

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 030006; 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, 47个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和津麦3118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和轮选158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。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参考。

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 Xiaoqing¹, XU Naiyin², SUN Jing³, LIU Sujuan⁴, LIANG Chen⁵, LIU Linbin⁴, XU Jianwen², XU Xu²
(¹National Agricultural Technical Extension and Service Center, Beijing 100125; ²Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014; ³Shanxi Province Seed Industry Development Center, Taiyuan 030006; ⁴Hebei Seed Station, Shijiazhuang 050031; ⁵Tianjin 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-kernels 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, et al, characterized by outstanding performance in the combination of

收稿日期: 2023-07-30 修回日期: 2023-08-24 网络出版日期: 2023-09-20

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230730001>

第一作者研究方向为农作物品种试验与管理, E-mail: zhangxiaoping@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)

earliness, disease resistance, cold resistance, 1000-kernels weight and test weight, and 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, et al, 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. This study provided reference for the use of GYT biplot for comprehensive wheat cultivar evaluation and classification based on yield×trait combinations for the NWWR, 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

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7个省、直辖市的冬麦区,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]。根据不同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的选择和亲本改良的工作,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]。新中国成立以来,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,对提升北部冬麦区及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,对一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(GT, genotype by trait)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],但由于性状间存在复杂的相关性,GT双标图并不适用于品种的多性状综合评

价。Yan等^[7]提出的品种-产量×性状组合(GYT, genotype by yield×trait)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,但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生产应用的面积进行,审定公告数据记录不详,因此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9个主要目标性状数据,各品种的主要目标性状见表1,其中产量、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=(蛋白质含量/14+湿面筋含量/30.5+稳定时间/10+吸水率/60)/4,其中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。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),以各品种的3种病害量化赋值的平均值为抗病指数。

1.2 数据处理

采用统计软件GGEbiplot (<http://www.ggebiplot.com>)的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(SI, superiority

index)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,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,产量×性状组合为产量乘以性状,可用产量×性状表示,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×性状组合为产量除以性状,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。将各品种产量×性状组合数据减去各性状组合的平均值,再除以标准差,得到各产量和性状组合的标准化数据;各品种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中,单箭头的横轴为平均性状轴(ATA, average trait axis),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(ATC, average trait coordinate),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
Table 1 Main characters of wheat varieties nationally approved for the northern winter wheat region in China during 2003–2023

代码 Code	品种 Variety	审定 年份 AY	产量 (kg/hm ²) Y	生育期 (d) GP	穗数 (×10 ⁴ / hm ²) ES	千粒重 (g) TKW	容重 (g/L) TW	穗粒数 KPS	抗病 指数 DRI	抗寒 指数 CRI	品质 指数 QI	理想 指数 SI	品种 类型 Type
G01	轮选987	2003	6836	260	697.5	40.2	792	30.0	3.00	12.50	0.76	-0.53	III
G02	晋农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	2003	6518	260	645.0	35.0	780	36.0	3.50	17.50	0.82	-1.14	IV
G04	北农9549	2003	6095	260	605.3	45.1	775	28.0	3.33	17.50	0.82	-1.54	IV
G05	京冬12	2004	6158	258	666.0	41.6	772	29.5	3.50	12.50	0.99	-1.13	III
G06	邯4564	2006	6676	256	636.0	36.0	768	34.1	3.33	12.80	0.83	-0.79	III
G07	长4738	2006	7130	262	571.5	45.0	775	32.4	3.67	19.60	0.80	-0.74	IV
G08	京冬17	2007	6824	251	594.0	41.3	789	34.1	2.67	11.90	0.93	-0.26	III
G09	轮选518	2007	6553	253	598.5	37.4	774	34.6	2.33	15.30	0.86	-0.68	III
G10	京冬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	2007	6273	250	596.1	42.6	803	29.6	3.00	10.60	1.18	-0.65	III
G12	中麦175	2008	7375	251	682.5	41.0	804	31.6	2.83	14.35	0.80	0.04	III
G13	河农825	2009	7071	248	612.0	38.2	804	37.0	4.00	16.20	0.81	-0.60	IV

表 1 (续)

代码 Code	品种 Variety	审定 年份 AY	产量 (kg/hm ²) Y	生育期 (d) GP	穗数 (×10 ⁴ / hm ²) ES	千粒重 (g) TKW	容重 (g/L) TW	穗粒数 KPS	抗病 指数 DRI	抗寒 指数 CRI	品质 指数 QI	理想 指数 SI	品种 类型 Type
G14	石麦 15 号	2009	7051	252	651.0	39.2	765	32.4	3.33	15.80	0.80	-0.57	IV
G15	保麦 10 号	2010	7142	250	598.5	39.6	795	35.6	3.67	15.15	0.79	-0.50	IV
G16	京冬 18	2010	6965	249	637.5	42.3	796	31.7	3.67	16.35	0.81	-0.66	IV
G17	中麦 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	2011	6624	250	592.5	38.2	795	33.1	3.67	15.90	1.04	-0.85	IV
G19	中麦 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	2013	6945	254	607.5	48.2	801	30.3	3.00	17.20	0.96	-0.41	IV
G21	农大 5181	2014	7361	253	666.0	43.0	766	29.4	3.00	13.40	0.83	-0.04	III
G22	轮选 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	2014	6326	256	594.0	43.4	780	29.5	2.50	18.60	1.35	-0.67	IV
G24	中麦 1062	2016	7085	253	712.5	39.0	772	30.3	3.17	15.85	0.95	-0.32	IV
G25	航麦 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	2016	6918	254	694.5	44.8	769	27.3	2.67	15.70	0.91	-0.35	III
G27	京花 12 号	2018	8324	251	604.5	47.6	800	32.0	3.00	14.70	0.84	0.91	I
G28	农大 3486	2018	8300	252	633.0	41.9	809	32.8	3.00	15.50	0.80	0.77	I
G29	航麦 2566	2018	8308	253	519.0	46.9	789	37.3	3.00	16.30	0.83	0.76	I
G30	中麦 93	2018	8153	251	615.0	43.7	819	32.2	2.83	17.10	0.77	0.61	I
G31	长 6794	2018	7958	252	577.5	41.3	800	35.9	3.00	17.10	0.97	0.53	II
G32	京麦 179	2018	8864	253	585.0	47.0	810	38.4	3.00	14.00	0.89	1.64	I
G33	津麦 3118	2019	8610	253	670.5	45.6	810	30.9	3.00	12.55	0.76	1.27	I
G34	京麦 183	2020	8222	250	646.5	42.9	795	34.8	3.67	15.20	0.87	0.68	II
G35	京麦 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	2021	7952	250	616.5	45.8	800	32.5	3.67	17.10	0.86	0.30	II
G37	中麦 121	2021	7903	249	649.5	43.4	802	31.5	3.67	16.70	0.86	0.25	II
G38	轮选 149	2021	7850	249	616.5	39.9	798	35.1	3.33	17.30	0.92	0.29	II
G39	京麦 189	2022	8724	257	564.0	43.9	804	38.3	3.33	14.50	0.91	1.26	I
G40	京农 16	2022	8583	257	684.0	45.6	821	30.0	3.67	10.40	0.88	1.37	I
G41	京麦 202	2023	8860	261	609.0	46.7	794	36.8	3.67	19.10	0.84	1.08	II
G42	京农 19	2023	8512	261	664.5	45.4	815	30.9	3.67	17.50	0.91	0.85	II
G43	京农 72	2023	8489	262	643.5	42.4	778	34.4	3.67	17.80	0.84	0.67	II
G44	轮选 158	2023	8591	262	651.0	46.2	802	32.4	3.67	18.80	0.85	0.82	II
G45	中麦 5051	2023	8005	260	673.5	39.8	803	33.8	3.67	19.30	1.00	0.39	II
G46	中麦 623	2023	8564	261	691.5	40.3	807	33.3	3.67	19.10	0.87	0.79	II
G47	中麦 Z21	2023	7992	262	696.0	40.3	804	31.2	3.50	18.50	1.14	0.56	II

品种类型: 品种基于 GYT 双标图聚类的类型; 下同

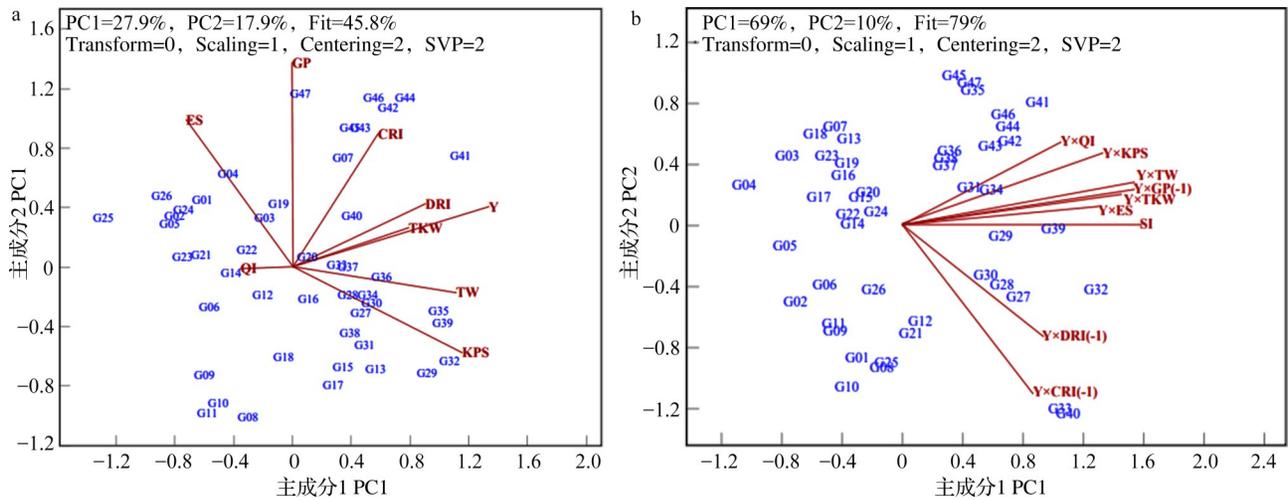
AY: Approval year; Y: Grain yield; GP: Growth period; ES: Effective spike number per hectare; TKW: 1000-kernels weight; TW: Test weight; KPS: Kernels per spike; DRI: Disease resistance index; CRI: Cold resistance index; QI: Quality index; SI: Variety superiority index; Type: Variety type in clustering analysis based on GYT biplot; The same as below

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双标图表明(图1a),品质指数、穗数向量与产量向量的夹角为钝角,表现为负相关;其他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、抗病指数与产量正相关性较强,其次是容重和抗寒指数,再次是生育期和穗粒数。穗粒数与品质指数、穗数、生育期之间表现负相关,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。由图可知,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。综上,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。



红色射线为性状或产量×性状组合的向量;品种代码同表1;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,其他产量×性状组合同;SI:理想指数;下同

The red rays are the vectors of traits or yield×trait combinations; The variety codes are the same as table 1; Y×QI represents the product of yield and quality index, Y×CRI(-1) represents the quotient of yield divided by cold resistance index, the same for other yield × trait combinations;

SI: Variety superiority index; The same as below

图1 我国北部冬麦区国审小麦品种性状的GT双标图(a)和GYT双标图(b)

Fig. 1 The genotype by trait (GT) biplot (a) and 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(图1b)表明,前两个主成了解释了总变异的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。各产量×性状组合与品种理想指数的相关性均达到极显著水平。品种与产量×性状组合间的互动模式表现为:津麦3118(G33)和京农16(G40)在产量×抗病指数和产量×抗寒指数上表现最好,而京麦179(G32)、京麦189(G39)和京麦202(G41)等品种在产量与其余性状组合和理想指数上表现优秀,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、产量与品质指数、产量三要素(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),产量×抗病指数、产量×抗寒指数和产量×穗粒数这3个组合间互相表现为显著正相关,产量×抗寒指数与产量×品质指数相关性不显著,产量与其余性状的组合间及与理想指数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。

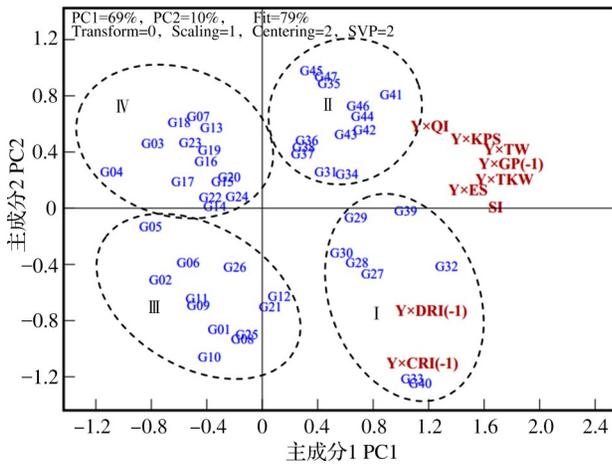


图3 2003-2023年我国北部冬麦区国审小麦品种GYT双标图分析的品种聚类

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

(G33)等8个品种;II型品种包括京麦202(G41)、京农19(G42)和轮选158(G44)等13个品种;III型品种包括中麦175(G12)、农大5181(G21)和航麦247(G25)等12个品种;IV型品种包括中麦1062(G24)、津农6号(G20)和保麦10号(G15)等14个品种。II型品种在产量×生育期、产量×穗数、产量×穗粒数、产量×千粒重、产量×容重、产量×品质指数等组合以及品种理想指数上表现明显优势;I型品种除了具备II型品种的上述优势外,还在产量×抗病指数和产量×抗寒指数上表现较好;III型品种在产量×抗病指

数和产量×抗寒指数上有优势,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型品种的产量×抗病指数、产量×抗寒指数和理想指数极显著优于II型品种;产量×千粒重、产量×容重和产量×生育期显著优于II型品种;产量×穗粒数优于II型品种,但差异不显著;产量×穗数和产量×品质指数略差于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III型和IV型品种。(2)II型品种产量×抗病指数和产量×抗寒指数的表现差于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型品种的产量×抗病指数和产量×抗寒指数极显著优于IV型品种,其余性状组合均与IV型品种差异不显著。综上,I型品种的综合表现最好,在产量×抗病指数、产量×抗寒指数、产量×千粒重、产量×容重、产量×生育期和品种理想指数上表现突出,在产量×穗数、产量×穗粒数和产量×品质指数上表现优良,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,在产量×品质指数和产量×穗数上表现突出,在产量×抗病指数和产量×抗寒指数上表现稍差,属于高产、优质、抗性稍差的品种类型。III型品种在产量×抗病指数和产量×抗寒指数上表现较好,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。

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

序号 Number	产量×性状组合 Yield×trait	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
1	产量×生育期	1.25±0.09aA	0.85±0.08bA	-0.87±0.15cB	-0.75±0.12cB
2	产量×穗数	0.72±0.28aA	0.86±0.19aA	-0.54±0.23bB	-0.74±0.16bB
3	产量×穗粒数	1.06±0.29aA	0.79±0.14aA	-0.91±0.14bB	-0.56±0.15bB
4	产量×千粒重	1.26±0.15aA	0.74±0.17bA	-0.80±0.13cB	-0.72±0.13cB
5	产量×容重	1.24±0.11aA	0.87±0.10bA	-0.91±0.13cB	-0.74±0.10cB
6	产量×抗病指数	1.27±0.20aA	-0.04±0.11bB	0.22±0.30bB	-0.88±0.18cC
7	产量×抗寒指数	1.29±0.42aA	-0.23±0.09bBC	0.31±0.25bB	-0.79±0.12cC
8	产量×品质指数	0.50±0.23aA	0.91±0.17aA	-0.66±0.18bB	-0.57±0.25bB
9	品种理想指数	1.07±0.13aA	0.60±0.07bB	-0.52±0.11cC	-0.72±0.08cC

同一行中标有相同小写或大写字母的数据分别在0.05和0.01水平上差异不显著。性状数据为平均值±标准误

Data marked with the same lowercase or uppercase letter in the same row are not significantly different at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. Character data are mean ± 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、增强抗逆性、抗病性等方面发挥了重要作用,新中国成立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^[7,13–15]。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等最主要的小麦育种目标性状,采用GYT双标图方法对其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和津麦3118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。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提供了参考。

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(1):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(1):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, Fréreau-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, Fréreau-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. NY/T 1443.1-2007 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. 北京: 中国标准出版社, 2007
Chen W Q, Liu T G, Chen J L, Xu S C. NY/T 1443.1-2007 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.). Beijing: China Standards Press, 2007
- [18] 陈万权, 刘太国, 陈巨莲, 徐世昌. NY/T 1443.2-2007, 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. 北京: 中国标准出版社, 2007
Chen W Q, Liu T G, Chen J L, Xu S C. NY/T 1443.2-2007 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*)]. Beijing: China Standards Press, 2007
- [19] 刘万才, 姜玉英, 张跃进, 杨万梅, 张国彦. NY/T 613-2002 小麦白粉病测报调查规范. 北京: 中国标准出版社, 2002
Liu W C, Jiang Y Y, Zhang Y J, Yang W M, Zhang G Y. NY/T 613-2002 rules for the investigation and forecast of wheat powdery mildew [*Blumeria graminis* (DC.) Speer]. Beijing: China Standards Press, 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 K. 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