有差异,济麦 22 在各生态区品质特征比较稳定,而济麦 44 的稳定性略低于济麦 22,说明济麦 44 受生长环境的影响相对较大。期待本研究结果可为优质专用小麦的生产布局、收储流通、加工利用等提供参考。

关键词:山东;生态区;小麦;品质;光谱信息

中图分类号:S512.103.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)08-0049-09

山东省是我国小麦主产区。2022 年,山东省小麦播种面积、总产量分别占全国的 17.02%、19.18%,单位面积产量为全国平均值的 112.65%,山东省是仅次于河南省的第二大小麦生产省^[1]。小麦是山东省的主要粮食作物,播种面积占山东省粮食作物总面积的比例从 1949 年的 32.51% 上升到 1992 年的 52.15%,产量占粮食总产量的比例从 1949 年的 26.33% 逐渐上升到 1992 年的 52.33%;此后,山东省小麦种植面积、产量占全省粮食作物的比例呈曲折下降态势,截至 2022 年,占比分别为 47.82%、47.64%。

山东省位于我国东部沿海、黄河下游,陆域位于 114°48′~122°42′E、34°23′~38°17′N。山东省气候温和,属于暖温带季风气候,雨热同期,降水集中,年均气温为 11~14℃,年总降水量为 550~

950 mm,其分布特点是南多北少。山东省冬季平均气温为 -1~4℃,春季日照适宜、气温回升快,年平均日照时数在全省变化范围为 2 200~2 800 h,分布从南往北增多,大致呈西南—东北走向;冬春季的水热气候条件为冬小麦的越冬和返青生长提供了适宜环境,有利于冬小麦的生长发育^[2]。小麦种植区划是指导小麦生产的重要参考依据。2001 年,原农业部公布了小麦品质区划方案,山东是北方强筋、中筋冬麦区^[3]。吴天琪等依据地形地貌、气候条件、土壤类型等特定生态因子,运用多层次模糊综合评判法,对优质专用小麦的生态适应性进行综合评价,划分出山东省优质专用小麦的生态适宜类型区^[4]。赵君实等对山东省强筋小麦种植进行了区划研究^[5-6]。

小麦单位面积产量是由单位面积穗数、每穗粒数、粒重这 3 个要素决定的^[7],小麦品质不仅受品种遗传特性的影响,更与环境因素和栽培措施有关^[8-11]。生态环境、品种(系)及二者互作对小麦产量的影响均达极显著水平,其中生态环境对小麦产量的贡献率最大^[12]。小麦产量取决于基因型、环境、基因型与环境互作的综合效应,不同小麦品种的产量在不同地区、不同年度会表现出一定的差

收稿日期:2024-01-18

基金项目:山东省自然科学基金面上项目(编号:ZR2022MC135);山东省

现代耕作制度产业技术体系“农业灾害预警与防控”岗位建设任务。

作者简介:张晓艳(1974—),女,内蒙古通辽人,博士,研究员,主要从事农业监测预警与乡村振兴研究。E-mail:239491965@qq.com。

通信作者:刘锋,助理研究员,主要从事文献检索查新服务研究。

E-mail:lf.00@163.com。

异^[13-16]。相同品种在不同地区、不同生态环境或不同的栽培管理条件下种植,其品质性状也会有很大变化,其中蛋白质含量的变异受栽培措施和环境的影响远大于基因型的影响;湿面筋含量、面团形成时间、延伸性、面包体积、面包评分的变异也表现为栽培环境的效应大于基因型^[17]。为了解山东省不同生产区域小麦品质种植分布现状,掌握主推品种及新审定品种的品质状况,评价筛选优质高产品种,提高小麦单产和改善小麦品质,本研究开展抽样、品质检测工作,以构建并完善山东省小麦优势区域、优良品种、调优技术及籽粒品质信息数据库,并制作山东省小麦品质区划图,以期小麦品种和技术的研发与推广、生产布局与组织管理、收储流

通与加工利用等提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集点分布

根据山东省冬小麦生态区划分标准,将山东省小麦分成 4 个生态区,分别是胶东丘陵冬性晚熟类型区、鲁西北平原冬性半冬性中晚熟类型区、鲁中山丘川半冬性冬性中熟类型区、鲁西南平原湖洼半冬性早熟类型区^[5]。本研究采用此分区方法,涉及的采样点及品种信息见表 1 和图 1,重点分析小麦品种济麦 22、济麦 44 在山东不同生态区的品质表现特征及光谱特征情况。

表 1 山东省小麦采样点及品种信息

序号	地址	品种	序号	地址	品种
1	泰安市东平县新湖镇吴楼村	济麦 22	31	泰安市宁阳县东疏镇耿庄村	山农 28
2	泰安市东平县沙河站镇东巴掌柳村	济麦 22	32	泰安市岱岳区大汶口镇东武村	泰科麦 33
3	泰安市东平县城孙纸坊村	登海 206	33	泰安市岱岳区马庄镇老宫村	岱麦 366
4	济宁市梁山县黑虎庙镇西小吴村	济麦 22	34	泰安市岱岳区满庄镇中淳于村	泰农 18
5	济宁市梁山县小路口徐岔河	济麦 22	35	菏泽市定陶区新城区滨河办事处	山农 28
6	济宁市梁山县赵垌堆徐岔河	鲁原 502	36	威海市文登区泽头镇北庄村	青丰 1 号
7	滨州市惠民县孙武街道堡马村	太麦 198	37	威海市文登区米山镇西石棚村	青农 6 号
8	滨州市惠民县石庙镇小霹雳庄	济麦 22	38	威海市文登区屈山南鲁家埠村	青丰 1 号
9	滨州市惠民县石庙镇巩家	济麦 44	39	济宁市任城区唐口街道杨庄村	淮麦 44
10	菏泽市牡丹区高庄镇圈头村	烟农 1212	40	济宁市任城区喻屯镇谭口集村	济麦 22
11	菏泽市牡丹区黄堽镇种子资源开发保护中心	济麦 22	41	临沂市莒南县洙边镇界首村	济麦 22
12	菏泽市牡丹区李村镇大郭村	济麦 44	42	临沂市莒南县大店镇四角岭村	太麦 198
13	德州市禹城市伦镇城西村	师栗 02-1	43	临沂市莒南坪上镇西诸睦村	泰科麦 32
14	德州市禹城市莒镇小庄村	济麦 22	44	潍坊市诸城相州一村	鲁研 128
15	德州市禹城市房寺镇聂庄村	太麦 198	45	潍坊市诸城百尺河镇程家庄子	济麦 44
16	聊城市莘县朝城镇程路口村	岱麦 366	46	潍坊市诸城辛兴镇朱苗社区	济麦 22
17	聊城市莘县朝城镇程路口村	鑫麦 296	47	东营市东营区牛庄镇东隋村	济麦 44
18	聊城市莘县十八里铺镇前李庄村	鑫麦 807	48	东营市东营区牛庄镇金丰农场	山东 28
19	聊城市莘县妹冢镇康园村	中麦 4072	49	东营市东营区牛庄镇小宋村	山东 28
20	烟台市莱州市沙河镇祝家村	登海 206	50	东营市利津县陈庄镇	济麦 22
21	烟台市莱州市城港路街道朱旺村	良星 77	51	东营市利津街道大门张村	荷麦 29
22	烟台市莱州市土山镇潘家村	烟农 24	52	德州市乐陵孔镇王木腿	济麦 22
23	潍坊市高密市醴泉街道张新庄村	菲达 6 号	53	德州市乐陵孔镇管庄村	济麦 44
24	聊城市冠县甘屯镇后王二寨村	鲁研 128	54	德州市乐陵丁坞镇枣苗圃	山农 40
25	聊城市冠县辛集镇边庄村	济麦 22	55	滨州市沾化区泊头镇道口村	济麦 44
26	济宁市汶上县寅寺镇草桥	济麦 22	56	滨州市沾化区泊头镇道口村	济麦 44
27	济宁市汶上县次邱镇西温口	济麦 22	57	滨州市沾化区冯家镇范庄	济麦 44
28	济宁市汶上县刘楼镇孔庄	济麦 22	58	日照市莒县洛河镇	鲁原 502
29	泰安市宁阳县伏山镇张庄村	岱麦 366	59	日照市莒县招贤镇	山农 28
30	泰安市宁阳县鹤山镇小辛村	太麦 198	60	日照市莒县阎庄街道	济麦 44

表 1(续)

序号	地址	品种	序号	地址	品种
61	菏泽市东明县长兴集乡	济麦 22	95	临沂市郯城县郯城街道归义农场	济麦 22
62	菏泽市东明县马头镇柳园村	济麦 44	96	临沂市郯城县庙山镇吕村	阳光 18
63	菏泽市东明县刘楼镇任庄村	鲁源 118	97	临沂市郯城县泉源镇五湖社区	烟农 999
64	德州市平原县张华镇梨园村	太麦 198	98	菏泽市单县龙王庙柴庄村	太麦 198
65	德州市平原县张华镇北赵村	济麦 22	99	菏泽市单县杨楼镇尤村	黑马 2 号
66	德州市平原县腰站镇王双堂村	济麦 22	100	菏泽市单县莱河镇帅楼村	郑麦 7698
67	济宁市微山县韩庄镇多义村	济麦 22	101	菏泽市定陶区冉固镇赵庄	泰农 198
68	济宁市微山县韩庄镇东岳村	济麦 22	102	菏泽市定陶区杜堂镇刘庄	济麦 44
69	枣庄市滕州市西岗镇程楼村	济麦 44	103	淄博市临淄区敬仲镇李家东村	济麦 22
70	枣庄市滕州市西岗镇温堂村	鲁原 118	104	淄博市临淄区凤凰镇南罗村	济南 17
71	枣庄市滕州市柴胡店镇贾楼村	济麦 22	105	淄博市临淄区朱台镇王南村	山农 28
72	聊城市阳谷县安乐镇邢庄村	农大 136	106	菏泽市郓城程屯尼庙村	鲁原 502
73	聊城市阳谷县十五里园镇牛吴村	邯 - 7086	107	菏泽市郓城潘渡镇宋庄村	济麦 22
74	聊城市阳谷县侨润办事处老唐村	农大 761	108	菏泽市郓城黄泥岗镇何仓村	烟农 1212
75	聊城市阳谷县张秋镇田堤口村	农大 753	109	菏泽市郓城定里长街道富苑楼村	良星 77
76	菏泽市曹县梁堤头镇梁西村	济麦 22	110	菏泽市郓城县随官屯镇高庄村	鲁原 502
77	菏泽市曹县阎店楼镇王春庄村	鲁原 502	111	济南市章丘枣园街道庆元村	济麦 22
78	菏泽市曹县普连集镇李楼寨村	济麦 44	112	菏泽市郓城县侯咽集镇枣杭村	济麦 44
79	菏泽市成武县天宫庙镇申楼村	鲁原 502	113	泰安市泰岳区大汶口镇送驾庄村	太麦 198
80	菏泽市鄄城县旧城镇辛庄村	济麦 22	114	临沂市兰山区响河屯村	临麦 9 号
81	菏泽市鄄城县董口镇西张庄村	鲁原 502	115	济南市章丘区刁镇文化东路 1 号	济麦 44
82	菏泽市鄄城县临濮镇楼子庄村	济麦 44	116	济南市章丘区刁镇文化东路 1 号	济麦 22
83	德州市齐河县胡关镇赵官屯村	济麦 44	117	济南市章丘区刁镇文化东路 1 号	烟农 999
84	德州市齐河县安头乡张南村	济麦 44	118	临沂市沂南县大庄镇刘家店子村	山农 20
85	德州市齐河县马集镇北方寺村	济麦 22	119	临沂市沂南县苏村镇司马村	山农 25
86	济宁市嘉祥县老僧堂镇方官屯村	济麦 22	120	临沂市沂南县砖埠镇榆林村	临麦 9 号
87	济宁市嘉祥县黄垓镇胡楼村	济麦 44	121	济南市济阳区二太平镇	鲁源 502
88	济宁市嘉祥县梁宝寺镇曹井村	山农 28	122	德州市德城区	济麦 44
89	菏泽市成武县九女集镇九女村	济麦 44	123	德州市德城区	济麦 22
90	菏泽市成武县伯乐集镇玉皇庙村	济麦 22	124	东营市利津县汀罗镇渤海农场	济麦 44
91	济南市商河县贾庄镇郭庵村	济麦 22	125	潍坊市昌邑市北孟东祝仙屯	济麦 22
92	济南市商河县贾庄镇小庞村	济麦 22	126	潍坊市昌邑市饮马杨楼村	济麦 22
93	济南市龙商河县龙桑寺镇房家村	济麦 22	127	潍坊市昌邑市卜庄镇三教堂村	烟农 999
94	济南市商河县孙集镇前街村	济麦 22			

1.2 样品采集与品质检测

2021 年,征集到山东省大田生产及试验示范基地的 15 个地级市 44 个县 127 个小麦样品,在农业农村部谷物品品质检验测试中心(泰安)测定小麦籽粒品质指标。其中,容重根据 GB/T 5498—2013 采用 HGT-1000 容重器检测;蛋白质含量根据 NY/T 3—1982 采用凯氏定氮仪检测;湿面筋含量根据 GB/T 5506.2—2008 采用 Perten 面筋仪检测;面筋指数用 LS/T 6102—1995 中的方法检测;沉淀值根据 GB/T 21119—2007 采用 BAU-A 沉淀值仪检

测;粉质参数根据 GB/T 14614—2019 采用 Brabender 粉质仪检测。

1.3 小麦籽粒高光谱图像数据测定

采用美国 Surface Optics Corporation 公司生产的 SOC710VP 可见-近红外高光谱成像式地物光谱仪进行测定,光谱范围为 350~1 050 nm,光谱分辨率为 4.687 5 nm,共 128 个波段。光谱测定在实验室补光条件下进行,光谱仪的视场角为 25°,探头距待测籽粒 0.50 m。首先将小麦籽粒腹沟朝下整齐放置于反射率近似为 0 的黑色试验布平台上,采集高

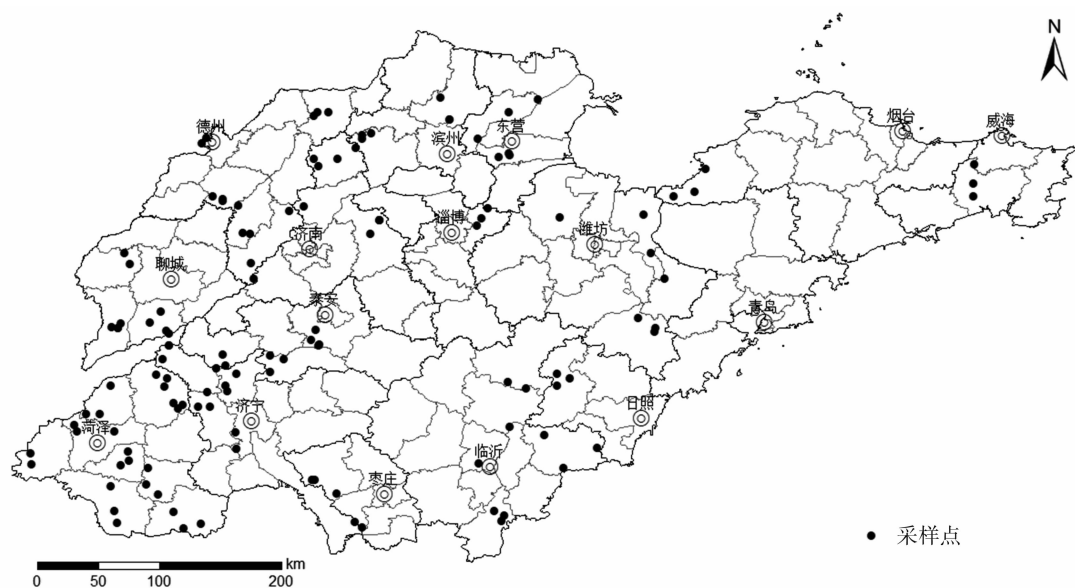


图1 山东省小麦采样分布

光谱图像信息时,统一采集小麦籽粒背面的信息。为了消除外界干扰以保证精度,每组选择 20 个以上籽粒,每个样品重复 3 次,即每个样品有 60 组以上数据,计平均值作为该样品的光谱反射率,测量过程中同步进行标准白板校正。

2 结果与分析

2.1 不同生态区小麦产量三要素指标

由图 2 可知,从调查样本的小麦穗数看,胶东地区穗数最多,平均穗数为 48.37 万穗/667 m²;其次是

鲁西北地区,平均为 45.38 万穗/667 m²;鲁西南最少,平均为 41.17 万穗/667 m²。从每穗粒数上看,胶东地区最高,平均为 37.53 粒/穗;鲁中地区最低,平均为 33.39 粒/穗。胶东地区千粒重最高,平均为 46.99 g;其次是鲁西南地区,平均为 46.14 g;鲁西北最低,平均为 43.72 g。总体上,胶东地区小麦在穗数、每穗粒数、千粒重均较高的情况下,平均产量也最高,为 771.90 kg/667 m²;鲁西南地区因产量三要素指标均较低,所以小麦产量也最低,为 531.72 kg/667 m²。

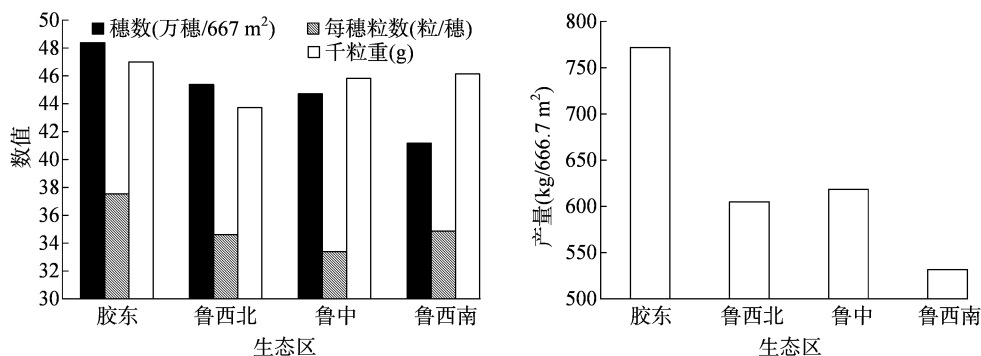


图2 山东省不同生态区小麦产量三要素指标

2.2 不同生态区小麦品质分布特征

容重是衡量小麦质量的主要指标,根据国家标准(GB 1351—2023),一等小麦容重 ≥ 790 g/L,二等小麦容重 ≥ 770 g/L,三等小麦容重 ≥ 750 g/L,四等小麦容重 ≥ 730 g/L,五等小麦容重 ≥ 710 g/L^[18]。由图 3 可知,山东省小麦平均容重为 793.50 g/L,其中,鲁西南地区容重最高,为 803.30 g/L,比山东省平均

值高 1.24%;其次是鲁中地区,为 795.27 g/L,比平均值高 0.22%;鲁西北、胶东地区小麦容重分别为 787.43、788.00 g/L,比平均值低 0.77%、0.69%。从这个指标看,小麦质量达到了二等水平以上。从蛋白质指标看,山东小麦蛋白质含量平均值为 13.44%,变异系数为 3.94%,其中,鲁西南、鲁西北地区蛋白质含量分别为 14.00%、13.83%,比平均

值高 4.16%、2.90%；鲁中、胶东地区分别为 13.31%、12.64%，比平均值低 0.97%、5.95%。从湿面筋指标看，山东省平均湿面筋含量为 32.75%，变异系数为 3.48%，鲁西南、鲁中地区分别为 34.25%、32.99%，比平均值高 4.58%、0.73%，胶东、鲁西北地区分别为 31.05%、32.71%，比平均值低 5.19%、0.12%。从面筋指数看，山东省平均值为 65.96，变异系数为 4.51%。其中，鲁西北地区最高，为 70.26，鲁西南地区次之，为 66.54，分别比山东省平均值高 6.52%、0.88%；胶东、鲁中地区分别为 62.00、65.04，比平均值低 6.00%、1.39%。从沉淀值指标看，全省平均值为 32.56 mL，变异系数为 5.38%，鲁西南、鲁西北地区分别比平均值高

5.38%、4.93%；胶东、鲁中地区分别比平均值低 7.34%、2.97%，胶东地区最低，为 30.17 mL。从面团形成时间上看，鲁西南地区最长，为 4.75 min，比山东省平均值高 24.68%；胶东地区形成时间最短，为 2.58 min，比平均值低 32.19%。从面团稳定时间上看，鲁西北地区最高，为 6.72 min，比平均值高 21.25%；胶东地区最低，为 3.95 min，比平均值低 28.67%。总体上，鲁西南、鲁西北地区的小麦品质指标较高，胶东地区品质指标相对较低；在各项小麦品质指标中，蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、沉淀值的变异系数较低，说明此类品质指标在不同生态区的表现相对稳定。

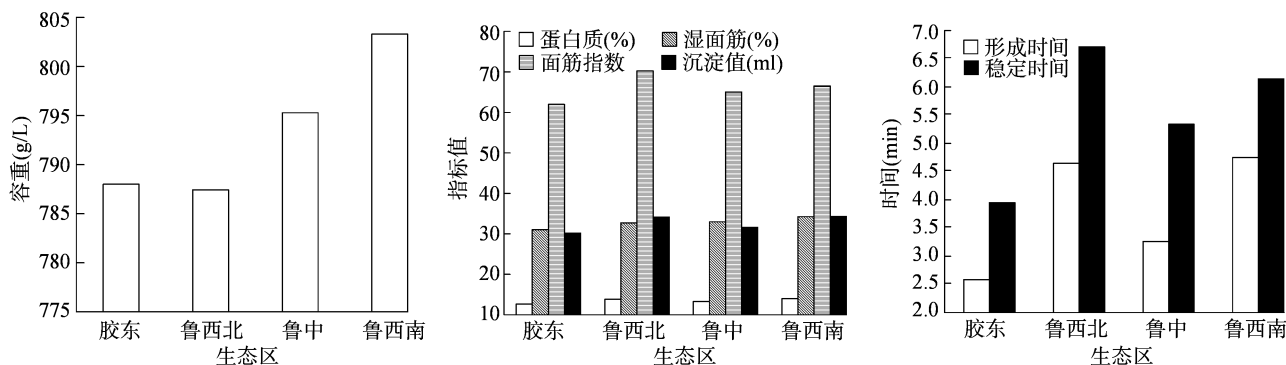


图3 不同生态区小麦品质指标比较

2.3 不同地区小麦品质的分布特征

从小麦籽粒样品检测结果(图4)来看，山东省15个地市小麦籽粒蛋白质含量为 11.38% ~ 14.85%，德州、聊城、济南、烟台、潍坊、淄博、菏泽、滨州的蛋白质含量高于山东省平均水平；其中，滨州市的蛋白质含量最高，为 14.85%，比山东省平均值高 10.91%；菏泽、淄博分别比平均值高 4.54%、4.45%；威海、枣庄、济宁、临沂、东营、泰安的蛋白质含量低于平均值，其中威海最低，比平均值低 15.02%。抽样籽粒湿面筋含量区域分布特征显示，淄博的湿面筋含量最高，为 35.97%，比平均值高 10.65%；威海最低，为 26.70%，比平均值低 17.86%。从面筋指数看出，全省范围内最高值与最低值差异为 32.78，济南、威海、滨州、泰安、枣庄、聊城、东营、德州等地市的面筋指数均高于山东省平均值；济南最高，为 79.11，比平均值高 17.30%；其次是威海，为 77.67，比平均值高 15.16%；烟台、潍坊、济宁、临沂、淄博、菏泽比平均值低，烟台最低，为 46.33，比平均值低 31.30%。从沉淀值指标看，德州、菏泽、枣庄、聊城、济南、东营、滨州比山东省

平均值高，滨州最高，为 37.50 mL，比平均值高 15.92%；济宁最低，为 28.77 mL，比平均值低 11.07%。从面粉吸水量指标看，东营、菏泽、济宁、枣庄、淄博比全省平均值高，其中，淄博吸水量最高，为 65.07 mL/100 g，比平均值高 2.72%；其次是枣庄，吸水量为 64.90 mL/100 g，比平均值高 2.46%；威海、烟台、潍坊、临沂、济南、德州、泰安、滨州、聊城的吸水量低于平均值，威海最小，为 62.27 mL/100 g，比平均值低 1.70%。从面团形成时间上看，泰安、东营、聊城、菏泽、德州、滨州、济南比全省平均值高，其中，济南最高，为 5.98 min，比平均值高 54.50%；威海、枣庄、淄博、潍坊、烟台、临沂、济宁比平均值低，威海最低，为 2.20 min，比平均值低 43.14%。从面团稳定时间上看，地市间差异较大，聊城、菏泽、德州、滨州、济南、枣庄比全省平均值高，其中，枣庄最高，为 11.30 min，比平均值高 94.05%；烟台、潍坊、临沂、济宁、淄博、威海、东营、泰安低于平均值，烟台最低，为 2.60 min，比平均值低 55.35%。

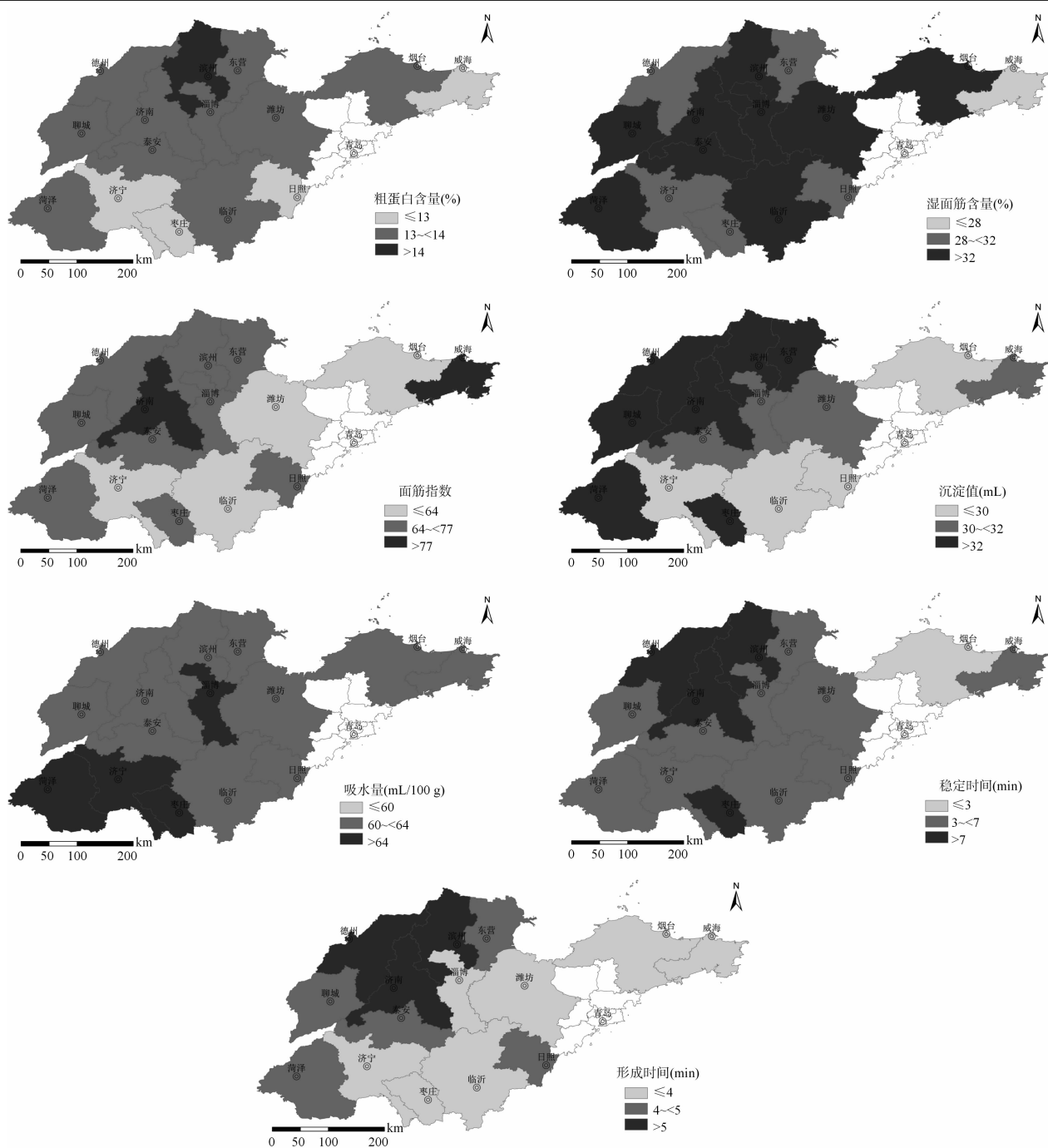


图4 山东省不同地区小麦籽粒品质指标空间分布

2.4 小麦品种的区域差异

2.4.1 济麦 22 在不同生态区的品质分布特征 由表 2 可知,济麦 22 的蛋白质含量为 11.88% ~ 14.40%,山东省平均值为 13.38%,变异系数为 5.65%,其中,淄博最高,为 14.40%,比平均值高 7.62%;东营最低,为 11.88%,比平均值低 11.21%。湿面筋含量为 29.40% ~ 39.00%,变异系数为 6.51%,淄博最高,为 39.00%,比平均值高 15.03%;东营最低,为 29.40%,比平均值低

13.28%;泰安、滨州、潍坊、菏泽、淄博的湿面筋含量均高于山东省平均值,而东营、济宁、聊城、枣庄、德州、济南、临沂比平均值低。面筋指数为 40.00 ~ 77.33,其中,济南最高,为 77.33,比平均值高 36.05%;东营最低,为 40.00,比平均值低 29.63%。沉淀值为 26.00 ~ 34.50 mL,变异系数为 7.88%,济南最高,为 34.50 mL,比平均值高 16.73%;聊城最低,为 26.00 mL,比平均值低 12.03%,两地相差 8.5 mL。粉质参数中,吸水量为 61.70 ~ 66.00 mL/100 g,变异

系数为 1.85% ; 枣庄最高, 为 66.00 mL/100 g, 比平均值高 3.28% ; 滨州最低, 为 61.70 mL/100 g, 比平均值低 3.45%。面团形成时间为 2.30 ~ 6.30 min, 济南最高, 为 6.30 min, 比平均值高 84.39% ; 东营最低, 为 2.30 min, 比平均值低 32.68%。面团稳定时间在 2.43 ~ 8.80 min 之间, 济南最高, 为 8.80 min, 比平均值高 128.82% , 潍坊最低, 为 2.43 min, 比平均值

低 36.73%。由检测结果可以看出, 济麦 22 的蛋白质含量、湿面筋含量、沉淀值、吸水量等指标, 在山东省不同生态区的变化相对平稳; 其中, 济南的沉淀值、面团形成时间、面团稳定时间高于其他地区, 东营的蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、面团形成时间等指标在全省范围内最低。

表 2 济麦 22 在山东省不同地区的品质指标比较

地区	蛋白质 含量 (%)	比平均 值提高 (%)	湿面筋 含量 (%)	比平均 值提高 (%)	面筋 指数	比平均 值提高 (%)	沉淀值 (mL)	比平均 值提高 (%)	吸水量 (mL/100 g)	比平均 值提高 (%)	面团形 成时间 (min)	比平均 值提高 (%)	面团稳 定时间 (min)	比平均 值提高 (%)
山东平均值	13.38		33.90		56.84		29.56		63.90		3.42		3.85	
滨州	14.17	5.90	34.60	2.06	64.00	12.59	30.00	1.50	61.70	-3.45	3.20	-6.34	3.80	-1.19
德州	13.33	-0.39	33.18	-2.12	61.33	7.90	29.33	-0.75	62.88	-1.60	4.90	43.41	6.33	64.68
东营	11.88	-11.21	29.40	-13.28	40.00	-29.63	27.00	-8.65	64.10	0.31	2.30	-32.68	2.50	-34.99
菏泽	13.87	3.69	35.92	5.94	55.50	-2.36	31.50	6.58	64.93	1.61	4.02	17.56	4.23	10.08
济南	14.15	5.72	33.25	-1.93	77.33	36.05	34.50	16.73	63.23	-1.05	6.30	84.39	8.80	128.82
济宁	12.56	-6.15	32.57	-3.94	51.11	-10.08	27.00	-8.65	64.48	0.90	2.93	-14.15	3.10	-19.39
聊城	13.23	-1.12	32.90	-2.96	53.00	-6.76	26.00	-12.03	62.20	-2.67	2.80	-18.05	2.60	-32.39
临沂	13.37	-0.11	33.35	-1.63	51.00	-10.28	29.00	-1.88	64.45	0.85	2.75	-19.51	2.65	-31.09
泰安	13.43	0.34	34.10	0.58	71.50	25.79	32.00	8.27	63.50	-0.63	3.80	11.22	4.10	6.61
潍坊	13.89	3.79	35.57	4.91	52.33	-7.93	29.33	-0.75	64.67	1.19	2.60	-23.90	2.43	-36.73
枣庄	12.30	-8.07	33.00	-2.66	50.00	-12.04	28.00	-5.26	66.00	3.28	2.60	-23.90	3.00	-21.99
淄博	14.40	7.62	39.00	15.03	55.00	-3.24	31.00	4.89	64.70	1.25	2.80	-18.05	2.60	-32.39

2.4.2 优质专用小麦济麦 44 在不同生态区的品质分布特征 由表 3 可知, 济麦 44 品种在山东省不同生态区的蛋白质含量为 12.45% ~ 15.18% , 平均值为 14.30% , 变异系数为 5.78% ; 其中, 滨州、菏泽、潍坊、济宁、德州的蛋白质含量均高于济麦 22, 滨州地区最高, 为 15.18% , 比平均值高 6.09% ; 日照、东营、枣庄、济南的蛋白质含量低于平均值, 日照最低, 为 12.45% , 比平均值低 12.96%。湿面筋含量为 28.40% ~ 35.50% , 全省平均值为 31.98% , 变异系数为 7.53% ; 济宁、菏泽、滨州、潍坊均高于平均值, 潍坊为 35.50% , 比平均值高 11.01% ; 枣庄、东营、日照、济南、德州均低于平均值, 枣庄比平均值低 11.19%。面筋指数在 58.00 ~ 98.00 之间, 全省平均值为 84.71, 变异系数为 13.92% ; 日照、德州、东营、济宁、济南、枣庄均高于平均值, 枣庄比平均值高 15.68% ; 潍坊、滨州、菏泽均低于平均值, 潍坊地区比平均值低 31.53%。沉淀值范围在 33.00 ~ 50.00 mL 之间, 全省平均值为 42.35 mL, 变异系数为 11.70% ; 日照、潍坊、滨州的沉淀值均低于平均值, 日照地区比平均值低 22.08% ; 其他地区均高于

平均值, 济宁地区沉淀值最高, 为 50.00 mL, 比平均值高 18.06%。从粉质参数分析, 济麦 44 吸水量为 60.70 ~ 66.00 mL/100 g, 全省平均值为 63.41 mL/100 g, 变异系数为 2.46% ; 枣庄、菏泽、潍坊、济宁的吸水量均高于平均值, 济宁比平均值高 4.08% ; 日照吸水量最低, 比平均值低 4.28%。面团形成时间为 2.70 ~ 8.40 min, 全省平均值为 6.20 min; 济宁、济南、德州、菏泽均高于平均值, 济宁最高, 为 8.40 min, 比平均值高 35.44% , 枣庄最低, 比平均值低 56.46%。小麦的面团稳定时间是面粉蛋白质、面筋质量的综合表现, 是判别小麦品种类别及其用途的重要指标, 对食品加工品质具有重要作用^[20]。山东省济麦 44 面团稳定时间为 3.60 ~ 25.20 min, 平均值为 11.35 min; 济南、枣庄的稳定时间均高于平均值, 枣庄最高, 为 25.20 min, 比平均值高 122.08% ; 潍坊最低, 为 3.60 min, 比平均值低 68.27%。总体上, 济麦 44 的蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、沉淀值、吸水量等指标在不同地区的表现平稳性低于济麦 22; 其中, 日照的蛋白质含量、沉淀值、吸水量最低, 济宁的沉淀值、吸水量、

面团形成时间最高,滨州的蛋白质含量最高;枣庄的面筋指数、面团稳定时间最高,湿面筋含量最低;潍坊的湿面筋含量最高,面筋指数最低。综上所述,蛋白质含量、湿面筋含量较高的地区,面筋指数不一定高;相反,面筋指数高的地区,湿面筋含量不一定高。

表 3 济麦 44 在山东不同地区品质指标比较

地区	蛋白质含量 (%)	比平均值提高 (%)	湿面筋含量 (%)	比平均值提高 (%)	面筋指数	比平均值提高 (%)	沉淀值 (mL)	比平均值提高 (%)	吸水量 (mL/100 g)	比平均值提高 (%)	面团形成时间 (min)	比平均值提高 (%)	面团稳定时间 (min)	比平均值提高 (%)
山东平均值	14.30		31.98		84.71		42.35		63.41		6.20		11.35	
滨州	15.18	6.09	34.73	8.58	74.00	-12.65	41.75	-1.42	63.25	-0.26	6.50	4.81	10.55	-7.03
德州	14.67	2.54	31.58	-1.27	86.25	1.81	43.25	2.12	63.18	-0.38	7.75	24.96	11.28	-0.64
东营	13.65	-4.61	29.45	-7.91	91.00	7.42	43.00	1.53	61.65	-2.78	6.60	6.42	9.45	-16.72
菏泽	15.02	5.02	34.37	7.46	81.17	-4.19	43.17	1.92	64.75	2.11	7.07	13.94	10.05	-11.43
济南	14.24	-0.45	30.90	-3.38	95.00	12.14	43.00	1.53	62.60	-1.28	8.00	28.99	12.70	11.92
济宁	14.83	3.67	33.10	3.50	94.00	10.96	50.00	18.06	66.00	4.08	8.40	35.44	11.10	-2.18
潍坊	14.90	4.16	35.50	11.01	58.00	-31.53	36.00	-15.00	64.90	2.34	3.10	-50.01	3.60	-68.27
日照	12.45	-12.96	29.80	-6.82	85.00	0.34	33.00	-22.08	60.70	-4.28	5.70	-8.09	8.20	-27.74
枣庄	13.81	-3.46	28.40	-11.19	98.00	15.68	48.00	13.34	63.70	0.45	2.70	-56.46	25.20	122.08

2.5 不同品质类型小麦光谱曲线比较

利用成像光谱仪对济麦 22、济麦 44 的籽粒进行光谱检测,由图 5 可知,2 种品质类型的小麦光谱曲线在不同光谱范围内变化趋势一致;但品质类型不同,光谱曲线差异较大,强筋小麦品种济麦 44 的光谱反射率低于济麦 22。在 400~1 050 nm 光谱范围内,大致可分 3 个波段范围:在 400~640 nm 范围内,2 个品种光谱反射率差异相对较大,出现 1 个低谷 1 个高峰,分别在 530、640 nm 左右,2 个品种的光谱值差距最大在 505 nm 处,反射率相差 0.037;在 640~740 nm 范围内,光谱反射率出现 3 个小高峰,最大峰值在 660 nm 左右,另外 2 个在 700、716 nm 左右;在 740~1 050 nm 范围内,光谱反射率呈波浪线变化,变化幅度变小。

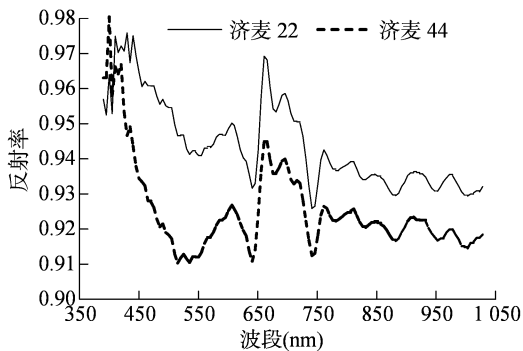


图 5 不同品质类型小麦籽粒光谱曲线变化

3 结论与讨论

近 5 年来,我国小麦产量一直呈现稳步递增趋

势,这得益于我国对种植结构和种子的不断优化。虽然 2018—2020 年,小麦种植面积呈现下降趋势,但产量方面仍保持上涨,保障了我国的粮食安全。2023 年小麦收获之际,我国小麦主产区很多地方经历连续降水天气,特别是豫南部分地区麦田积水,小麦出现倒伏、发霉现象,影响了产量和品质。山东地区小麦收获期间,基本未经历强降水天气,从而保证了小麦产量和品质,说明生长区域及环境对小麦产量和品质会产生较大影响。因此,了解生态区及环境因子对小麦产量和品质的影响,可为山东省小麦品种的合理布局 and 有效利用提供科学依据,对小麦的产质同增起积极的推动作用^[19-21]。关于生态环境对小麦品质影响的研究主要集中于纬度、海拔、温度、光照、降水等方面。赵春研究了基因型、环境及其互作对小麦氮代谢关键酶活性、产量及主要品质性状的影响,发现胶东地区的小麦产量潜力发挥得更好,明显高于其他种植区^[22]。本研究发现,胶东地区小麦在产量三要素穗数、每穗粒数、千粒重均较高的情况下,平均产量也最高,为 771.90 kg/667 m²。在小麦品质方面,胶东地区在产量较高的基础上,蛋白质含量、湿面筋含量、沉淀值、面团的形成时间和稳定时间均较低,且全山东省小麦品质指标的变异系数均较低;说明生态区环境对小麦品质的影响相对较小,品质差异的大小主要受品种即基因型的影响。为研究同一品种在不同生态区的品质表现特征,选择山东省种植面积较大的济麦 22 和近 3 年在山东省种植面积最大的强

筋小麦济麦 44 作为研究对象,2 个品种在山东省不同生态区的品质分布特征表明,济麦 22 各品质指标变异系数均在 8% 以下,济麦 44 的面筋指数、沉淀值变异系数分别为 13.92%、11.70%,略高于济麦 22,其他品质指标变异系数也在 8% 以下,说明济麦 22 在各生态区表现比较稳定,济麦 44 的稳定性略低于济麦 22,受生态区环境影响相对较大。总体上,蛋白质含量、湿面筋含量较高的地区,面筋指数不一定高;相反,面筋指数高的地区,湿面筋含量也不一定高。

研究无损、快速识别小麦品质类型的方法,拟解决小麦品质识别模型代表性差、多品种之间识别度低等问题。前人对基于近红外光谱或高光谱成像技术的小麦籽粒品种鉴别分类方法进行了系统、深入的研究^[23-26]。本研究采用了广泛应用于小麦品质检测的近红外光谱技术,以济麦 22、济麦 44 为例,通过检测 2 个品种的光谱反射率,发现 2 个品质类型小麦的光谱曲线在不同光谱范围内的变化趋势一致,与梁显丽等对 5 种小麦籽粒的特征光谱反射率的研究^[27]具有一致性的结论;但本研究品质类型不同,光谱曲线差异较大,济麦 44 光谱反射率低于济麦 22,通过光谱反射率变化情况可初步识别小麦品质类型。从收储和加工角度分析,通过识别确定品质类型,可以决定收购价格,同时利于分配仓储;结合实验室检测结果,决定加工过程中的配粉比例,从而可提高生产、储存与加工各环节的质量,降低损失率,同时确保优质优价^[27-28]。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 关于 2022 年粮食产量数据的公告[EB/OL]. 国家统计局. (2022-12-12)[2024-01-18]. http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t0230203_1901673.html.
- [2] 赵一静,王晓利,侯西勇,等. 2003—2019 年山东省冬小麦关键物候期时空特征[J]. 生态学报,2021,41(19):7785-7795.
- [3] 何中虎,林作楫,王龙俊,等. 中国小麦品质区划的研究[J]. 中国农业科学,2002,35(4):359-364.
- [4] 吴天琪,郭洪海,张希军,等. 山东省优质专用小麦种植区划研究[J]. 中国农业资源与区划,2002,23(5):1-5.
- [5] 赵君实,荆淑民,王法宏. 山东小麦生态区划的研究[J]. 山东农业科学,1992(6):3-8.
- [6] 李永庚,于振文,梁晓芳,等. 山东省强筋小麦种植区划研究[J]. 山东农业科学,2001(5):3-9.
- [7] 王妍,张晓龙,石嘉丽,等. 中国冬小麦主产区气候变化及其对小麦产量影响研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2022,30(5):723-734.
- [8] 乔玉强,马传喜,司红起,等. 基因型和环境及其互作效应对小麦品质的影响及品质稳定性分析[J]. 激光生物学报,2008,17(6):768-774.
- [9] 张学林,王晨阳,郭天财,等. 生态因子对不同冬小麦品种面粉拉伸参数的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(12):2971-2976.
- [10] 雷振生,吴政卿,田云峰,等. 生态环境变异对优质强筋小麦品质性状的影响[J]. 华北农学报,2005,20(3):1-4.
- [11] 南镇武,梁斌,刘树堂,等. 长期定位施肥对冬小麦籽粒品质的影响[J]. 华北农学报,2015,30(4):162-167.
- [12] 施德云,徐波,王其飞,等. 浙江省不同生态条件对小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(6):775-783.
- [13] 臧贺藏,曹廷杰,张杰,等. 不同生态条件下小麦新品种产量的基因型与环境互作分析[J]. 华北农学报,2021,36(6):88-95.
- [14] 郭东岳,王桂荣,李敏,等. 河北省小麦产量区域分布及影响因素分析[J]. 农业科技管理,2021,40(5):54-58.
- [15] 千怀遂,魏东岚. 气候对河南省小麦产量的影响及其变化研究[J]. 自然资源学报,2000,15(2):149-154.
- [16] 赵广才,常旭虹,刘利华,等. 河北省小麦品质生态区划研究[J]. 麦类作物学报,2007,27(6):1042-1046,1058.
- [17] 熊淑萍,高明,张志勇,等. 基于 GIS 的河南省小麦产量及产量构成要素时空差异分析[J]. 中国农业科学,2022,55(4):692-706.
- [18] 中华人民共和国国家市场监督管理总局. 中华人民共和国国家标准:GB 1351—2023 小麦国家标准[S]. 北京:中国标准出版社,1999.
- [19] 田纪春,胡瑞波,陈建省,等. 小麦粉面团稳定时间的变化及其稳定性分析[J]. 中国农业科学,2005,38(11):2165-2172.
- [20] 张素瑜,靳海洋,崔静宇,等. 不同生态环境对强筋小麦产量和品质的影响[J]. 河南农业科学,2022,51(7):22-30.
- [21] 常莹莹,王永华,王永霞,等. 黄淮砂姜黑土区强筋小麦品质现状及基因型与环境效应[J]. 麦类作物学报,2018,38(1):105-112.
- [22] 赵春. 不同生态条件下小麦品质形成的特征、调节及其生理基础[D]. 泰安:山东农业大学,2005.
- [23] 吴永清,李明,贺媛媛,等. 基于高光谱成像技术的小麦籽粒品种鉴别方法研究[J]. 中国粮油学报,2021,36(4):133-138.
- [24] 董高,郭建,王成,等. 基于近红外高光谱成像及信息融合的小麦品种分类研究[J]. 光谱学与光谱分析,2015,35(12):3369-3374.
- [25] 黄敏,夏超,朱启兵,等. 融合高光谱图像技术与 MS-3DCNN 的小麦种子品种识别模型[J]. 农业工程学报,2021,37(18):153-160.
- [26] 沈广辉,曹瑶瑶,刘馨,等. 近红外高光谱成像结合特征波长筛选识别小麦赤霉病粒[J]. 江苏农业学报,2021,37(2):509-516.
- [27] 梁显丽,宝秋利,秦丽. 小麦籽粒特征光谱与生理生化指标对应关系模型的研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(3):78-81.
- [28] 臧园园. 近红外光谱技术在小麦品质检测中的应用进展[J]. 粮食与食品工业,2023,30(1):22-27.