

基于 GYT 双标图对北部冬麦区国审小麦品种的回溯分析

张笑晴¹, 许乃银², 孙晶³, 刘素娟⁴, 梁晨⁵, 刘林斌⁴, 徐剑文², 许栩²

(¹全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; ²江苏省农业科学院经济作物研究所, 南京 210014; ³山西省种业发展中心, 太原 03006; ⁴河北省种子总站, 石家庄 050031; ⁵天津市农业发展服务中心, 天津 300000)

摘要: 北部冬麦区是我国重要的小麦主产区之一, 对该麦区历年国审小麦品种进行回溯分析有助于小麦品种资源的合理利用。本研究基于产量与熟期、穗数、穗粒数、千粒重、容重、品质指数、抗病指数和抗寒指数等性状的组合, 采用品种-产量×性状组合(GYT, genotype by yield×trait)双标图方法对2003—2023年期间北部冬麦区47个国审小麦品种进行了综合分析和分类评价。结果表明, 北部冬麦区历年国审小麦品种可划分为4个特征显著的品种类型。其中, I型品种综合表现优秀, 在产量与早熟性、抗病性、抗寒性、千粒重和容重等性状组合上表现突出, 在产量与穗数、穗粒数和品质指数组合上表现优良, 在生产上推广应用价值最高, 主要包括京麦179、京农16、津麦3118、京麦189、京花12号、农大3486、航麦2566和中麦93等8个品种。II型品种综合表现优良, 在产量与品质指数、穗数组合上表现突出, 在产量与抗病指数、抗寒指数组合上表现稍差, 在生产上推广应用价值较高, 但应注意生产安全, 主要包括京麦202、京农19、轮选158、中麦623、京麦183、京农72、中麦Z21、长6794、京麦186、中麦5051、京农14-62、轮选149和中麦121等13个品种。III型品种的产量与抗病和抗寒指数组合最好, 但在其余性状组合上表现差, 综合生产应用价值有限, 可作为抗性亲本。IV型品种综合表现较差, 可选择单性状表现优良的品种作为育种亲本应用。根据各品种在GYT双标图ATA轴上的投影位置, 筛选出综合表现优良的京麦179、京农16、津麦3118、京麦189、京麦202、京花12号、京农19、轮选158和中麦623等品种, 以及表现综合表现较差的北农9549、津农4号、京冬12、晋农207、中麦415、石优20号、邯4564、长4738、轮选518和津农7号等品种。本研究采用GYT双标图分析方法基于“产量-性状”组合水平对北部冬麦区小麦品种进行综合评价和分类研究, 为其他作物和地区的类似研究提供了范例。

关键词: 小麦(*Triticum aestivum* L.); 品种审定; 品种分类; 多性状; GT 双标图; GYT 双标图; 北部冬麦区

Retrospective Analysis of Wheat Varieties Nationally Approved for the Northern Winter Wheat Region Based on GYT Biplot

ZHANG Xiaqing¹, XU Naiyin², SUN Jing³, LIU Sujuan⁴, LIANG Chen⁵, LIU Linbin⁴, XU Jianwen², XU Xu²

(¹ National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100125; ² Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014; ³ Shanxi Province Seed Industry Development Center, Taiyuan 03006; ⁴ Hebei Seed Station, Shijiazhuang 050031; ⁵ Tianjin Agricultural Development Service Center, Tianjin 300000)

Abstract: The northern winter wheat region (NWWR) is one of the main wheat producing areas in China. A retrospective analysis of the nationally approved wheat varieties will facilitate rational utilization of wheat varieties in the region. Genotype by yield-trait (GYT) biplot analysis was used to cluster and evaluate 47 wheat varieties that were nationally approved for NWWR during 2003-2023, based on the combinations of grain yield with other target traits including maturity date, spike number per hectare, grain number per spike, 1000-grain weight, test weight, quality index, disease resistance index, and cold resistance index. The results showed that these wheat varieties could be classified into four distinct variety types. Type I includes eight varieties, i.e. Jingmai 179, Jingnong 16, Jinmai 3118, Jingmai 189, Jinghua 12, Nongda 3486, Hangmai 2566 and Zhongmai 93, characterized by outstanding performance in the combination of earliness, disease resistance, cold resistance, 1000-grain weight and test weight, and

收稿日期: 2023-07-30 修回日期: 网络出版日期:

URL:

第一作者研究方向为农作物品种试验与管理, E-mail: zhangxiaqing@agri.gov.cn

通信作者: 许乃银, 研究方向为农作物品种区域试验数据管理与分析, E-mail: naiyin@126.com

基金项目: 国家科技创新重大项目(2022ZD04019)

Foundation project: National Scientific and Technological Innovation Major Projects (2022ZD04019)

good performance in the combination of yield and spike number, grain number per spike and a quality index, and which showed the highest value in production. Type II varieties comprised of 13 varieties, including Jingmai 202, Jingnong 19, Lunxuan 158, Zhongmai 623, Jingmai 183, Jingnong 72, Zhongmai Z21, Chang 6794, Jingmai 186, Zhongmai 5051, Jingnong 14-62, Lunxuan 149 and Zhongmai 121, characterized by superior combination of yield with a quality index and spike number, but slightly poor combination between yield and disease resistance and cold tolerance. These varieties are valuable in wheat production in the region as soon as diseases and winterkill are under control. Type III varieties had the best combination of yield with disease resistance and cold resistance index, but were poor in combination between yield and other traits. Therefore, their value in production is limited, but could be used as disease-resistant parents in wheat breeding. Type IV varieties were poor in overall yield-trait combination; but some may be outstanding in a single and can be used as breeding parents. Based on the projection position of each variety on the average yield-trait axis (ATA) of the GYT biplot, Jingmai 179, Jingnong 16, Jinmai 3118, Jingmai 189, Jingmai 202, Jinghua 12, Jingnong 19, Lunxuan 158 and Zhongmai 623 were identified to have superior overall yield-trait combination. While the varieties Beinong 9549, Jinnong 4, Jingdong 12, Jinnong 207, Zhongmai 415, Shiyou 20, Han 4564, Chang 4738, Lunxuan 518 and Jinnong 7 had poor overall yield-trait combination. This study provided an example for the use of GYT biplot for comprehensive wheat cultivar evaluation and classification based on yield-trait combinations for the NWWR region, which can be applied to other crops and regions.

Key words: wheat (*Triticum aestivum* L.); variety approval; variety type classification; multiple traits; genotype by trait (GT) biplot; genotype by yield-trait (GYT) biplot; northern winter wheat region(NWWR)

北部冬麦区是我国最北边的冬小麦种植区域, 涉及辽宁、河北、天津、北京、山西、陕西和甘肃省等5省2市冬麦区, 是我国小麦主产区之一, 在全国小麦生产中占有重要地位^[1]。北部冬麦区的小麦新品种选育和应用对保障我国粮食安全具有重要意义^[2]。根据在不同的历史时期小麦生产的实际需求, 我国小麦育种大致经历了抗病稳产早熟、矮化抗倒高产和高产优质高效等阶段^[3], 开展了针对产量、早熟、矮化、优质和抗病等目标性状进行选择 and 亲本改良工作, 但在小麦育种和品种审定的实践中必须同步对多个目标性状进行综合选择和评价^[4-5]。建国以来, 北部冬麦区共有54个适宜水地种植的小麦品种通过国家审定, 为北部冬麦区小麦生产水平的提升做出了重要贡献^[6]。对北部冬麦区历年国审品种进行回溯分析, 有助于对北部冬麦区国审品种的分类特征和应用价值进行综合评价, 对提升北部冬麦区乃至全国小麦生产力水平起到促进作用。由于育种目标性状之间通常存在着错综复杂的相关性, 对个性状的改良可能会导致其他性状的弱化, 从而增加了育种工作的难度^[7]。因此, 基于多性状的品种选择和评价是农作物育种领域长期面临的挑战之一^[8]。近年来, 基因型-性状(genotype by trait, GT)双标图被广泛地用于品种多性状分类评价^[9]、揭示多性状间的相关关系^[10-11]和品种与性状的互作模式^[12], 但由于存在性状间的复杂相关性, GT双标图并不适用于品种的多性状综合评价。Yan和Frégeau-Reid^[7]提出的品种-产量×性状组合(genotype by yield×trait, GYT)双标图方法克服了GT双标图的不足, 可以基于产量-性状组合对产量和目标性状进行同步选择和品种综合评价。目前, GYT双标图已经用于燕麦^[7]、春小麦^[13]、棉花^[14]和玉米^[15]等作物的品种多性状评价中, 对我国冬小麦品种的分类研究和多性状评价尚未见报道。本研究采用GT双标图方法^[16]对2003—2023年期间北部冬麦区47个国审小麦品种的籽粒产量、早熟性、穗数、穗粒数、千粒重、容重、品质指数、抗病指数和抗寒指数间的相关关系及品种与性状的互作模式进行分析, 采用GYT双标图对小麦品种进行多性状综合评价和分类研究, 以揭示北部冬麦区国审小麦品种的分类特征和应用价值, 为科学利用国审小麦品种资源提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

我国北部冬麦区国家级小麦品种审定工作最早可回溯到1984年首批审(认)定的丰抗2号、丰抗8号、

东方红 3 号、农大 139 和红良 5 号等小麦新品种，以及 1992 年和 1993 年分别审定的北京 841 和中麦 2 号，这些品种都在生产上大面积推广应用^[6]。由于早期小麦品种审定主要依据于生产应用的面积进行，审定公告数据记录不详，故本研究依据历年国家小麦品种审定公告，采用 2003—2023 年期间北部冬麦区适于水地种植的 47 个国审小麦品种的籽粒产量(简称产量)、生育期、每公顷穗数(简称穗数)、穗粒数、千粒重、容重、品质指数、抗病指数和抗寒指数等小麦育种和审定的主要目标性状数据，各品种的主要目标性状列于表 1，其中籽粒产量、生育期、穗数、穗粒数、千粒重和容重为连续 2 年 11 个单点试验的平均值，品质指数为连续 2 年 4 个单点试验的平均值，抗病指数和抗寒指数为两年鉴定的最大值。抗寒指数用越冬死茎率表示。品质指数为蛋白质、湿面筋、稳定时间和吸水率指标的加权平均值，各指标的权重为国家小麦品种审定标准中强筋小麦指标阈值的倒数，即品质指数=(蛋白质/14+湿面筋/30.5+稳定时间/10+吸水率/60)/4。依据小麦条锈病、叶锈病和白粉病抗性评价标准^[17-19]，对品种各抗性级别(免疫、高抗、中抗、慢病、中感和高感)依次赋值(0、1、2、2.5、3 和 4)，以各品种 3 种病害量化赋值的平均值为抗病指数。

1.2 统计分析方法

采用 GT 双标图^[20-21]分析小麦主要性状间的相关性及其与品种的互作关系。GT 双标图中各性状向量间的夹角大小表示性状间的相关性强弱，夹角越小相关性越强^[20-21]。采用 GYT 双标图分析小麦产量×性状组合间的相关性，分析品种与产量×性状组合的互作模式，基于品种理想指数(superiority index, SI)对品种进行排序和综合评价，并基于 GYT 双标图中品种图标的欧氏距离进行分类评价。GYT 双标图中的产量与性状组合相当于 GT 双标图中的性状^[7]。GYT 双标图中“产量与性状组合”对于穗数、穗粒数、千粒重、容重和品质指数等数值越大越好的性状，可用产量×性状(Y×Trait)表示，如 Y×ES 表示产量与穗数的乘积；对于抗病指数和抗寒指数等数值越小越好的性状，产量-性状组合为产量除性状的商数，并用产量×性状加后缀(-1)表示，如 Y×CRI(-1)表示产量与抗寒指数倒数的乘积，数据越大越好。各产量和性状组合的标准化数据平均值即为品种理想指数，用以评价品种的综合表现^[7]。GYT 双标图的平均性状功能图(如图 2)中有两条垂直交叉于双标图原点的数轴。其中，单箭头的横轴为平均性状轴(average trait axis, ATA 轴)，指向品种理想指数大的方向，即品种综合表现优秀的方向^[7]；双箭头的纵轴为平均性状轴的纵轴(average trait coordinate, ATC 轴)，指向性状协调性差的方向，在 ATC 轴上投影短的品种表明其各性状表现相对平衡，反之则表明品种可能存在某些明显强或弱的性状。同时，ATC 轴将品种按综合表现划分为两部分，右侧品种好于所有品种的平均值，而左侧品种差于平均值^[13]。

表 1 2003—2023 年我国北部冬麦区国审小麦品种主要性状表

Table 1 List of main characters of wheat varieties nationally approved for the northern winter wheat region in China during 2003-2023

代码 Code	品种 Variety	AY	YLD (kg hm ⁻²)	GP (d)	ES (×10 ⁴ hm ⁻²)	TKW (g)	TW (g L ⁻¹)	KPS	DRI	CRI	QI	SI	TYPE
G01	轮选 987 Lunxuan 987	2003	6836	260	697.5	40.2	792	30.0	3.00	12.50	0.76	-0.53	III
G02	晋农 207 Jinnong 207	2003	6274	259	633.0	41.2	778	29.4	2.33	17.50	0.83	-1.06	III
G03	津农 4 号 Jinnong 4	2003	6518	260	645.0	35.0	780	36.0	3.50	17.50	0.82	-1.14	IV
G04	北农 9549 Beinong 9549	2003	6095	260	605.3	45.1	775	28.0	3.33	17.50	0.82	-1.54	IV
G05	京冬 12 Jingdong 12	2004	6158	258	666.0	41.6	772	29.5	3.50	12.50	0.99	-1.13	III
G06	邯 4564 Han 4564	2006	6676	256	636.0	36.0	768	34.1	3.33	12.80	0.83	-0.79	III
G07	长 4738 Chang 4738	2006	7130	262	571.5	45.0	775	32.4	3.67	19.60	0.80	-0.74	IV

代码 Code	品种 Variety	AY	YLD (kg hm ⁻²)	GP (d)	ES (×10 ⁴ hm ⁻²)	TKW (g)	TW (g L ⁻¹)	KPS	DRI	CRI	QI	SI	TYPE
G08	京冬 17 Jingdong 17	2007	6824	251	594.0	41.3	789	34.1	2.67	11.90	0.93	-0.26	III
G09	轮选 518 Lunxuan 518	2007	6553	253	598.5	37.4	774	34.6	2.33	15.30	0.86	-0.68	III
G10	京冬 22 Jingdong 22	2007	6505	251	612.0	40.2	794	31.4	3.17	9.90	0.97	-0.57	III
G11	京花 9 号 Jinghua 9	2007	6273	250	596.1	42.6	803	29.6	3.00	10.60	1.18	-0.65	III
G12	中麦 175 Zhongmai 175	2008	7375	251	682.5	41.0	804	31.6	2.83	14.35	0.80	0.04	III
G13	河农 825 Henong 825	2009	7071	248	612.0	38.2	804	37.0	4.00	16.20	0.81	-0.60	IV
G14	石麦 15 号 Shimai 15	2009	7051	252	651.0	39.2	765	32.4	3.33	15.80	0.80	-0.57	IV
G15	保麦 10 号 Baomai 10	2010	7142	250	598.5	39.6	795	35.6	3.67	15.15	0.79	-0.50	IV
G16	京冬 18 Jingdong 18	2010	6965	249	637.5	42.3	796	31.7	3.67	16.35	0.81	-0.66	IV
G17	中麦 415 Zhongmai 415	2010	6740	249	602.3	37.2	813	34.8	3.67	14.93	0.80	-0.87	IV
G18	石优 20 号 Shiyou 20	2011	6624	250	592.5	38.2	795	33.1	3.67	15.90	1.04	-0.85	IV
G19	中麦 816 Zhongmai 816	2013	6987	256	660.0	40.3	793	32.0	3.33	18.10	0.86	-0.61	IV
G20	津农 6 号 Jinnong 6	2013	6945	254	607.5	48.2	801	30.3	3.00	17.20	0.96	-0.41	IV
G21	农大 5181 Nongda 5181	2014	7361	253	666.0	43.0	766	29.4	3.00	13.40	0.83	-0.04	III
G22	轮选 169 Lunxuan 169	2014	6878	255	648.0	40.6	789	31.3	3.17	15.90	0.90	-0.59	IV
G23	津农 7 号 Jinnong 7	2014	6326	256	594.0	43.4	780	29.5	2.50	18.60	1.35	-0.67	IV
G24	中麦 1062 Zhongmai 1062	2016	7085	253	712.5	39.0	772	30.3	3.17	15.85	0.95	-0.32	IV
G25	航麦 247 Hangmai 247	2016	7015	253	726.0	39.2	754	28.6	2.50	14.50	0.85	-0.24	III
G26	京花 11 号 Jinghua 11	2016	6918	254	694.5	44.8	769	27.3	2.67	15.70	0.91	-0.35	III
G27	京花 12 号 Jinghua 12	2018	8324	251	604.5	47.6	800	32.0	3.00	14.70	0.84	0.91	I
G28	农大 3486 Nongda 3486	2018	8300	252	633.0	41.9	809	32.8	3.00	15.50	0.80	0.77	I
G29	航麦 2566 Hangmai 2566	2018	8308	253	519.0	46.9	789	37.3	3.00	16.30	0.83	0.76	I
G30	中麦 93 Zhongmai 93	2018	8153	251	615.0	43.7	819	32.2	2.83	17.10	0.77	0.61	I
G31	长 6794 Chang 6794	2018	7958	252	577.5	41.3	800	35.9	3.00	17.10	0.97	0.53	II
G32	京麦 179 Jingmai 179	2018	8864	253	585.0	47.0	810	38.4	3.00	14.00	0.89	1.64	I
G33	津麦 3118 Jinmai 3118	2019	8610	253	670.5	45.6	810	30.9	3.00	12.55	0.76	1.27	I
G34	京麦 183 Jingmai 183	2020	8222	250	646.5	42.9	795	34.8	3.67	15.20	0.87	0.68	II
G35	京麦 186 Jingmai 186	2021	8140	250	565.5	48.1	792	35.9	3.67	18.60	0.93	0.52	II
G36	京农 14-62 Jingnong 14-62	2021	7952	250	616.5	45.8	800	32.5	3.67	17.10	0.86	0.30	II
G37	中麦 121 Zhongmai 121	2021	7903	249	649.5	43.4	802	31.5	3.67	16.70	0.86	0.25	II
G38	轮选 149 Lunxuan 149	2021	7850	249	616.5	39.9	798	35.1	3.33	17.30	0.92	0.29	II
G39	京麦 189 Jingmai 189	2022	8724	257	564.0	43.9	804	38.3	3.33	14.50	0.91	1.26	I
G40	京农 16 Jingnong 16	2022	8583	257	684.0	45.6	821	30.0	3.67	10.40	0.88	1.37	I
G41	京麦 202 Jingmai 202	2023	8860	261	609.0	46.7	794	36.8	3.67	19.10	0.84	1.08	II
G42	京农 19 Jingnong 19	2023	8512	261	664.5	45.4	815	30.9	3.67	17.50	0.91	0.85	II
G43	京农 72 Jingnong 72	2023	8489	262	643.5	42.4	778	34.4	3.67	17.80	0.84	0.67	II
G44	轮选 158 Lunxuan 158	2023	8591	262	651.0	46.2	802	32.4	3.67	18.80	0.85	0.82	II
G45	中麦 5051 Zhongmai 5051	2023	8005	260	673.5	39.8	803	33.8	3.67	19.30	1.00	0.39	II
G46	中麦 623 Zhongmai 623	2023	8564	261	691.5	40.3	807	33.3	3.67	19.10	0.87	0.79	II
G47	中麦 Z21 Zhongmai Z21	2023	7992	262	696.0	40.3	804	31.2	3.50	18.50	1.14	0.56	II

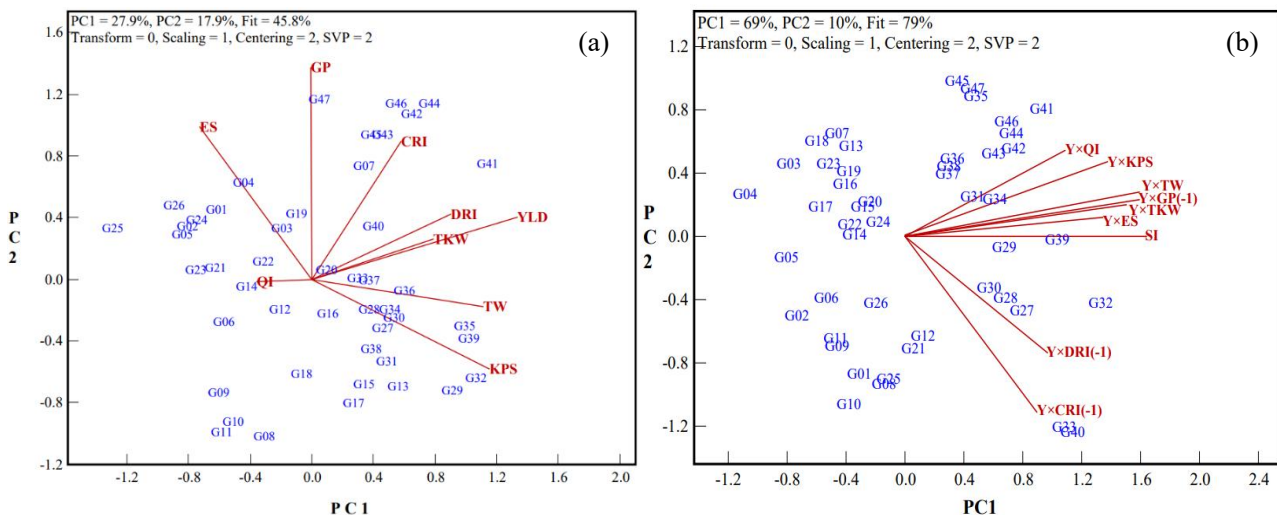
AY: 审定年份、YLD: 籽粒产量、GP: 生育期、ES: 有效穗数、TKW: 千粒重、TW: 容重、KPS: 穗粒数、DRI: 抗病指数、CRI: 抗寒指数、QI: 品质指数、SI: 品种理想指数、TYPE: 品种基于 GYT 双标图聚类的类型。

AY: approval year; YLD: grain yield; GP: growth period; ES: effective spike number per hectare; TKW: 1000-kernels weight; TW: test weight; KPS: kernels per spike; DRI: disease resistance index; CRI: cold resistance index; QI: quality index; CSI: variety superiority index; TYPE: variety type in clustering analysis based on GYT biplot.

2 结果与分析

2.1 北部冬麦区国审小麦品种 GT 双标图分析

我国北部冬麦区国审小麦品种的 GT 双标图分析表明(图 1a), 品质指数和穗数向量与产量向量的夹角为钝角, 表现为负相关; 其余性状向量与产量向量间的夹角均为锐角, 表现为正相关。其中, 千粒重和抗病指数与产量相关性最强, 其次是容重和抗寒指数, 其后是生育期和穗粒数。穗粒数与品质指数、穗数和生育期之间表现为负相关, 与其余性状为正相关。图 1a 也展示了小麦品种的基本特征特性。例如, 京麦 179(G32)、航麦 2566 (G29)、京麦 186 (G35)和京麦 189 (G39)等品种的容重和穗粒数高, 产量较高, 而穗数较少、品质稍差; 轮选 158 (G44)、中麦 623 (G46)和京农 19 (G42)等品种的抗寒性好, 产量高; 京麦 202 (G41)的千粒重、产量和抗病指数高, 而品质较差。可见, 小麦品种的主要性状之间存在着复杂的相关关系。有些相关性是有利的, 如产量与千粒重、穗粒数、容重等的显著正相关; 有些性状相关性是不利的, 如产量与抗病指数和抗寒指数的正相关、产量与品质指数的负相关等。小麦育种选择对一个性状的改良, 可能会导致对其他有利性状的弱化。因此, 一个优良品种应当在多数性状上表现优秀, 又不能在主要性状上存在缺陷。GT 双标图可用于表达性状间的相关性和品种特性, 但难以对品种进行综合评价。



大写字母 G 加数字为品种编号。图中红色射线为性状或产量×性状组合的向量, 向量间的夹角表示性状间或产量×性状组合间的相关性, 夹角越小则相关性越强。图 1b 中的“性状”为产量与其他性状的组合, 如 Y×QI 表示产量与品质指数的乘积, Y×CRI(-1)表示产量除以抗寒指数的商数。理想指数(SI)为各产量×性状组合标准化数据的平均值。品种名称及性状缩写详见表 1

The capital G followed by numbers represents variety code. The red rays from the origin in Fig. 1 are the vectors of traits or yield×trait combinations. The angle between the vectors indicates the correlation between the traits or yield×trait combinations, the smaller the angle, the stronger the correlation. “Traits” in Fig. 1b are yield and other traits combinations, e.g. Y×QI represents the product of yield and quality index, and Y×CRI(-1) represents the quotient of yield divided by cold resistance index. The superiority index (SI) is the mean of the standardized values of yield×trait combinations. The variety names and trait abbreviations are shown in Table 1

图 1 我国北部冬麦区国审小麦品种性状相关性 GT 双标图(a)和产量×性状组合相关性 GYT 双标图(b)

Fig. 1 The tester vector correlation view of the genotype by trait (GT) biplot (a) and the genotype by yield×trait (GYT) biplot (b) of wheat varieties nationally approved for northern winter wheat region in China

2.2 北部冬麦区国审小麦品种的产量×性状组合相关性分析

我国北部冬麦区国审小麦品种的 GYT 双标图分析(图 1b)表明, GYT 双标图的前两个主成分解释了总变异的 79%, 比较精确地表达了产量×性状组合间的相关性及其与品种的互动模式。所有产量×性状组合向量间的夹角均为锐角, 表现为正相关。其中, 产量×抗病指数[Y×DRI(-1)]和产量×抗寒指数[Y×CRI(-1)]与品种理想指数(SI)的相关性较强, 其余组合与品种理想指数间相关性都很强。品种与产量×性状组合间

的交互模式表现为，津麦 3118 (G33)和京农 16 (G40)在[Y×DRI(-1)]和[Y×CRI(-1)]上表现最好，京麦 179 (G32)、京麦 189 (G39)和京麦 202 (G41)等品种在理想指数和产量与其余性状组合上表现优秀，而北农 9549 (G04)、津农 4 号(G03)、京冬 12 (G05)和中麦 415(G17)等品种在理想指数和产量与品质指数、产量三要数(穗数、穗粒数和千粒重)、容重、生育期等性状组合上表现较差。产量×性状组合间相关性显著性分析表明(表 2)，Y×DRI(-1)、Y×CRI(-1)和产量×穗粒数(Y×KPS)这 3 个组合间表现为显著正相关，Y×CRI(-1)和与产量×品质指数(Y×QI)这 2 个组合相关性不显著，产量与其余性状的组合间及与理想指数间均表现为极显著正相关。可见，GYT 双标图比 GT 双标图解释的变异比例更大，拟合度高，分析结果更加可靠。产量×性状组合之间的相关关系更加明确简单，多数组合间表现为显著或极显著正相关，更适用于品种产量与其他目标性状的综合评价与选择。

表 2 2003—2023 年北部冬麦区国审小麦品种产量×性状组合相关性分析

Table 2 Pearson correlations among yield×trait combinations of national approval wheat varieties for the northern winter wheat region in China from 2003 to 2023

产量×性状组合 Yield×trait combination	Y×GP(-1)	Y×ES	Y×KPS	Y×TKW	Y×TW	Y×DRI(-1)	Y×CRI(-1)	Y×QI
产量×生育期 Yield×growth period [Y×GP(-1)]								
产量×有效穗数 Yield×effective spike number (Y×ES)	0.805**							
产量×穗粒数 Yield×kernels per spike (Y×KPS)	0.894**	0.580**						
产量×千粒重 Yield×1000-kernels weight (Y×TKW)	0.910**	0.701**	0.768**					
产量×容重 Yield×test weight (Y×TW)	0.984**	0.826**	0.882**	0.913**				
产量×抗病指数 Yield×disease resistance index [Y×DRI(-1)]	0.480**	0.374**	0.349*	0.491**	0.447**			
产量×抗寒指数 Yield×cold resistance index [Y×CRI(-1)]	0.436**	0.383**	0.296*	0.394**	0.428**	0.321*		
产量×品质指数 Yield×quality index (Y×QI)	0.592**	0.492**	0.524**	0.596**	0.624**	0.303*	0.207 ^{ns}	
品种理想指数 Variety superiority index (SI)	0.965**	0.816**	0.837**	0.913**	0.965**	0.595**	0.548**	0.686**

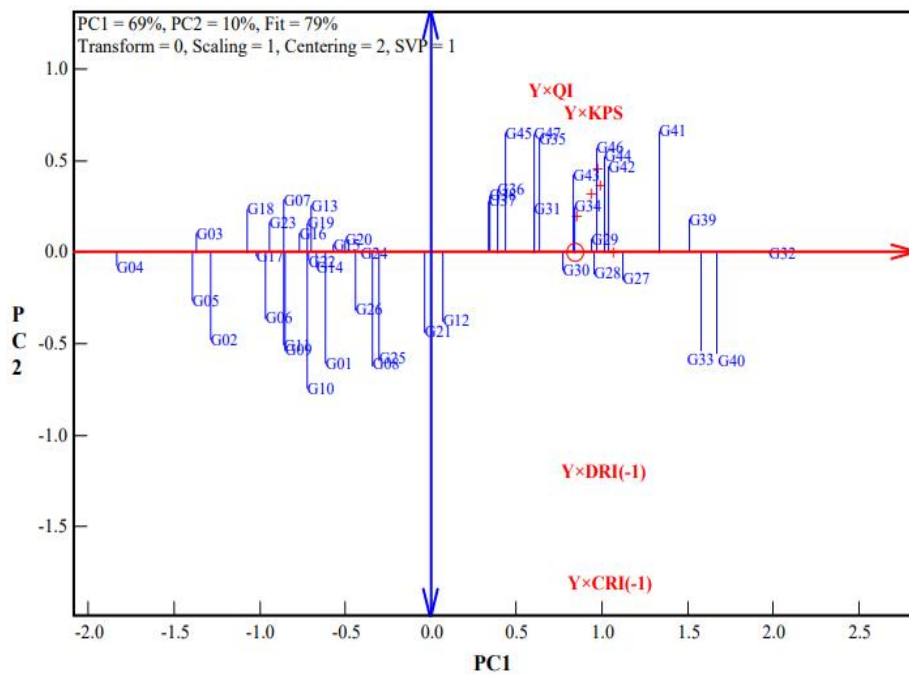
*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关，^{ns} 表示相关不显著。

*and** indicate significant correlation at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. ^{ns} indicates not significant correlation.

2.3 北部冬麦区国审小麦品种的综合评价

小麦品种与产量×性状组合 GYT 双标图的“均值与协调性”功能图分析表明(图 2)，(1)根据各品种在 GYT 双标图 ATA 轴上的投影位置，在 ATC 轴右侧表现优良的 22 个品种依次为：京麦 179(G32) > 京农 16(G40) > 津麦 3118(G33) > 京麦 189(G39) > 京麦 202(G41) > 京花 12 号(G27) > 京农 19(G42) > 轮选 158(G44) > 中麦 623(G46) > 农大 3486(G28) > 航麦 2566(G29) > 京麦 183(G34) > 京农 72(G43) > 中麦 93(G30) > 中麦 Z21(G47) > 长 6794(G31) > 京麦 186(G35) > 中麦 5051(G45) > 京农 14-62(G36) > 轮选 149(G38) > 中麦 121(G37) > 中麦 175(G12)。在 ATC 轴右侧的品种是综合表现比所有品种平均表现好的品种，也正好优于当前的北部冬麦区对照品种中麦 175。在 ATC 轴左侧品种的综合性状表现比所有品种平均表现差，排列在 ATA 轴最左侧的品种北农 9549(G04)的综合表现最差，其余品种综合表现依次为：津农 4 号(G03) < 京冬 12(G05) < 晋农 207(G02) < 中麦 415(G17) < 石优 20 号(G18) < 邯 4564(G06) < 长 4738(G07) < 轮选 518(G09) < 津农 7 号(G23) < 京冬

18(G16) < 京花 9 号(G11) < 中麦 816(G19) < 河农 825(G13) < 轮选 169(G22) < 京冬 22(G10) < 石麦 15 号(G14) < 轮选 987(G01) < 保麦 10 号(G15) < 津农 6 号(G20) < 京花 11 号(G26) < 中麦 1062(G24) < 京冬 17(G08) < 航麦 247(G25) < 农大 5181(G21)。各品种的理想指数(表 1)的排序与各品种在 GYT 双标图 ATA 轴上的排序基本一致。(2)京麦 179(G32)在 ATA 轴最右侧,同时正好落在 ATA 轴上,说明京麦 179(G32)的综合表现最好,在产量×性状组合间的协调性也很好。在 ATC 轴右侧的品种中,京农 16(G40)、津麦 3118(G33) 和中麦 175(G12)在 ATA 轴的下方,说明其同侧的 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上表现较好;京花 12 号(G27)、农大 3486(G28)、航麦 2566(G29)和中麦 93(G30)在 ATA 轴附近,综合性状协调性较好;其余品种都在 ATA 轴上方,说明其在 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上表现稍差,而在 Y×GP(-1)、Y×ES、Y×KPS、Y×TKW、Y×TW 和 Y×QI 等产量与性状组合上表现优秀。在 ATC 轴左侧的品种中,长 4738(G07)、河农 825(G13)、石优 20 号(G18)、中麦 816(G19)和津农 7 号(G23)等品种在 ATA 轴上方,在 Y×ES、Y×KPS、Y×TKW、Y×TW 和 Y×QI 等产量与性状组合上表现较好;其余多数品种在 ATA 轴下方,在 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上表现较好,而在其余产量与性状组合上表现较差。



大写字母 G 加数字为品种编号。单箭头的横轴为平均性状轴(ATA 轴),指向品种理想指数大的方向;双箭头的纵轴为平均性状轴的纵轴(ATC 轴),指向性状协调性差的方向;产量与性状组合中的 Y×GP(-1)、Y×ES、Y×TKW、Y×TW 和 SI 图标用“+”表示。品种名称及性状缩写详见表 1
The capital G followed by numbers represents variety code. The single-headed horizontal axis is average trait axis(ATA) pointing to the direction of higher variety superiority index, while the double-headed is the coordinate of average trait axis (ATC) pointing to the direction of poor trait coordination. Some yield by trait combinations' marks, i.e. Y×GP(-1), Y×ES, Y×TKW, Y×TW and SI are represented by "+" for clarity. The variety names and trait abbreviations are shown in Table 1

图 2 2003—2023 年我国北部冬麦区国审小麦品种 GYT 双标图分析的“均值-稳定性”功能图

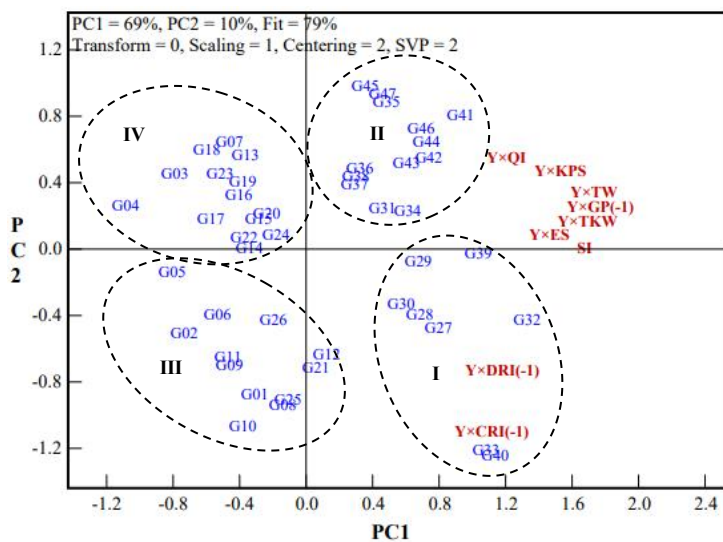
Fig. 2 The "mean-stability" view of GYT biplot analysis of national approval wheat varieties for the northern winter wheat region in China from 2003 to 2023

2. 4 北部冬麦区国审小麦品种的分类评价

北部冬麦区国审小麦品种 GYT 双标图的“品种聚类”功能图分析表明(图 3), 47 个品种可划分为 4 个差异显著的品种类型。其中, I 型品种包括京麦 179(G32)、京农 16(G40)、津麦 3118(G33)、京麦 189(G39)、京花 12 号(G27)、农大 3486(G28)、航麦 2566(G29)和中麦 93(G30)等 8 个品种; II 型品种包括京麦 202(G41)、京农 19(G42)、轮选 158(G44)、中麦 623(G46)、京麦 183(G34)、京农 72(G43)、中麦 Z21(G47)、长 6794(G31)、

京麦 186(G35)、中麦 5051(G45)、京农 14-62(G36)、轮选 149(G38)和中麦 121(G37)等 13 个品种；III型品种包括中麦 175(G12)、农大 5181(G21)、航麦 247(G25)、京冬 17(G08)、京花 11 号(G26)、轮选 987(G01)、京冬 22(G10)、京花 9 号(G11)、轮选 518(G09)、邯 4564(G06)、晋农 207(G02)和京冬 12(G05)等 12 个品种；IV型品种包括中麦 1062(G24)、津农 6 号(G20)、保麦 10 号(G15)、石麦 15 号(G14)、轮选 169(G22)、河农 825(G13)、中麦 816(G19)、京冬 18(G16)、津农 7 号(G23)、长 4738(G07)、石优 20 号(G18)、中麦 415(G17)、津农 4 号(G03)和北农 9549(G04)等 14 个品种（详见表 1）。II 型品种在 Y×GP(-1)、Y×ES、Y×KPS、Y×TKW、Y×TW、Y×QI 等产量与性状组合上，以及在品种理想指数(SI)上表现明显优势；I 型品种除了具备 II 型品种的上述优势外，还在 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上表现较好；III型品种在 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上有优势，而IV型品种在各产量×性状组合及理想指数上均表现弱势。

各品种类型的产量×性状组合标准化数据的差异显著性分析表明(表 3)，(1) I 型品种的 Y×DRI(-1)、Y×CRI(-1)和理想指数极显著优于 II 型品种；Y×TKW、Y×TW 和 Y×GP(-1)显著优于 II 型品种；Y×KPS 优于 II 型品种，但差异不显著；Y×ES 和 Y×QI 略差于 II 型品种，但差异不显著；I 型品种的所有产量×性状组合及理想指数均极显著优于 II 型和 III 型品种。(2) I 型品种 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)的表现差于 III 型品种，但差异不显著；其余产量×性状组合及理想指数均极显著优于 III 型和 IV 型品种。(3) III 型品种的 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)极显著优于 IV 型品种，其余性状组合均与 IV 型品种差异不显著。总之，I 型品种的综合表现最好，在 Y×DRI(-1)、Y×CRI(-1)、Y×TKW、Y×TW、Y×GP(-1)和品种理想指数上表现突出，在 Y×ES、Y×KPS 和 Y×QI 上表现优良，属于高产、高抗、品质较好的品种类型。II 型品种总体表现优良，在 Y×QI 和 Y×ES 上表现突出，在 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上表现稍差，属于高产、优质、抗性稍差的品种类型。III 型品种在 Y×DRI(-1)和 Y×CRI(-1)上表现较好，在其余产量与性状组合上的表现较差。IV 型品种的综合表现最差。



大写字母 G 后面的数字为品种编号。椭圆形虚线包围的品种为基于 GYT 双标图聚类分析的同类型品种。罗马字母 I、II、III 和 IV 表示品种类型。品种名称及性状缩写详见表 1。

The capital G followed by numbers represents variety code. The varieties surrounded by dotted ellipses are of the same variety type in cluster analysis based on GYT biplot. The Roman letters I, II, III and IV indicate the variety type. The variety names and trait abbreviations are shown in Table 1.

图 3 2003—2023 年我国北部冬麦区国审小麦品种 GYT 双标图分析的“品种聚类”功能图

Fig. 3 The "variety clustering" view of GYT biplot analysis of national approval wheat varieties for the northern winter wheat region in China from 2003 to 2023

表 3 基于 GYT 双标图分析的北部冬麦区国审小麦品种分类特征比较

Table 3 Comparison of classification characteristics of national wheat varieties in northern winter wheat region based on GYT biplot analysis

产量×性状组合 Yield×trait combination	I 型品种 Variety type I	II 型品种 Variety type II	III 型品种 Variety type III	IV 型品种 Variety type IV
产量×生育期 Yield×growth period [Y×GP(-1)]	1.25±0.09 a A	0.85±0.08 b A	-0.87±0.15 c B	-0.75±0.12 c B
产量×有效穗数 Yield×effective spike number (Y×ES)	0.72±0.28 a A	0.86±0.19 a A	-0.54±0.23 b B	-0.74±0.16 b B
产量×穗粒数 Yield×kernels per spike (Y×KPS)	1.06±0.29 a A	0.79±0.14 a A	-0.91±0.14 b B	-0.56±0.15 b B
产量×千粒重 Yield×1000-kernels weight (Y×TKW)	1.26±0.15 a A	0.74±0.17 b A	-0.80±0.13 c B	-0.72±0.13 c B
产量×容重 Yield×test weight (Y×TW)	1.24±0.11 a A	0.87±0.10 b A	-0.91±0.13 c B	-0.74±0.10 c B
产量×抗病指数 Yield×disease resistance index [Y×DRI(-1)]	1.27±0.20 a A	-0.04±0.11 b B	0.22±0.30 b B	-0.88±0.18 c C
产量×抗寒指数 Yield×cold resistance index [Y×CRI(-1)]	1.29±0.42 a A	-0.23±0.09 b BC	0.31±0.25 b B	-0.79±0.12 c C
产量×品质指数 Yield×quality index (Y×QI)	0.50±0.23 a A	0.91±0.17 a A	-0.66±0.18 b B	-0.57±0.25 b B
品种理想指数 Variety superiority index (SI)	1.07±0.13 a A	0.60±0.07 b B	-0.52±0.11 c C	-0.72±0.08 c C

同一行中标有相同小写或大写字母的数据分别在 5% 和 1% 水平上差异不显著。性状数据为平均值±标准误。

The values followed by common letters or capital letters in the same row are not significantly different at 5% and 1% probability level respectively. The data of each trait in the corresponding variety type ± its standard error.

3 讨论

我国北部冬麦区小麦新品种选育在提高小麦产量、改善品质、增强抗逆病等方面发挥了重要作用，建国以来实现了多次大规模小麦品种更新换代^[1,6]，大幅提高了小麦生产力。我国实行农作物品种审定制度后，于 1984 年国家首批审(认)定了丰抗 2 号、丰抗 8 号、东方红 3 号、农大 139 和红良 5 号等 5 个北部冬麦区小麦品种，1992 年和 1993 年又分别审定了北京 841 和中麦 2 号 2 个品种，这些品种都在生产上得到了大面积的推广应用。其后，由于北部冬麦区的区域试验对照品种京 411 表现突出等原因，1994—2002 年期间没有国审品种。2003—2023 年期间北部冬麦区共有 47 个适宜水地种植的小麦新品种通过国家审定并在生产上推广应用，其中，中国农业科学院和北京市农林科学院共审定了 32 个品种，约占审定品种总数的 70%。对历年国审品种的特征特性进行分类评价，有利于了解北部冬麦区国审小麦品种遗传改良的成就和不足，可为国审小麦品种资源的合理利用提供参考依据。GYT 双标图是新近提出用于品种多性状综合评价的统计新方法，可实现基于产量-性状组合对产量和主要目标性状进行同步选择和综合评价^[7]，目前已经应用于加拿大燕麦^[7]、美国春小麦^[13]、我国棉花^[14]和玉米^[15]等作物的品种多性状同步评价分析中，而对我国冬小麦品种的分类研究和多性状评价尚未见报道。GYT 双标图方法依据产量与其他性状组合水平，而不是仅依据单性状表现对品种进行选择。同时，GYT 双标图方法强调丰产性在品种多性状选择中的优先地位，其他性状只有在产量较高的情况下才有生产应用价值。例如，某小麦品种抗病性很好，但如果产量很低，就只能作为很好的抗病育种亲本，而不能直接在生产上推广应用。在小麦品种选择和评价中对产量-性状组合的选择比依据单性状的选择更有价值。因此，GYT 双标图方法更适用于品种分类和综合评价，具有更强的实用性和科学性。本研究基于 2003—2023 年期间北部冬麦区国审小麦品种的丰产性、早熟性、穗数、穗粒数、千粒重、容重、品质指数、抗病指数和抗寒指数间等最主要的小麦育种目标性状，采用 GYT 双标图方法对历年国审品种进行分类评价和综合分析，将北部冬麦区 47 个国审小麦品种划分为差异显著的 4 个品种类型，各品种类型的特征明显。I 型品种综合表现最好，在产量与早熟性、抗病性、抗寒性、千粒重和容重等性状组合上表现突出，在产量与穗数、穗粒数和品质指数组合上表现优良，属于高产、高抗、品质较好的品种类型，在生产上推广应用价值最高，主要包括京麦 179、京农 16、津麦 3118、京麦 189、京花 12 号、农

大 3486、航麦 2566 和中麦 93 等 8 个品种。II 型品种综合表现优良，在产量与品质指数、穗数组合上表现突出，但在产量与抗病性、抗寒性组合上表现稍差，属于高产、优质、抗性稍差的品种类型，主要包括京麦 202、京农 19、轮选 158、中麦 623、京麦 183、京农 72、中麦 Z21、长 6794、京麦 186、中麦 5051、京农 14-62、轮选 149 和中麦 121 等 13 个品种。III 型和 IV 型品种都是 2003—2016 年期间审定的老品种，在一定的历史时期为小麦生产做出过重要贡献。III 型和 IV 型品种平均产量水平仅约为 I 型和 II 型品种的 80%，在基于产量与性状组合的品种综合评价中没有优势，当前生产应用价值较低，但在单性状上仍有很多品种存在优势，可作为育种亲本应用。例如，轮选 518、晋农 207、津农 7 号、航麦 247、京冬 17 和京花 11 号等品种的抗病性，长 4738 和津农 7 号的抗寒性，津农 7 号、石优 20 号、津农 6 号、中麦 1062、京花 9 号、京冬 12 和京冬 22 等品种的品质；中麦 1062、航麦 247、轮选 987 和京花 11 号等品种的亩穗数；津农 6 号的千粒重；中麦 415 的容重等优异特性都可以进行合理利用。

GYT 双标图中产量-性状组合中已经包含了产量的贡献，各产量-性状组合通常为正相关关系，因而便于建立小麦品种综合评价指数，对品种的综合表现进行排序和评价。GYT 双标图中的品种理想指数(SI)是 GYT 数据表中各产量-性状组合标准化数据的平均值，体现了品种产量与其他性状同步选择的综合表现^[7]。本研究根据各品种在 GYT 双标图 ATA 轴上的投影位置，筛选出综合表现优良的京麦 179、京农 16、津麦 3118、京麦 189、京麦 202、京花 12 号、京农 19、轮选 158 和中麦 623 等品种，以及表现综合表现较差的北农 9549、津农 4 号、京冬 12、晋农 207、中麦 415、石优 20 号、邯 4564、长 4738、轮选 518 和津农 7 号等品种。尽管小麦育种和品种审定的基本目标是选择高产、优质、早熟和抗逆性好的品种，但在不同历史时期小麦品种选择的主要目标性状也在调整变化中，以选择符合当时生产上需要的小麦新品种，因而不同历史时期育成的小麦品种类型丰富，特征特性差异较大。采用 GYT 双标图方法对北部冬麦区的国审小麦品种进行科学分类和评价，可为历史审定品种的合理利用提供依据，也为 GYT 双标图方法在我国冬小麦品种综合评价和分类研究上树立了一个范例。

4 结论

GYT 双标图的产量-性状组合中包含了共同的产量性状，产量-性状组合之间通常为正相关，聚焦于丰产性与育种目标性状的同步选择，更适用于品种多性状选择和综合评价。采用 GYT 双标图分析方法将北部冬麦区 47 个国审小麦品种划分为 4 个差异显著的品种类型，其中 I 型品种综合表现最好，是小麦产量与其余目标性状协调最好的品种类型，在生产上推广应用价值最高；II 型品种综合表现优良，在产量与品质指数、穗数组合上表现突出，在产量与抗病性、抗寒性组合上表现稍差，属于高产优质、抗性稍差的品种类型，在当前生产上应用价值较高；III 型品种的产量与抗病和抗寒指数组合最好，但在其余性状上表现差，综合生产应用价值有限，可作为抗性亲本；IV 型品种综合表现较差，可选择单性状表现优良的品种作为育种亲本应用。

参考文献

- [1] 赵广才. 小麦优质高产栽培理论与技术. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2018:18-24.
Zhao G C. Good quality and high yield cultivation of wheat: Theory and technology. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2018:18-24.
- [2] 权威, 马锦绣, 华正蓉, 左静红, 王伟伟, 王俊稳, 张立平, 庞斌双, 赵昌平. 我国部分审定小麦品种的品质性状及基因型分析. 植物遗传资源学报, 2023,24(3):701-718.

- Quan W, Ma J X, Hua Z R, Zuo J H, Wang W W, Wang J W, Zhang L P, Pang B S, Zhao C P. Quality Analysis in a Collection of Wheat Varieties Approved in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023,24(3):701-718.
- [3] 何中虎, 庄巧生, 程顺和, 于振文, 赵振东, 刘旭. 中国小麦产业发展与科技进步. *农学学报*, 2018,8(01):99-106.
He Z H, Zhuang Q S, Cheng S H, Yu Z W, Zhao Z D, Liu X. Wheat production and technology improvement in China. *Journal of Agriculture*, 2018,8(01):99-106.
- [4] Cooper M, Woodruff D R, Eisemann R L, Brennan P S, Delacy I H. A selection strategy to accommodate genotype-by-environment interaction for grain yield of wheat: managed-environments for selection among genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, 1995,90(3):492-502.
- [5] 许乃银, 李健. 棉花区试中品种多性状选择的理想试验环境鉴别. *作物学报*, 2014,40(11):1936-1945.
Xu N Y, Li J. Identification of ideal test environments for multiple traits selection in cotton regional trials. *Acta Agronomica Sinica*, 2014,40(11):1936-1945.
- [6] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析. 北京: 中国农业出版社, 2003:38-44.
Zhuang Q S. Chinese wheat improvement and pedigree analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2003:38-44.
- [7] Yan W, Frégeau-Reid J. Genotype by yield*trait (GYT) biplot: a novel approach for genotype selection based on multiple traits. *Scientific Reports*, 2018,8(1):8242.
- [8] Yan W, Frégeau-Reid J. Breeding line selection based on multiple traits. *Crop Science*, 2008,48(2):417-423.
- [9] 许乃银, 李健. 基于GGE双标图的长江流域国审棉花品种分类特征评价. *中国农业科学*, 2014,47(24):4780-4789.
Xu N Y, Li J. Evaluation on the classification characteristics of national registered cotton varieties in the Yangtze river valley based on GGE biplot. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014,47(24):4780-4789.
- [10] Xu N, Fok M, Li J, Yang X, Yan W. Optimization of cotton variety registration criteria aided with a genotype-by-trait biplot analysis. *Scientific Reports*, 2017,7:17237.
- [11] 严威凯. 品种选育与评价的原理和方法评述. *作物学报*, 2022,48(9):2137-2154.
Yan W K. A critical review on the principles and procedures for cultivar development and evaluation. *Acta Agronomica Sinica*, 2022,48(9):2137-2154.
- [12] Xu N, Fok M, Zhang G, Li J, Zhou Z. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014,13(9):1921-1933.
- [13] Merrick L F, Glover K D, Yabwalo D, Byamukama E. Use of genotype by yield*trait (GYT) analysis to select hard red spring wheat with elevated performance for agronomic and disease resistance traits. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2020,2(2):e200009.
- [14] 许乃银, 赵素琴, 张芳, 付小琼, 杨晓妮, 乔银桃, 孙世贤. 基于GYT双标图对西北内陆棉区国审棉花品种的分类评价. *作物学报*, 2021,47(4):660-671.
Xu N Y, Zhao S Q, Zhang F, Fu X Q, Yang X N, Qiao Y T, Sun S X. Retrospective evaluation of cotton varieties nationally registered for the Northwest Inland cotton growing regions based on GYT biplot analysis. *Acta Agronomica Sinica*, 2021,47(4):660-671.
- [15] 岳海旺, 韩轩, 魏建伟, 郑书宏, 谢俊良, 陈淑萍, 彭海成, 卜俊周. 基于GYT双标图分析对黄淮海夏玉米区域试验品种综合评价. *作物学报*, 2023,49(5):1231-1248.
Yue H W, Han X, Wei J W, Zheng S H, Xie J L, Chen S P, Peng H C, Bu J Z. Comprehensive evaluation of maize hybrids tested in Huang-Huai-Hai summer maize regional trial based on GYT biplot analysis. *Acta Agronomica Sinica*, 2023,49(5):1231-1248.
- [16] Yan W, Holland J B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation. *Euphytica*, 2010,171(3):355-369.
- [17] 陈万权, 刘太国, 陈巨莲, 徐世昌. 小麦抗病虫性评价技术规范 第1部分: 小麦抗条锈病评价技术规范. 中华人民共和国农业行业标准, 2007,NY/T 1443.1-2007.
Chen W Q, Liu T G, Chen J L, Xu S C. Rules for Resistance Evaluation of wheat to Diseases and Insect Pests Part 1: Rule for Resistance Evaluation of Wheat to Yellow Rust (*Puccinia striiformis* West. f. *tritici* Eriks. et Henn.). Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China, 2007,NY/T 1443.1-2007.
- [18] 陈万权, 刘太国, 陈巨莲, 徐世昌. 小麦抗病虫性评价技术规范 第2部分: 小麦抗叶锈病评价技术规范. 中华人民共和国农业行业标准, 2007,NY/T 1443.2-2007.
Chen W Q, Liu T G, Chen J L, Xu S C. Rules for Resistance Evaluation of wheat to Diseases and Insect Pests Part 2: Rule for Resistance Evaluation of Wheat to Leaf Rust [*Puccinia triticina* (=P. *recondita* Roberge ex Desmaz. f. sp. *tritici*)]. Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China, 2007,NY/T 1443.2-2007.
- [19] 刘万才, 姜玉英, 张跃进, 杨万梅, 张国彦. 小麦白粉病测报调查规范. 中华人民共和国农业行业标准, 2002,NY/T 613-2002.
Liu W C, Jiang Y Y, Zhang Y J, Yang W M, Zhang G Y. Rules for the investigation and forecast of wheat powdery mildew [*Blumeria graminis* (DC.)

Speer]. Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China, 2002,NY/T 613-2002.

[20] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用. 作物学报, 2010,36(11):1805-1819.

Yan W. Optimal use of biplots in analysis of multi-location variety test data. *Acta Agronomica Sinica*, 2010,36(11):1805-1819.

[21] Yan W, Kang M S, Ma B, Woods S, Cornelius P L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 2007,47(2):643-655.