

中国小麦主产省不同类型冬小麦品质空间分布特征分析

胡莉婷¹, 姬兴杰^{1,2}, 胡学旭³, 左璇², 李凤秀²

(1. 河南省气象科学研究所/中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南郑州 450003; 2. 河南省气候中心, 河南郑州 450003; 3. 中国农业科学院作物科学研究所/农业部谷物产品质量安全风险评估实验室, 北京 100081)

摘要:了解冬小麦品质在不同类型间和不同区域间的变化规律, 可为小麦的优质种植和区划研究提供科学指导依据。选取 2006—2015 年中国河南、河北、山东、安徽和江苏 5 个冬小麦主产省份内各縣市强筋、中筋、中筋和弱筋小麦的 10 个品质指标资料, 运用相关分析, 探讨品质指标的空间分布特征及其与经度、纬度的关系。结果表明, 强筋和中筋小麦的沉淀值、湿面筋含量、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积和延伸性均在河南、河北或山东较高, 而中筋和弱筋小麦的上述品质指标在安徽或江苏较高。4 种类型小麦的大多数品质指标与经度、纬度存在显著相关关系 ($P < 0.05$), 其中容重和蛋白质含量均与纬度呈显著正相关, 与经度呈极显著负相关 ($P < 0.01$); 随纬度增加, 强筋和中筋小麦的湿面筋含量、延伸性和评分均显著增大, 中筋和弱筋小麦的沉淀值、最大拉伸阻力和拉伸面积均显著降低; 随经度增加, 强筋小麦的湿面筋含量、吸水量、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积、延伸性和评分均显著降低, 而中筋、中筋和弱筋小麦的部分品质指标值 (沉淀值、最大拉伸阻力和拉伸面积) 均显著增加。总的来说, 河北、河南和山东适宜发展强筋和中筋小麦, 安徽和江苏适宜发展中筋或弱筋小麦。

关键词: 冬小麦; 品质; 空间分布; 经度; 纬度

中图分类号: S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)07-0857-13

Spatial Distribution of Quality Characteristics of Different Types Winter Wheat Cultivars in Major Wheat Producing Provinces of China

HU Liting¹, JI Xingjie^{1,2}, HU Xuexu³, ZUO Xuan², LI Fengxiu²

(1. Henan Institute of Meteorological Science/CMA Key Laboratory of Agrometeorological Ensuring and Applied Technique, Zhengzhou, Henan 450003, China; 2. Henan Provincial Climate Centre, Zhengzhou, Henan 450003, China; 3. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Cereal Products, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: The variation characteristics of winter wheat quality among different types and different areas can be a hint to guide the study on high quality planting and zoning of different wheat varieties. Based on the quality data of winter wheat in five main wheat producing provinces from 2006 to 2015, we used correlation analysis to explore the spatial distribution characteristics of 10 quality traits and the relationship between wheat quality and longitude and latitude. The results showed that the sedimentation value, wet gluten content, stability time, maximum tensile resistance, stretch area and extensibility of strong gluten and medium-strong gluten wheat were higher in Henan, Hebei or Shandong, while those of medium gluten and weak gluten wheat were higher in Anhui or Jiangsu. Most quality indicators of the four types of gluten wheat were significantly correlated with longitude and latitude ($P < 0.05$), with test weight and protein content significantly positively correlated with latitude

收稿日期: 2024-05-11 修回日期: 2024-07-02

基金项目: 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放研究基金项目 (AMF201702, AMF202205, AMF202206); 河南省科技研发计划联合基金项目 (232103810094)

第一作者 E-mail: hlt0114@163.com (胡莉婷)

通讯作者 E-mail: jixingjie2004@aliyun.com (姬兴杰)

($P < 0.05$) and significantly negatively correlated with longitude ($P < 0.01$). With increasing latitude, the wet gluten content, extensibility and score of strong gluten and medium-strong gluten wheat increased significantly, while the sedimentation value, maximum tensile resistance and stretch area of medium gluten and weak gluten wheat decreased significantly. With the increase of longitude, the wet gluten content, water absorption, stability time, maximum tensile resistance, stretch area, extensibility and score of strong gluten wheat were significantly decreased, while the sedimentation value, maximum tensile resistance and stretch area of medium-strong gluten, medium gluten and weak gluten wheat were significantly increased. Therefore, it is suitable to plant strong gluten and medium-strong gluten wheat in Hebei, Henan and Shandong, and medium gluten or weak gluten wheat in Anhui and Jiangsu.

Keywords: Winter wheat; Quality; Spatial distribution; Longitude; Latitude

小麦是中国主要粮食作物之一,其产量和品质对保障中国粮食安全和国计民生稳定极为重要。中国小麦种植区域辽阔,其中河北、河南、山东、安徽和江苏是冬小麦主产省份,2022 年其播种面积及产量分别占全国冬小麦生产的 73.0% 和 80.0%^[1]。

品质是小麦育种和生产的重要目标性状。21 世纪以来,中国小麦育种和生产由高产多抗为主向高产优质转变,逐步注重品质的提高^[2];相关学者基于多年统计数据或田间试验数据对中国小麦生产质量状况进行研究,分析了年度、地区间小麦品质差异^[3-5],探究了影响小麦品质的主要因素^[6-8],为中国小麦高产优质栽培提供了一定的科学支持。随着人们对小麦制品质量要求的提高,小麦籽粒品质引起了小麦生产者、科研工作者、加工企业和消费者的广泛重视。

中国冬小麦分布面积较广,依据品质特性可划分为强筋、中强筋、中筋和弱筋 4 种类型,其中强筋、中强筋和中筋小麦主要分布在北部冬麦区和黄淮冬麦区,弱筋小麦主要分布在长江中下游冬麦区和西南冬麦区。目前,由于冬小麦品种繁多且布局不合理,导致小麦品质存在“强筋不强、弱筋不弱”的现象^[9]。遗传和环境是影响小麦品质的主要因素,其中遗传受基因型控制,环境与地理位置、气候条件、栽培措施等因素密切相关。近年来,针对基因型^[10-11]、气候条件^[12-13]、栽培措施^[14-15]与小麦品质的关系已有较为系统且全面的研究,而在地理位置方面,相关研究主要集中于不同地区的光、温、水等气象因素的影响^[16-17],鲜有从经纬度角度综合考虑气象、土壤等多种地理因素与小麦品质的关系。加强不同类型小麦品质特性空间分布规律及其与地理位置关系的研究可为

小麦育种和优势区域布局提供重要依据。

已有的小麦品质特性相关研究大多局限于部分种植省份、品种类型或品质指标,关于小麦品质跨品种、跨区域的空间分布特征及其与地理位置(经度和纬度)的综合分析少有报道。为此,本研究选取 2006—2015 年中国河南、河北、山东、安徽和江苏 5 个冬小麦主产省内强筋、中强筋、中筋、弱筋 4 种类型小麦的 10 个籽粒品质资料,在多品种、大区域尺度上分析不同品种和区域间冬小麦籽粒品质的分布规律,并探析不同筋型小麦的品质指标与经纬度之间的关系,以期优化小麦品种布局和发展优质小麦生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域覆盖华北北部强筋麦区、黄淮北部强筋和中筋麦区、黄淮南部中筋麦区、长江中下游中筋和弱筋麦区内的河北、山东、河南、安徽和江苏 5 个省份。该区域气候适宜,雨热同季,冬小麦生育期降水 100~300 mm(图 1)。

1.2 数据来源

选用 2006—2015 年上述 5 个省内 4 种不同类型冬小麦的品质资料,包含籽粒品质(容重和蛋白质含量)、面粉特性(沉淀值和湿面筋含量)、面团品质(吸水量、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积和延伸性)和评分^[10]共 10 个品质指标。数据来源于中国农业科学院作物科学研究所/农业部谷物品质监督检验测试中心,强筋(SG)、中强筋(MSG)、中筋(MG)、弱筋(WG)冬小麦的样本数分别为 165 个、177 个、309 个和 71 个,具体取样点分布情况如图 1,其中冬小麦品质取样点的经纬度数据选用临近县级气象站点经纬度代替。

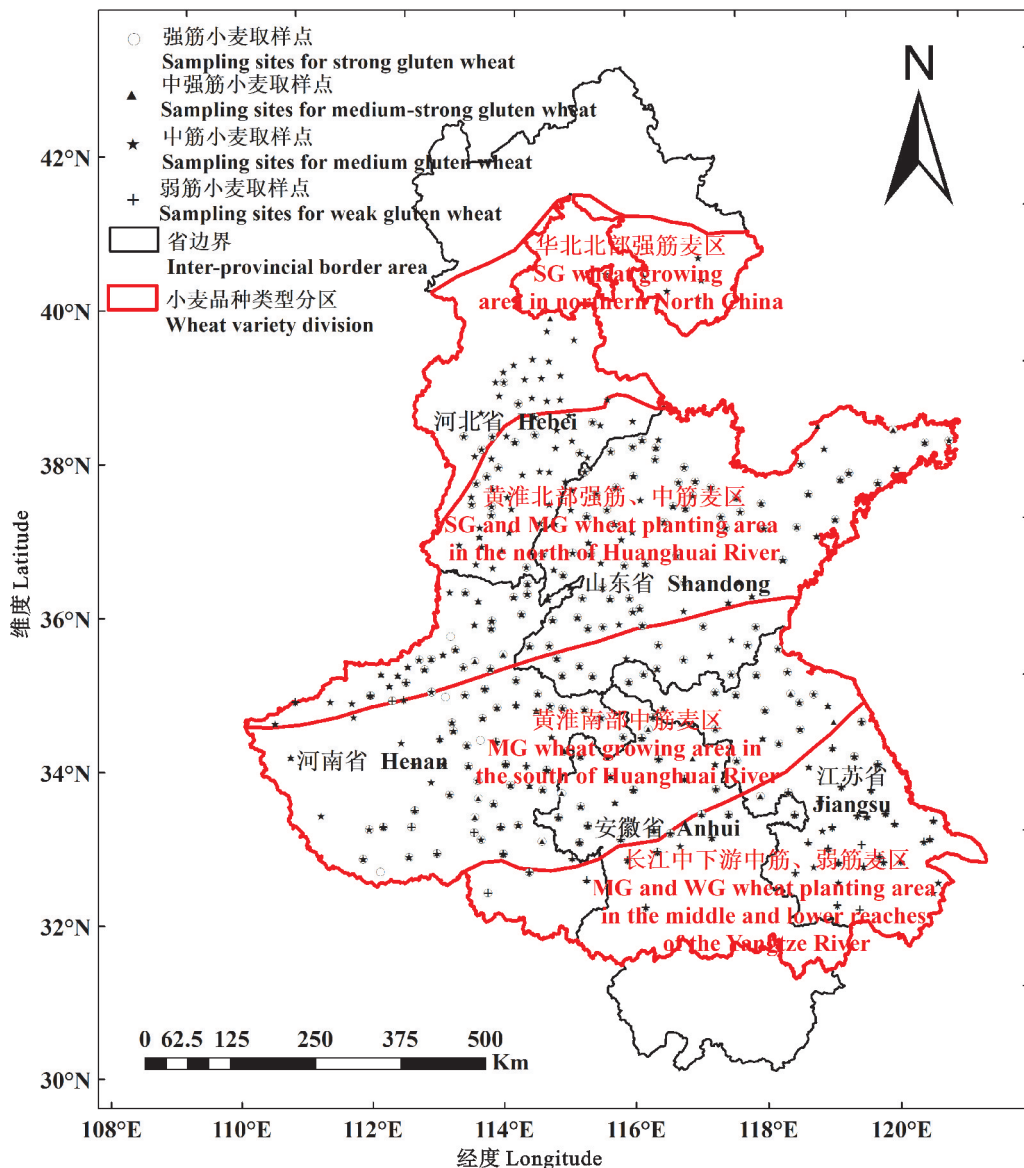


图 1 本研究不同类型小麦取样点的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of sampling sites of different gluten-type winter wheat in this study

1.3 研究方法

利用 Excel 进行数据整理和统计分析;采用 SPSS 进行相关分析和方差分析;利用 ArcGIS 软件和克里金插值方法绘制空间分布图。

2 结果与分析

2.1 不同类型小麦的品质差异

2006—2015 年,5 个省的强筋、中强筋和中筋小麦间容重无显著差异,均显著大于弱筋小麦(表 1);中强筋和弱筋小麦容重在地区间的变异系数较大(分别为 1.96% 和 1.79%),强筋和中筋小麦容重的变异系数相对较小(分别为 1.55% 和 1.43%)。4 种类型小麦间蛋白质含量差异显著,

表现为强筋>中筋>中强筋>弱筋,中筋小麦蛋白质含量的变异系数(4.92%)相对较小,弱筋小麦蛋白质含量的变异系数(8.24%)最大。小麦的沉淀值表现为强筋>中强筋>中筋>弱筋,且不同类型间差异显著,弱筋小麦沉淀值的变异系数较大。强筋和中筋小麦湿面筋含量均显著高于弱筋小麦;弱筋小麦湿面筋含量在不同地区间变化幅度较大。不同类型小麦的吸水量和稳定时间均存在显著差异,吸水量表现为强筋>中筋>中强筋>弱筋,稳定时间表现为强筋>中强筋>中筋>弱筋,其中强筋和弱筋小麦稳定时间的变异系数较大(分别为 42.86% 和 45.19%),中强筋和中筋的变异系数较小(分别为 29.55% 和 27.27%)。

最大拉伸阻力和拉伸面积均表现为强筋>中强筋>中筋>弱筋,且弱筋小麦在地区间变化幅度较大。延伸性表现为强筋>中筋>弱筋>中强筋,其中弱筋小麦延伸性变异系数较大。小麦品质评分表现为中强筋>强筋>中筋>弱筋,且在不同

筋型间差异显著,强筋和弱筋的变异系数较大(分别为12.20%和10.15%),中强筋和中筋的变异系数较小(分别为7.72%和6.11%)(表1)。整体来看,小麦的籽粒品质和面粉特性受品种类型影响较大,弱筋小麦籽粒品质在地区间稳定性较低。

表1 2006—2015年5个冬小麦主产省内小麦的品质特征

Table 1 Characteristics of winter wheat quality in five provinces from 2006—2015

品质指标 Quality trait	类型 Type			
	SG	MSG	MG	WG
容重 Test weight/(g · L ⁻¹)	796.6 ± 12.4a	797.8 ± 15.6a	795.3 ± 11.4ab	792.9 ± 14.2b
蛋白质含量 Protein content/%	14.4 ± 0.9a	13.7 ± 1.0c	14.0 ± 0.7b	12.6 ± 1.0d
沉淀值 Sedimentation value/mL	40.6 ± 4.8a	31.1 ± 3.5b	28.6 ± 3.3c	23.1 ± 5.6d
湿面筋含量 Wet gluten content/%	30.9 ± 1.9a	29.2 ± 2.6b	31.3 ± 2.0a	26.8 ± 2.8c
吸水量 Water absorption/(g · mL ⁻¹)	60.2 ± 1.9a	57.4 ± 2.6c	58.8 ± 2.3b	54.8 ± 2.3d
稳定时间 Stability time/min	11.9 ± 5.1a	6.6 ± 2.0b	3.3 ± 0.9c	2.7 ± 1.2c
最大拉伸阻力 Maximum tensile resistance/E. U	509.5 ± 125.3a	358.4 ± 90.3b	225.1 ± 59.1c	214.1 ± 72.0c
拉伸面积 Stretch area/cm ²	108.0 ± 27.9a	66.8 ± 15.9b	49.5 ± 12.6c	44.3 ± 15.7d
延伸性 Extensibility/mm	159.5 ± 11.9a	137.6 ± 11.4d	154.0 ± 13.2b	142.6 ± 16.5c
评分 Score	77.2 ± 9.4b	82.2 ± 6.3a	73.8 ± 4.5c	71.3 ± 7.2d

同行数据后不同字母表示不同类型小麦间在0.05水平差异显著。SG:强筋;MSG:中强筋;MG:中筋;WG:弱筋。下同。

Different letters following data in same lines indicate significant difference among different wheat types at 0.05 level. SG: Strong gluten; MSG: Medium to strong gluten; MG: Medium gluten; WG: Weak gluten. The same below.

2.2 冬小麦品质空间分布特征

2.2.1 品质指标的整体特征

由图2可知,相同类型小麦的同一品质指标在不同省份间的表现不一致,不同类型小麦的同一品质指标在不同省份间的差异程度亦不同。河南省中强筋小麦容重显著高于河北、山东、安徽和江苏($P < 0.05$),河北和河南省的强筋、中筋小麦容重显著高于安徽和江苏(图2A)。4种类型小麦的蛋白质含量均表现为在河北、河南或山东较高,且显著高于安徽和江苏(图2B)。整体表明,河北、河南、山东省的强筋、中强筋和中筋小麦的籽粒品质显著优于安徽和江苏。

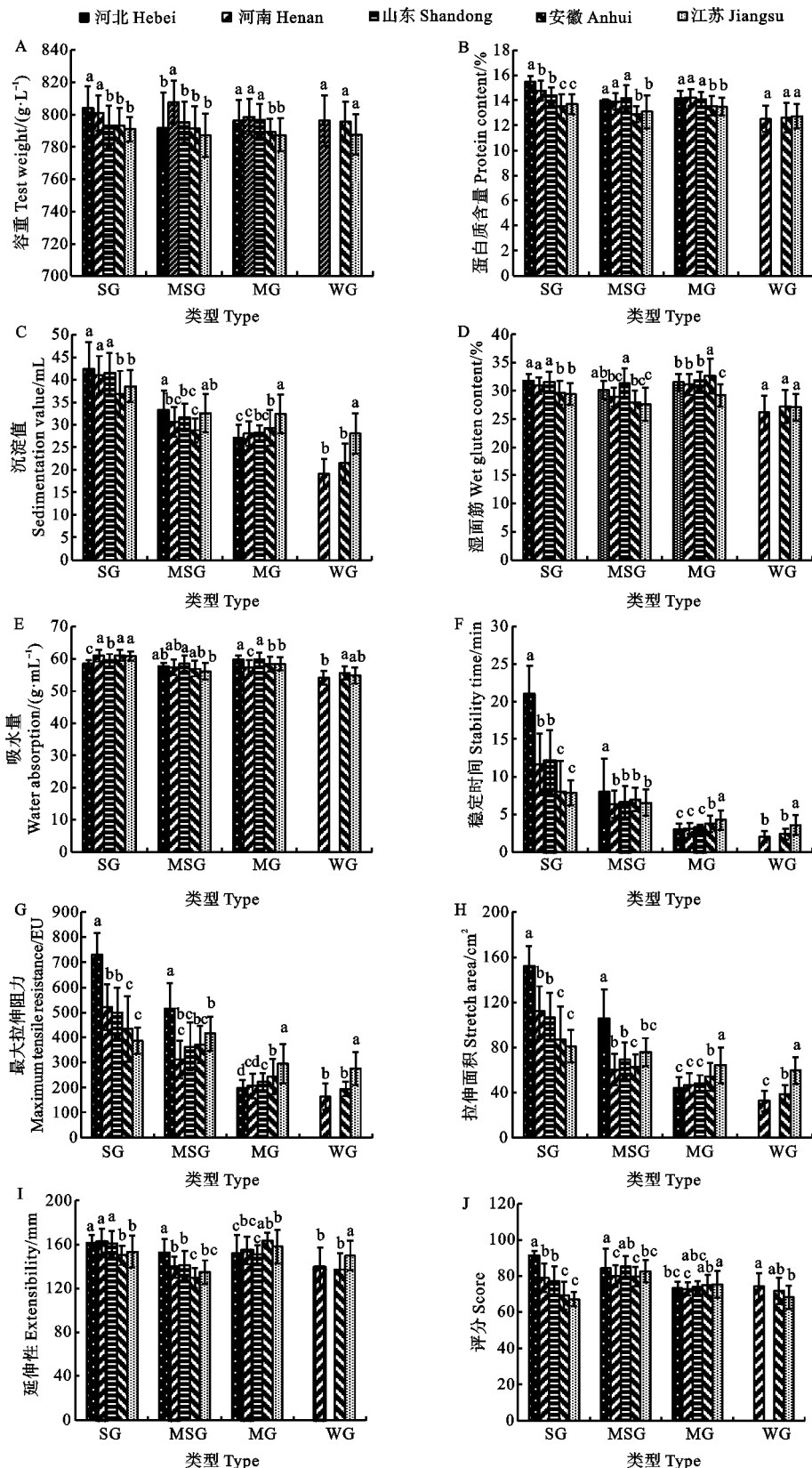
河北省强筋和中强筋小麦的沉淀值显著高于其他地区,江苏省中筋和弱筋小麦沉淀值显著高于其他省份(图2C)。中强筋和中筋小麦湿面筋含量在山东和安徽省较高,在江苏省最低,且显著低于其他省份(图2D)。

4种类型小麦面团的吸水量在不同省份间变化幅度较小(图2E)。强筋、中强筋小麦的稳定时

间、最大拉伸阻力和拉伸面积均在河北省最高,且显著高于其他省份;中筋、弱筋小麦3个指标均表现为在江苏省最高,且显著高于其他省份(图2F~图2H)。中强筋小麦延伸性在河北省最强,安徽省最弱(图2I)。不同类型小麦的评分在不同省份间的表现差异较大,强筋和中强筋小麦评分在河北省最高,中筋小麦在江苏省最高,弱筋小麦在河南省最高(图2J)。

2.2.2 品质指标的空间分布特征

由图3可知,5省内强筋冬小麦的容重呈现西高东低的特征,随经度增加而减少。蛋白质含量、沉淀值、湿面筋含量、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积、延伸性和评分整体上均呈现以安徽省部分区域(31°N~35°N, 116°E~118°E)为中心,向四周不断增加。吸水量呈现西高东低、南高北低的特征,随经度和纬度增加而减少。除容重和吸水量外,强筋小麦品质指标的高点均集中在河北省中部地区,最低点集中在江苏北部和安徽中北部地区(淮河与长江之间地区)。



相同类型图柱上不同字母表示省份间差异在 0.05 水平显著。

Different letters above columns of same type indicate significant difference among provinces at 0.05 level.

图 2 2006—2015 年 5 省份不同类型冬小麦的品质性状

Fig. 2 Quality traits of winter wheat with different wheat gluten types from five provinces in 2006–2015

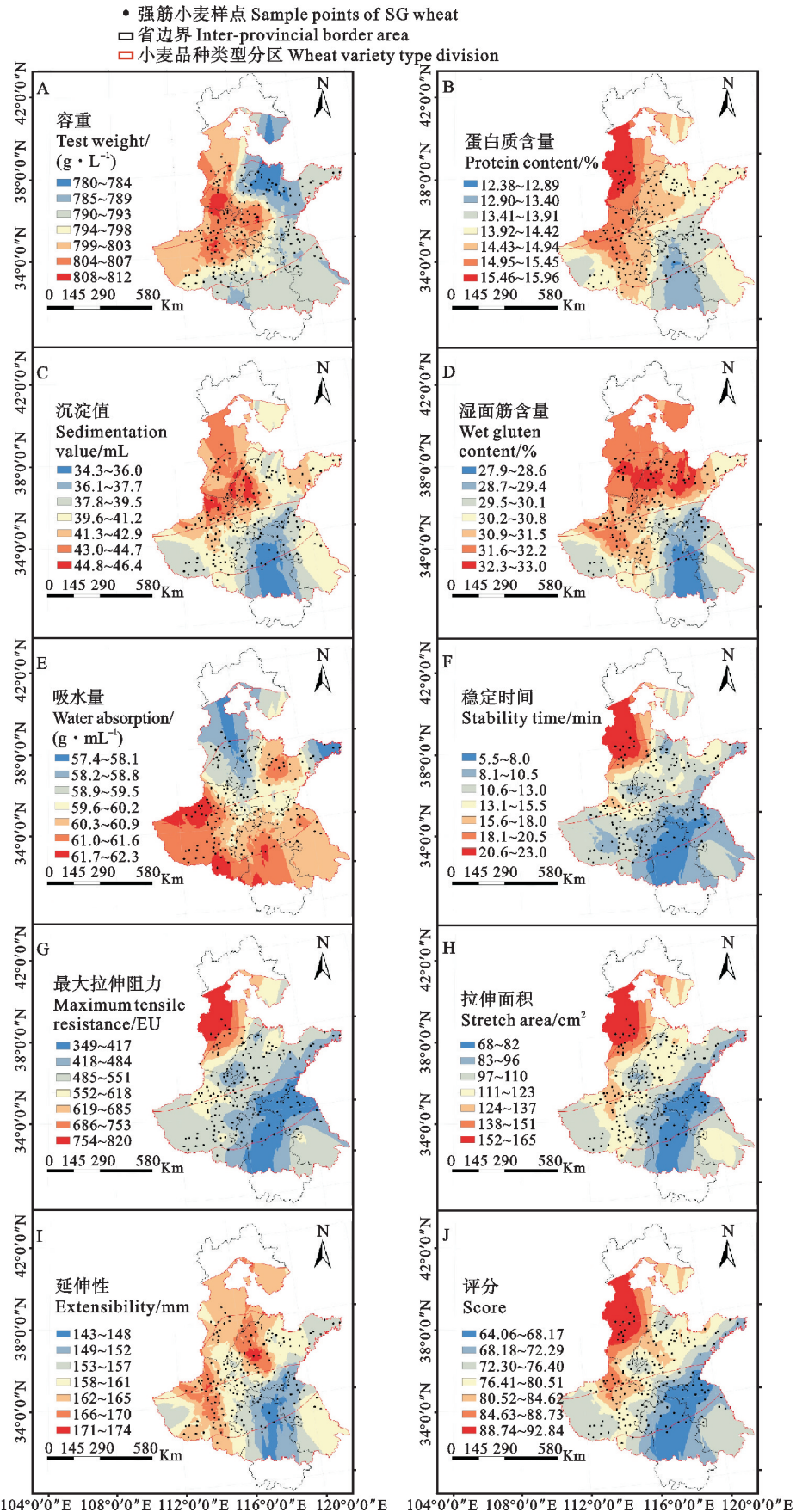


图 3 2006—2015 年 5 省强筋冬小麦品质指标的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of quality traits of strong-gluten winter wheat in five provinces in 2006–2015

中强筋冬小麦的容重呈现以黄淮北部强筋、中筋麦区的西部区域为中心向四周逐渐降低的趋势。蛋白质含量、湿面筋含量、吸水量和延伸性均呈现北高南低,随纬度增加而增加的趋势。沉淀值、最大拉伸阻力、拉伸面积和评分呈现北高南低、东高西低的特征,随纬度、经度的增加均呈增加趋势。稳定时间在黄淮北部强筋、中筋麦区和长江中下游中筋、弱筋麦区较低,在华北北部强筋麦区和黄淮南部中筋麦区较高,随纬度和经度的变化无明显规律性特征(图4)。

中筋小麦的容重呈现以西部为中心向北部、南部和东部逐渐降低的趋势。蛋白质含量和湿面筋呈现出西高东低、北高南低的特征,随经度增加而减少,随纬度增加而增加;沉淀值、稳定时间、最大拉伸阻力和拉伸面积的空间分布情况正好与上述品质指标相反,均呈现出东高西低、南高北低的特征,随经度增加而增加,随纬度增加而减少。吸水量呈现北高南低的特征,而延伸性呈现南高北低的特征。评分随经纬度的变化规律不明显,其最高值集中在研究区域的最北部和东南区域,最低值集中在山东东部(图5)。

弱筋小麦的容重呈现从西北向东南逐渐降低的趋势,蛋白质含量和湿面筋含量整体上呈现出北高南低的特征,随纬度增加而增加。沉淀值、稳定时间、最大拉伸阻力和拉伸面积呈现出西低东高、北低南高的特征,随经度增加而增加,随纬度增加而减少;吸水量和延伸性随经纬度的变化规律不明显,吸水量由中部地区(115°E~119°E)向东西方向逐渐降低,延伸性由中部地区向西北和东南方向逐渐增高。评分呈现出西高东低的特征(图6)。

2.3 小麦品质与经纬度的关系

由图7A可知,4种类型小麦的多数品质指标与纬度、经度存在显著相关性。强筋、中强筋、中筋、弱筋小麦分别有8个、6个、4个、2个品质指标与纬度呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关,有1个、0个、5个、3个品质指标与纬度呈显著或极显著负相关。强筋小麦品质指标(除容重和吸水量外)均与纬度呈显著或极显著正相关,仅吸水量与纬度呈极显著负相关;中强筋小麦的容重、蛋白质含量、湿面筋含量、吸水量、延伸性和评分与纬度呈极显著正相关;中筋小麦的容重、蛋白质含量、湿面筋含量、吸水量与纬度呈极显著正相关,沉淀值、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面

积和延伸性与纬度呈极显著负相关;弱筋小麦仅容重和蛋白质含量与纬度呈极显著和显著正相关,弱筋小麦沉淀值、最大拉伸阻力和拉伸面积与纬度呈极显著负相关。综上所述,4种类型小麦籽粒的蛋白质含量随纬度增加均呈升高趋势,这主要是由于纬度增加导致从南向北的环境条件均逐渐变化,造成北方冬小麦蛋白质积累速率快于南方^[5];纬度较高的区域,强筋和中强筋小麦的面粉特性指标、面团品质指标和评分也较高,中筋和弱筋小麦的面团品质指标较低。

强筋、中强筋、中筋、弱筋小麦分别有0个、3个、4个、4个品质指标与经度呈极显著正相关,有9个、3个、3个、2个品质指标与经度呈显著或极显著负相关。强筋小麦的品质指标(除沉淀值外)均与经度呈显著或极显著负相关;中强筋小麦的沉淀值、最大拉伸阻力和拉伸面积与经度呈极显著正相关,容重、蛋白质含量和吸水量与经度呈极显著负相关;中筋和弱筋小麦的沉淀值、稳定时间、最大拉伸阻力和拉伸面积与经度均呈极显著正相关,中筋小麦的容重、蛋白质含量和湿面筋含量与经度呈极显著负相关,弱筋小麦的容重和评分与经度呈极显著负相关。整体上看,区域经度越大,4种类型小麦的籽粒容重和蛋白质含量越低,强筋小麦的面粉特性指标、面团品质指标和评分也越低,但中强筋、中筋和弱筋小麦的面团品质指标越高。

3 讨论

品种类型是影响小麦品质的主要因素之一^[12-14]。本研究对中国小麦主产省内不同类型小麦的品质进行分析,发现同一地区内不同类型的小麦品质存在较大差异;4种类型小麦比较,沉淀值、吸水量、稳定时间、最大拉伸阻力和拉伸面积均表现为强筋小麦最高,弱筋小麦最低,而容重在强筋、中强筋和中筋小麦间差异不大,这表明面粉特性和面团品质可作为中国小麦品质评价的参考指标,而容重不是小麦品质评价的限制指标,这与胡学旭等^[6,11]研究结果相同。此结果可为中国优质小麦育种提供参考。

中国冬小麦种植区域广泛,不同省份间生态环境、土壤状况等差异较大,导致小麦品质在省份间存在明显差异^[18]。本研究发现,强筋和中强筋小麦主要分布在华北北部强筋麦区、黄淮北部强筋和中筋麦区和黄淮南部中筋麦区,弱筋小麦主

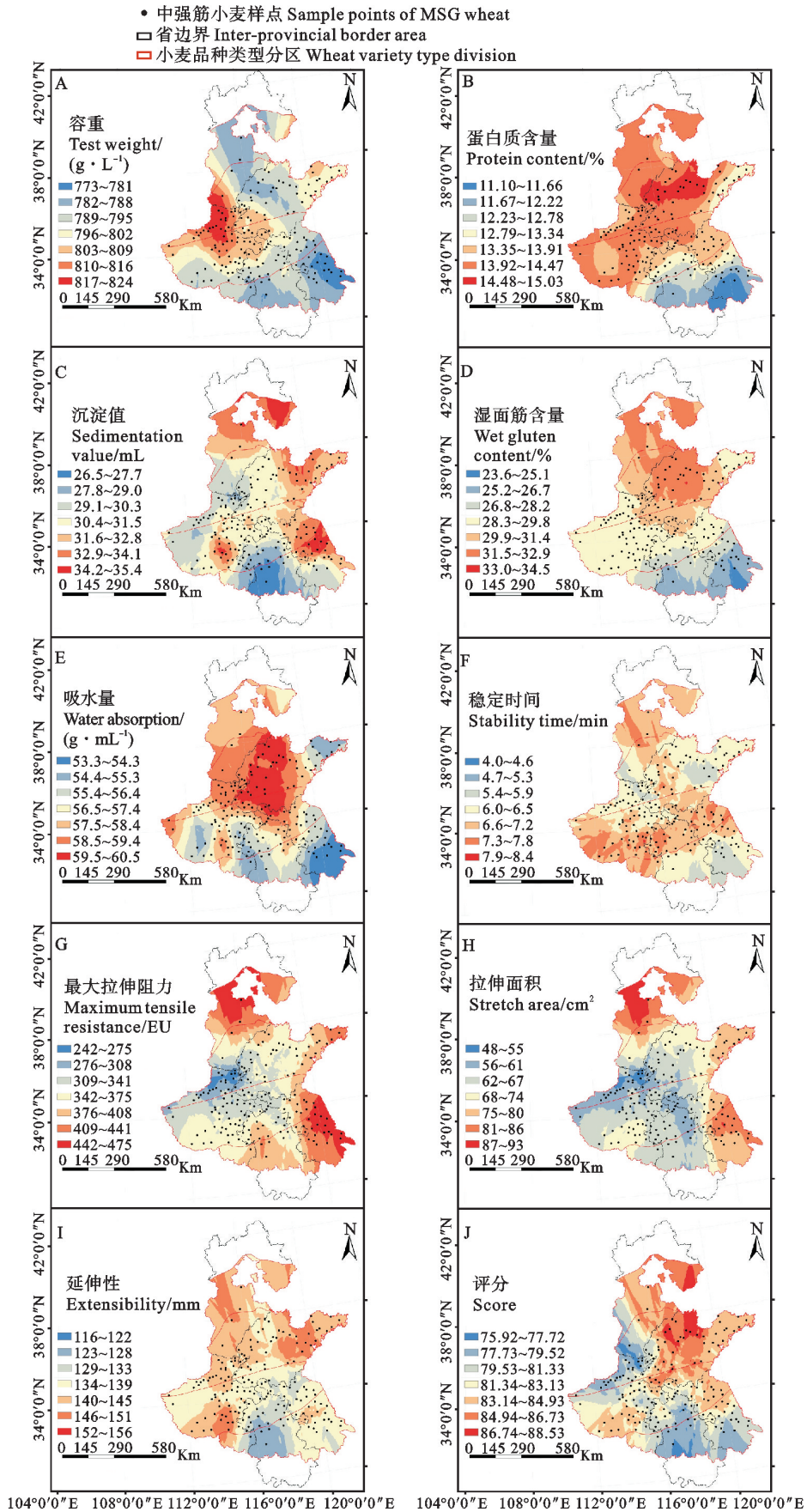


图 4 2006—2015 年中国主产省中强筋冬小麦品质指标的空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution of quality traits of medium-to-strong gluten winter wheat in five provinces in 2006–2015

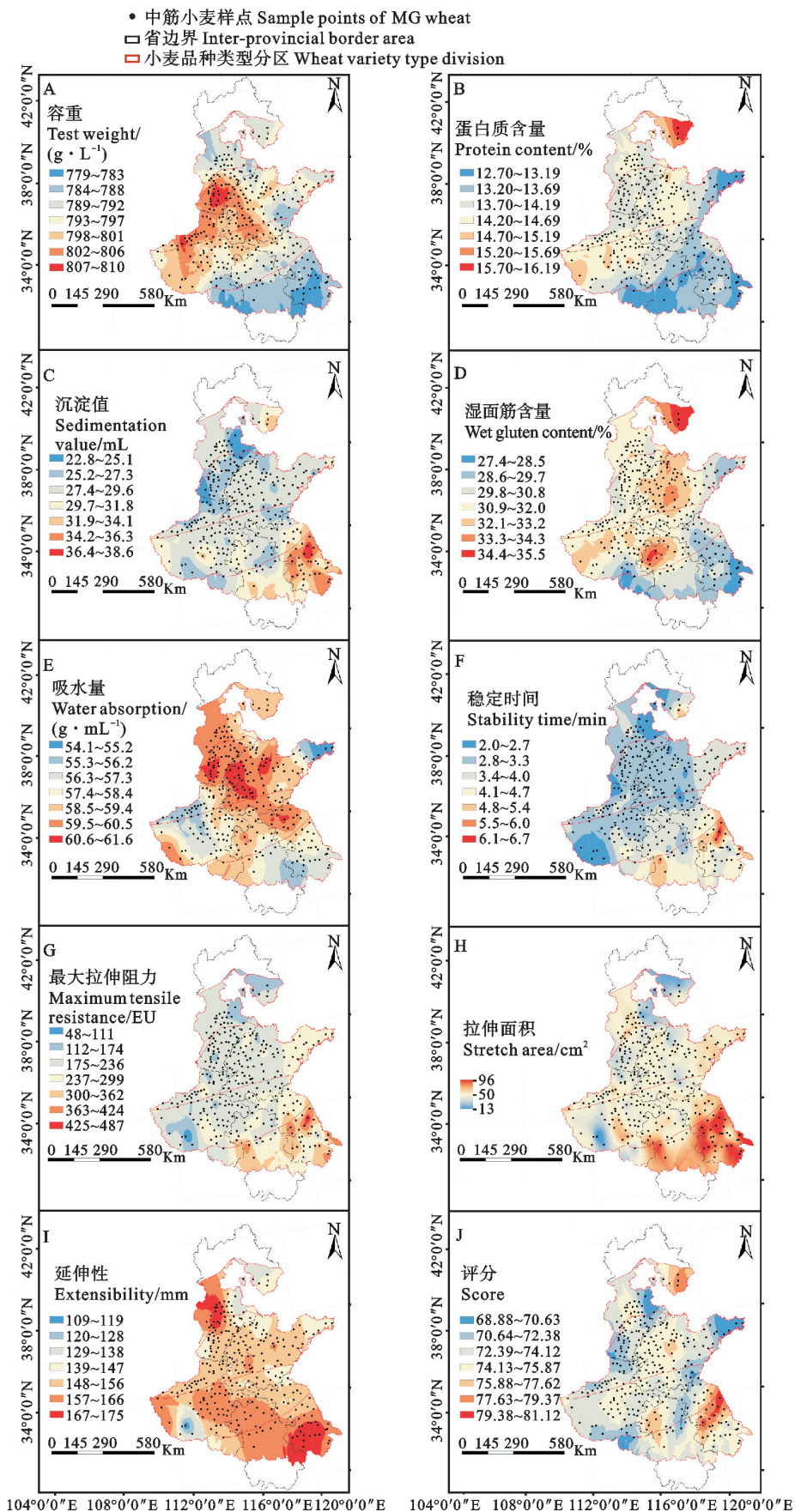


图 5 2006—2015 年中国主产省中筋冬小麦品质指标的空间分布特征

Fig. 5 Spatial distribution of quality traits of medium-gluten winter wheat in five provinces in 2006—2015

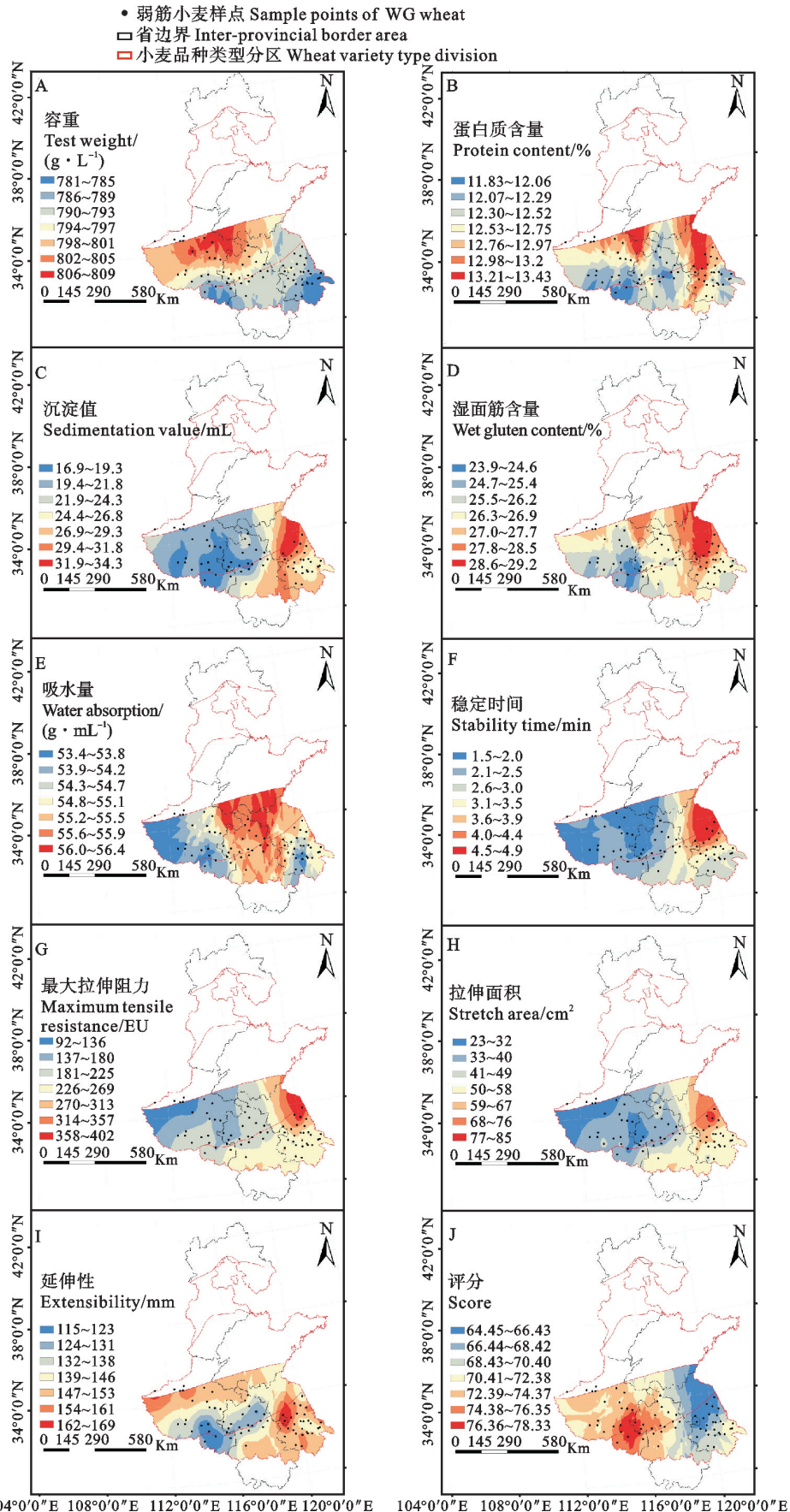


图 6 2006—2015 年 5 省弱筋冬小麦品质指标的空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution of quality traits of weak-gluten winter wheat in five provinces in 2006—2015

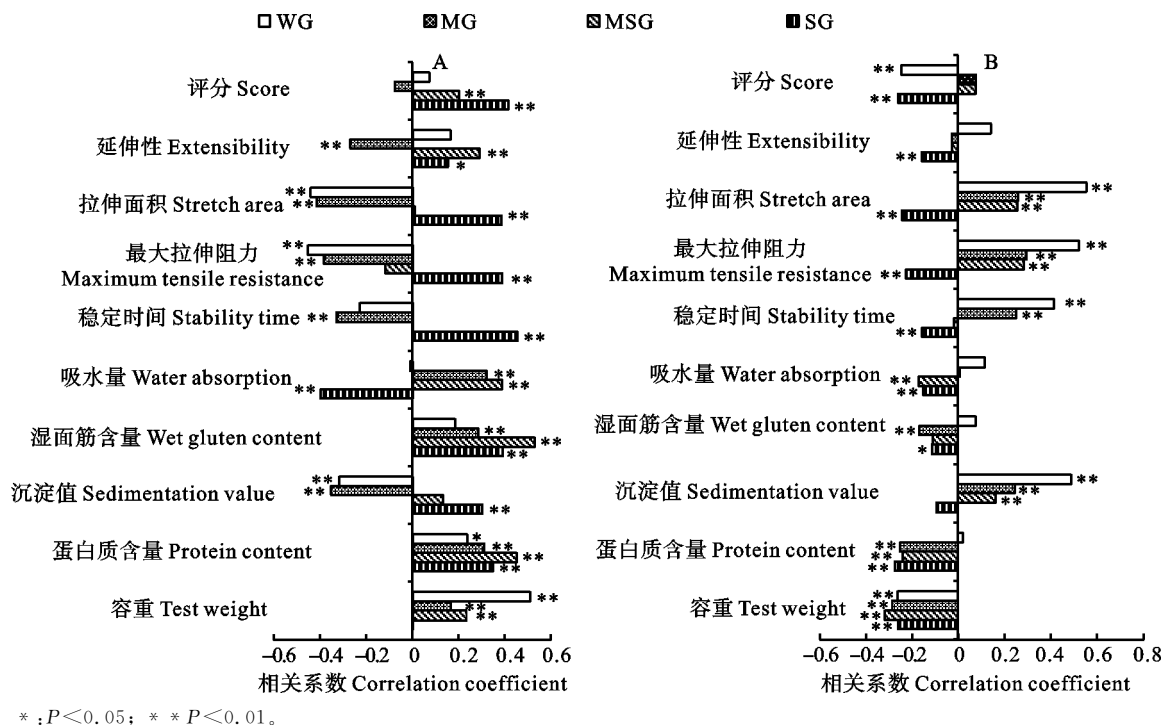


图 7 5 省冬小麦品质指标与纬度(A)、经度(B)的相关性

Fig. 7 Correlation between winter wheat quality traits and longitude(A) or latitude(B) in five provinces of China

要分布在黄淮南部中筋麦区和长江中下游中筋和弱筋麦区;强筋和中强筋小麦的蛋白质含量、面粉特性(沉淀值、湿面筋含量)和面团品质(稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积、延伸性和评分)均在河南、河北或山东较高,在安徽和江苏较低,而中筋和弱筋小麦品质特性在安徽或江苏较高,这与前人研究结果较为一致^[5,11]。不同类型冬小麦品质在中国小麦主产省内存在不同程度的变异,弱筋冬小麦品质各指标的变异系数均较大,中筋较小,说明目前中国冬小麦主产省内弱筋品种的品质特性稳定性较差,而中筋的品质稳定性较好。因而在小麦实际生产中,主产省内种植中筋品种有利于保持小麦品质的稳定性,而弱筋品种的适宜种植范围较窄,需选择适宜的生态环境和栽培措施来保障弱筋小麦品质的稳定性。

环境条件显著影响小麦品质^[19-20],根据不同地区的气候条件和生态资源,因地制宜选用优良品种是小麦高产稳产优质的技术关键。品质性状与经纬度之间存在一定的相关关系^[21-23]。李鸿恩等^[24]通过分析中国小麦籽粒品质与纬度的关系发现,小麦蛋白质含量和沉淀值呈南高北低分布,与纬度呈显著正相关关系,其与本研究结果基本一致。由于纬度不同,不同地区所获得的光热资

源不同,长期以来导致由北至南的气候条件、土壤特性和水文情况等存在差异,使小麦品质在不同纬度间差异较大^[8-9,25-26]。中国地域辽阔,在不同经度间地质地貌差异较大,其所形成的小气候环境差异较大,经度显著影响中国小麦的品质特征。本研究发现,不同类型冬小麦品质指标随经、纬度的变化趋势不同,随纬度增加,强筋和中强筋小麦的多数品质特征值显著增大,中筋和弱筋小麦的品质指标值(沉淀值、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积、延伸性)显著降低;随经度增加,强筋小麦品质指标值(除沉淀值外)显著降低,中筋和弱筋小麦品质指标值(除容重、蛋白质含量、湿面筋含量和评分外)显著增加,这进一步表明强筋和中强筋小麦适宜种植于中国冬小麦主产区的西北部,中筋和弱筋适宜种植于冬小麦主产区的东南部。本研究结果可为中国不同品种小麦优质种植的研究提供参考,但未来应选取更多种植点品质数据进行分析,为中国冬小麦优质高产的精细化区划提供科学依据。

4 结论

中国小麦品质在地区间存在显著差异。4 种类型小麦品质比较,大多数指标表现为强筋小麦

最高,弱筋小麦最低;强筋和中强筋小麦的沉淀值、湿面筋含量、稳定时间、最大拉伸阻力、拉伸面积和延伸性均在河南、河北或山东较高,而中筋和弱筋小麦的相应指标在安徽和江苏较高,弱筋小麦的被测指标在地区间的变异系数最大。4 种类型小麦的籽粒品质(容重和蛋白质含量)与纬度呈显著正相关,与经度呈显著负相关;强筋、中强筋小麦的大多数品质指标与纬度呈显著正相关,而中筋和弱筋小麦的面团特性指标与纬度呈显著负相关;强筋小麦的最大拉伸阻力和拉伸面积随经度增加呈显著减小趋势,但中强筋、中筋和弱筋的最大拉伸阻力和拉伸面积随经度增加呈显著增大趋势。整体来看,河北、河南和山东适宜播种强筋和中强筋小麦,安徽和江苏适宜发展中筋或弱筋小麦。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023: 12.
People's Republic of China Statistics Bureau. China statistical yearbook 2023 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023: 12.
- [2] 胡学旭, 王步军. 北部冬麦区和黄淮冬麦区小麦区试品种品质改良现状及建议[J]. 中国种业, 2016(11): 14.
HU X X, WANG B J. Present situation and suggestions on quality improvement of wheat varieties in northern winter wheat area and Huanghuai winter wheat area [J]. *China Seed Industry*, 2016(11): 14.
- [3] 赵广才, 常旭虹, 王德梅, 等. 小麦生产概况及其发展[J]. 作物杂志, 2018(4): 1.
ZHAO G C, CHANG X H, WANG D M, *et al.* General situation and development of wheat production [J]. *Crops*, 2018(4): 1.
- [4] 管香存, 周桂英, 吴丽娜, 等. 我国小麦品质现状分析[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 46.
ZAN X C, ZHOU G Y, WU L N, *et al.* Present status of wheat quality in China [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26(6): 46.
- [5] 齐琳娟, 胡学旭, 周桂英, 等. 2004—2011 年中国主产省小麦蛋白质品质分析[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20): 4243.
QI L J, HU X X, ZHOU G Y, *et al.* Analysis of wheat protein quality in main wheat producing areas of China from 2004 to 2011 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(20): 4243.
- [6] 胡学旭, 孙丽娟, 周桂英, 等. 2006—2015 年中国小麦质量年度变化[J]. 中国农业科学, 2016, 49(16): 3064.
HU X X, SUN L J, ZHOU G Y, *et al.* Variations of wheat quality in China from 2006 to 2015 [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(16): 3064.
- [7] 郭天财, 张学林, 樊树平, 等. 不同环境条件对三种筋型小麦品质性状的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 917.
GUO T C, ZHANG X L, FAN S P, *et al.* Effects of different environments on qualitative characters of three gluten wheat cultivars [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(6): 917.
- [8] 张学林, 郭天财, 朱云集, 等. 河南省不同纬度生态环境对三种筋型小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(9): 2051.
ZHANG X L, GUO T C, ZHU Y J, *et al.* Environmental effects of different latitudes on starch paste property of three types of gluten wheat in Henan Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2051.
- [9] 张学林, 王志强, 郭天财, 等. 纬度变化对不同冬小麦品种蛋白质组分的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1731.
ZHANG X L, WANG Z Q, GUO T C, *et al.* Effects of latitude on grain's protein components of winter wheat cultivars [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(8): 1731.
- [10] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准: NY/T 967-2006 农作物品种审定规范 小麦[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Agricultural industry standard of the People's Republic of China: NY/T 967-2006 standard for crop varieties examination and approval-wheat [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [11] 胡学旭, 周桂英, 吴丽娜, 等. 中国主产区小麦在品质区域间的差异[J]. 作物学报, 2009, 35(6): 1171.
HU X X, ZHOU G Y, WU L N, *et al.* Variation of wheat quality in main wheat-producing regions in China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(6): 1171.
- [12] 胡阳阳, 卢红芳, 刘卫星, 等. 灌浆期高温与干旱胁迫对小麦籽粒淀粉合成关键酶活性及淀粉积累的影响[J]. 作物学报, 2018, 44(4): 598.
HU Y Y, LU H F, LIU W X, *et al.* Effects of high temperature and water deficiency during grain filling on activities of key starch synthesis enzymes and starch accumulation in wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(4): 598.
- [13] ZHANG Z Z, XING Z P, ZHOU N B, *et al.* Effects of post-anthesis temperature and radiation on grain filling and protein quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Agronomy*, 2022, 12(11): 2617.
- [14] 霍治国, 江梦圆, 匡昭敏, 等. 国外农产品气候品质评价研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(9): 37.
HUO Z G, JIANG M Y, KUANG Z M, *et al.* Review on climate quality evaluation of agricultural products in foreign country [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(9): 37.
- [15] MA M, LI Y, XUE C, *et al.* Current situation and key parameters for improving wheat quality in China [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 638525.
- [16] BERHANU S, GUDETA N, BEDADA G, *et al.* Genotype × environment interaction and yield stability of bread wheat genotypes in Oromia, Ethiopia [J]. *American Journal of*

- Life Sciences*, 2022, 10(4): 72.
- [17] LONG X X, JU H, WANG J D, *et al.* Impact of climate change on wheat yield and quality in the Yellow River Basin under RCP8.5 during 2020–2050 [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2022, 13(3): 397.
- [18] 孙丽娟, 胡学旭, 陆伟, 等. 基于GIS的小麦籽粒品质空间分布特征和影响因子分析[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(5): 1008.
- SUN L J, HU X X, LU W, *et al.* Spatial distribution characteristics of wheat grain quality and analysis of factors based on GIS [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(5): 1008.
- [19] 汤永禄, 吴元奇, 朱华忠, 等. 四川小麦主栽品种的品质性状表现及其稳定性[J]. *作物学报*, 2010, 36(11): 1916.
- TANG Y L, WU Y Q, ZHU H Z, *et al.* Quality performance and stability of main wheat cultivars in Sichuan Province, China [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(11): 1916.
- [20] 卢布, 丁斌, 吕修涛, 等. 中国小麦优势区域布局规划研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2010, 31(2): 9.
- LU B, DING B, LU X T, *et al.* Arrangement planning of Chinese wheat ascendant regions [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2010, 31(2): 9.
- [21] 胡学旭, 周桂英, 吴丽娜, 等. 2006—2014年我国小麦品质在年度和品质区之间的变化[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(3): 300.
- HU X X, ZHOU G Y, WU L N, *et al.* Variation of wheat quality in wheat-producing regions in China from 2006 to 2014 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(3): 300.
- [22] 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): 362.
- HE Z H, LIN Z J, WANG L J, *et al.* Classification on Chinese wheat regions based on quality [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(4): 362.
- [23] 关二旗, 魏益民, 张波, 等. 黄淮冬麦区部分区域小麦品种构成及品质性状分析[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(6): 1162.
- GUAN E Q, WEI Y M, ZHANG B, *et al.* Analysis of the variety composition and quality properties of wheat in a part of the Yellow-Huai River Zone [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(6): 1162.
- [24] 李鸿恩, 张玉良, 吴秀琴, 等. 我国小麦种质资源主要品质特性鉴定结果及评价[J]. *中国农业科学*, 1995, 28(5): 33.
- LI H E, ZHANG Y L, WU X Q, *et al.* Determination and evaluation on the main quality characters of wheat germplasm resources in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1995, 28(5): 33.
- [25] 黄芬, 朱艳, 姜东, 等. 基于模型与GIS的小麦籽粒品质空间差异分析[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(9): 3093.
- HUANG F, ZHU Y, JIANG D, *et al.* Spatial variation analysis of wheat grain quality based on model and GIS [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(9): 3093.
- [26] 刘鹏鹏, 桑伟, 徐红军, 等. 基因型、环境对新疆冬小麦品种蛋白质品质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2022, 59(1): 51.
- LIU P P, SANG W, XU H J, *et al.* Effects of genotype and environment on protein qualities of winter wheat in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2022, 59(1): 51.