

CIMMYT 小麦在中国春麦区的适应性分析

张 勇¹, 吴振录², 张爱民³, Maarten van Ginkel⁴, 何中虎^{1,5}

(¹中国农业科学院作物科学研究所/国家小麦改良中心, 北京 100081; ²新疆农业科学院核技术与生物技术研究所, 乌鲁木齐 830000;

³中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京 100101; ⁴CIMMYT, Apdo. Postal 6-641, 06600, Mexico, D.F., Mexico;

⁵CIMMYT 中国办事处, 北京 100081)

摘要: 【目的】研究 CIMMYT 小麦在中国的适应性有助于提高春麦区的育种水平。【方法】10 份 CIMMYT 代表性品种和 15 份中国春麦主栽品种于 2001 和 2002 年种植在中国春麦区的 9 个试点和 CIMMYT 的 4 种不同处理环境, 分析产量、产量构成因子和农艺性状的变化趋势。【结果】CIMMYT 品种穗数和穗粒数多, 千粒重中等, 具有广泛适应性, 比中国品种具有更高的产量优势; 黑龙江光敏感品种植株高、抽穗和成熟晚、穗数中等、穗粒数少、千粒重和产量低; 中国其它品种株高中等、抽穗和成熟早、穗数少、穗粒数中等、千粒重高、产量中等。CIMMYT 品种引种到中国后, 株高降低, 抽穗和成熟提早, 并略减产; 黑龙江光敏感品种在 CIMMYT 种植时株高增加, 抽穗和成熟推迟, 千粒重降低, 并显著减产; 中国其它品种在 CIMMYT 种植时株高增加、抽穗和成熟略推迟、千粒重变化较小, 并略减产。【结论】CIMMYT 品种可在云南、青海和新疆直接推广种植; 内蒙古、甘肃和宁夏为其次适宜地区, 可以直接推广应用, 但主要用作杂交亲本; 在黑龙江以作杂交亲本为宜。为提高引种效率, 并考虑到性状的重复力大小, 在 CIMMYT 为中国选种时应重点选择籽粒较大的材料。为云南所选材料可略矮、适当晚熟, 内蒙古、甘肃、宁夏和新疆所选材料可略高、较早熟, 青海所选材料可较高、熟期相当, 黑龙江应主要选择高纬度材料、植株偏高且晚熟。

关键词: 普通小麦; 产量; 基因型与试点互作; 适应性

Adaptation of CIMMYT Wheat Germplasm in China's Spring Wheat Regions

ZHANG Yong¹, WU Zhen-lu², ZHANG Ai-min³, Maarten van Ginkel⁴, HE Zhong-hu^{1,5}

(¹Crop Science Institute / National Wheat Improvement Center, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081; ²Institute of Nuclear & Biological Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830000; ³Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; ⁴CIMMYT, Apdo. Postal 6-641, 06600, Mexico, D.F., Mexico; ⁵CIMMYT-China, C/O, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】Information on adaptation of CIMMYT wheat germplasm in China would greatly enhance wheat breeding efficiency in China's spring wheat regions. 【Method】Twenty-five spring wheat cultivars including 10 from CIMMYT and 15 from China, were sown at 9 locations in China and 4 management environments in Obregon Station at CIMMYT in 2001 and 2002 seasons, and grain yield, yield components, and other agronomic traits were investigated. 【Result】CIMMYT cultivars were characterized by more spikes and grains per spike, medium thousand kernel weight, and high grain yield with broad adaptability. The photoperiod sensitive cultivars from Heilongjiang province performed tall plant height, late maturity, medium spike number, but low grains per spike, thousand-kernel weight, and grain yield. The other Chinese cultivars had medium plant height, early maturity, low spike number and medium grains per spike, but high thousand kernel weight, and medium grain yield. CIMMYT cultivars performed short plant height, earlier maturity, and a little lower grain yield when planted in China's spring wheat regions compared with that in

收稿日期: 2005-02-07; 接受日期: 2006-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(30060043)和“948”重大国际合作项目资助。

作者简介: 张 勇(1971-), 男, 安徽合肥人, 副研究员, 博士, 研究方向为小麦育种和品质改良。通讯作者何中虎(1963-), 男, 陕西蒲城人, 研究员, 博士, 研究方向为小麦育种。Tel: 010-68918547; Fax: 010-68918547; E-mail: zhhe@public3.bta.net.cn

CIMMYT. The photoperiod sensitive cultivars had taller plant height, later maturity, and much lower grain yield, while the other Chinese cultivars showed taller plant height, a little later maturity, and a little lower grain yield with almost the same thousand kernel weight when they were planted in CIMMYT. 【Conclusion】 It is recommended to directly use CIMMYT wheat in production in Yunnan, Qinghai, and Xinjiang provinces. CIMMYT wheat can also be used in production in such provinces as Inner Mongolia, Gansu, and Ningxia provinces, and are more suitable as crossing parents in these areas; while only can be used as crossing parents in Heilongjiang province. In order to improve the shuttle breeding efficacy, and taking into account the genotype mean repeatability for major traits, Chinese scientists should focus on lines with large grain size when selecting materials in CIMMYT for China, choosing lines with short plant height, late maturity for Yunnan, and lines with a little tall plant height and early maturity for Inner Mongolia, Gansu, Ningxia and Xinjiang, lines with a little tall plant height and around the same maturity for Qinghai, while lines for high latitude environment with a little tall plant height and late maturity for Heilongjiang.

Key words: *T. aestivum*; Grain yield; Genotype by location interaction; Adaptation

0 引言

【本研究的重要意义】春小麦种植面积和总产量分别约占全国小麦的 14%和 10%，且多分布在经济和科技相对落后的地区，生产上存在的主要问题是单产低，适应性、稳产性和品质较差，改良品种是提高春小麦竞争力的重要途径。【前人研究进展】位于墨西哥的国际玉米小麦改良中心（CIMMYT）以春小麦育种闻名于世，育成品种丰产性好，植株较矮、株型紧凑、较抗倒伏，品质较好，抗病性强，适应性广^[1]。自 20 世纪 70 年代以来，黑龙江、内蒙古、宁夏和新疆等地曾用 CIMMYT 小麦作杂交亲本育成了 140 多个品种，在生产上推广利用。我国目前春小麦品种的改良在很大程度上依赖于对 CIMMYT 种质的有效改造和利用^[2]。

近年来，中国春小麦主要省区正与 CIMMYT 开展穿梭育种活动，每年有 1 000 多份 CIMMYT 材料在国内种植观察，各地还常派技术人员到 CIMMYT 现场参与田间选择。CIMMYT 用中国小麦与 CIMMYT 种质配制了大量组合，目的是为中国培育产量、品质和适应性更好的品种，并利用中国品种的早熟、丰产、籽粒灌浆快等特性，为世界其它地区培育优良种质。但由于对 CIMMYT 种质引种到中国和中国品种在 CIMMYT 主要性状的变化规律缺乏系统研究，性状选择难以把握，从而严重制约了穿梭育种的效率。宛秀兰根据抽穗天数和千粒重对 Tanori F 71 在中国春麦区的适应性进行了初步研究，认为 CIMMYT 小麦可在新疆和云南直接推广应用，其它春麦区可作杂交亲本^[3]。姚金保和袁汉民等分别对 CIMMYT 小麦在中国江苏和宁夏等地区的表现进行了初步分析^[4, 5]。【本研究的切入点】笔者也对 CIMMYT 种质在中国春麦区的产量、品质和抗病性进行了初步报道^[6]，但对

CIMMYT 种质和中国春麦区主栽品种在中国春麦区和 CIMMYT 试验站的产量、产量因子和农艺性状还未进行深入分析。【拟解决的关键问题】为此本文通过生育期、株高、穗数、穗粒数、千粒重和产量等性状，分析 CIMMYT 种质和中国春麦区主栽品种在中国春麦区和 CIMMYT 试验站的表现，为中国与 CIMMYT 穿梭育种和引种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

来自 CIMMYT 的 10 份代表性品种和中国 6 省区的 15 份春麦主栽品种，于 2001 和 2002 年分别种植在云南弥渡、黑龙江哈尔滨和克山、内蒙古呼和浩特、甘肃兰州/武威、宁夏永宁、青海西宁、新疆和静和乌鲁木齐等 9 个试点和 CIMMYT Obregon 试验站的 4 种不同处理环境。试验材料名称及系谱详见表 1，各试点主要生态环境资料见表 2。本试验选点和取材时包括云南弥渡和四川品种在内的原因是 CIMMYT 品种可在云南直接推广种植，而四川绵阳育成的品种在云南种植面积较大，适应性较好，是当地的主栽品种^[7]。甘肃兰州和武威分别只在 2001 年和 2002 年进行了试验。Obregon 试验站土壤，日照充足，小麦生育期降雨量很少，灌溉设施优良，可模拟多种小麦生长环境，是 CIMMYT 小麦育种研究的主要基地，适合对产量潜力及农艺性状进行选择。

1.2 田间设计

采用 Latinized alpha lattice design（拉丁方格子设计），3 次重复，5 行，15 列。国内播期和播种量除弥渡试点（冬播 150 kg·ha⁻¹）外，均为春播 300 kg·ha⁻¹。小区面积 4.8 m²，6 行区，4 m 行长，0.2 m 行距。CIMMYT 播期和播种量均为冬播 130 kg·ha⁻¹。4 种处理分别为：（1）灌溉、正常播期、垄作（FNB）：11

表 1 参试品种名称、来源和系谱

Table 1 Name, origin, and pedigree of the 25 tested wheat cultivars

品种 Cultivar	来源和主栽地区 Location of origin	系谱 Pedigree and selection history
Seri M 82	CIMMYT	Veery, CM33027-F-15M-500Y-0M-87B-0Y-0MEX
Bacanora T 88	CIMMYT	Kauz, CM67458-4Y-1M-3Y-1M-5Y-0B-0MEX
Culiacan T 89	CIMMYT	Tui, CM74849-2M-2Y-3M-2Y-0B-46M-0Y-0MEX
Attila	CIMMYT	Nd/Vg9144//Kal/Bb/3/Yaco/4/Vee#5, CM85836-45Y-0M-0Y-4M-0Y
Turaco	CIMMYT	Cno79*2/Prl, CM90312-C-7B-2Y-3B-0X-1B-0Y
Rayon F 89	CIMMYT	Ures*2/Prl, CM90315-A-2B-2Y-1B-0Y-0MEX
Weaver	CIMMYT	Hahn*2/Prl, CM90320-A-1B-4Y-0B
Baviacora M 92	CIMMYT	Bow/Nac/Vee/3/Bjy/Coc, CM92066-J-0Y-0M-0Y-4M-0Y-0MEX
Super Seri#1	CIMMYT	Seri*4//Aga/6*Yr/3/Seri, CRG2468-I-3Y-2B-0Y
Inqalab 91	CIMMYT	WI711/Crow, PB19545-9A-0A-0PAK
绵阳 19 Mianyang 19	四川/云南 Sichuan/Yunnan	绵阳 11 系选 Mianyang 11 selection
绵阳 20 Mianyang 20	四川/云南 Sichuan/Yunnan	绵阳 11 系选 Mianyang 11 selection
绵阳 26 Mianyang 26	四川/云南 Sichuan/Yunnan	绵阳 20/川育 9 号 Mianyang 20/Chuanyu 9
新克早 9 Xinkehan 9	黑龙江 Heilongjiang	克珍/克红//克 69-701/3/克 74F ₃ -249-3 Kezhen/Kehong//Ke69-701/3/Ke 74F ₃ -249-3
克丰 6 Kefeng 6	黑龙江 Heilongjiang	克 85F ₃ -868/克 85F ₆ -784 Ke 85F ₃ -868/Ke 85F ₆ -784
龙麦 19 Longmai 19	黑龙江 Heilongjiang	克 65F ₃ -196/Rulofen//克 62-348-2/Nadadores/3/龙 74-5778 Ke 65F ₃ -196/Rulofen//Ke 62-348-2/Nadadores/3/Long 74-5778
龙麦 26 Longmai 26	黑龙江 Heilongjiang	沈 66-71/Tanori F71/3/松 71-175/Mexipak 66//克 74-204/4/克 88-2060-2 Shen 66-71/Tanori F71/3/Song 71-175/Mexipak 66//Ke 74-204/4/Ke 88-2060-2
陇春 15 Longchun 15	甘肃 Gansu	75002/Prikumskaja 2
宁春 4 Ningchun 4	宁夏/内蒙古 Ningxia/Inner Mongolia	Sonora 64/宏图 Sonora 64/Hongtu
宁春 16 Ningchun 16	宁夏/内蒙古 Ningxia/Inner Mongolia	SG Ta1/宁春 4 号//宁春 4 号 SG Ta1/Ningchun 4//Ningchun 4
青春 533 Qingchun 533	青海 Qinghai	Tamworth/4/Rondine/3/幸福麦//Jubileina 2/C258/5/Alondra Tamworth/4/Rondine/3/Xingfumai//Jubileina 2/C258/5/Alondra
青春 566 Qingchun 566	青海 Qinghai	81S013/3/Abbondanza108-3-5-1-2/Yecora//75 γ -0-6
高原 602 Plateay 602	青海 Qinghai	高原 182/3987-88(3) Gaoyuan 182/3987-88(3)
新春 2 Xinchun 2	新疆 Xinjiang	(Siete Cerros//新春 1 号/Orofen) ⁶⁰ Coy (Siete Cerros//Xinchun 1/Orofen) ⁶⁰ Coy
新春 6 Xinchun 6	新疆 Xinjiang	中 7906/新春 2 号 Zhong 7906/Xinchun 2

表 2 各试点主要生态环境资料¹⁾

Table 2 Characteristics of the testing environments

试点 Location	降雨量 ²⁾ Precipitation	最高温度 (°C) ³⁾ Max. temp	最低温度 Min. temp	光照时数 Sun hour	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude	海拔(m) Elevation
FNB	714.8	28.8	6.9	8.8	27.3°	109.1°	39
FNF	714.8	28.8	6.9	8.8	27.3°	109.1°	39
FLB	714.8	29.3	7.5	8.9	27.3°	109.1°	39
RNB	414.8	28.4	6.6	8.6	27.3°	109.1°	39
弥渡 Midu	473.6	21.1	6.5	9.6	25.1°	100.7°	1 720
哈尔滨 Harbin	384.2	22.4	10.1	5.7	45.7°	126.7°	171
克山 Keshan	449.3	22.1	15.9	8.8	48.1°	125.5°	235
呼和浩特 Huhehaote	449.2	26	11.2	8.7	40.7°	111.7°	1 041
兰州/武威 Lanzhou/Wuwei	350.9	24.1	10.5	6	36.1°	103.9°	1 517
永宁 Yongning	389.8	30.8	7.6	8.7	38.2°	106.2°	1 117
西宁 Xining	553.9	19.9	5.2	7.6	36.6°	101.8°	2 275
和静 Hejing	517.6	27.1	13.1	9.3	42.2°	86.6°	1 076
乌鲁木齐 Urumqi	692.4	25.5	8.4	9.5	43.8°	87.1°	890

¹⁾ 两年资料均值; ²⁾ 播种至收获期间降雨量, 包括灌溉用水; ³⁾ 播种至收获期间平均最高和最低温度

¹⁾ Average value of the two wheat seasons; ²⁾ Represents total precipitation and irrigation water from seeding to harvest; ³⁾ Max. temp and min. temp each represent the mean maximum and minimum temperature from seeding to harvest, respectively

月下旬播种, 垄作, 2 垄/小区, 3 行/垄, 3 m 行长, 小麦生育期间 5 次灌溉, 用水总量 700 mm 左右, 收获面积 4.8 m², 模拟高产垄作最适环境^[8]; (2) 灌溉、正常播期、平播 (FNF): 11 月下旬播种, 平播, 8 行区, 3.8 m 行长, 5 次灌溉, 用水总量 700 mm 左右, 收获面积 3.125 m², 模拟高产平播最适环境; (3) 减少灌溉、正常播期、垄作 (RNB): 3 次灌溉, 用水总量 400 mm 左右, 在小麦抽穗后遇干旱胁迫, 其余同 (1), 模拟半干旱垄作环境; (4) 灌溉、迟播、垄作 (FLB): 1 月中旬播种, 垄作, 2 垄/小区, 3 行/垄, 2.8 m 行长, 5 次灌溉, 用水总量 700 mm 左右, 收获面积 4.48 m², 在小麦生育后期遇高温胁迫, 模拟热带高温环境。小区人工除草, 并于抽穗至成熟期间防止鸟类危害, 减少产量损失。田间管理同当地品比试验。

1.3 性状调查

包括抽穗期 (播种至抽穗天数)、成熟期 (播种至成熟天数)、株高 (cm)、穗数 (穗/m²)、穗粒数 (20 穗平均数)、千粒重 (g) 和产量 (t·ha⁻¹)。其中穗数和穗粒数在 CIMMYT 的 4 种不同处理环境未进行调查。收获时去除两边行, 测产, 并折算成公顷产量。

1.4 统计分析

用合适的空间模型 (spatial model) 对原始试验数据进行行列效应校正^[9], 误差方差同质性检验按 Bartlett 的方法^[10], 然后用 Statistical Analysis System (SAS Institute, 1997) 统计分析软件进行方差及方差组分分析, 计算基本统计量、性状的遗传力 (重复力) 和相关^[11]。调用 SAS PROC MIXED 命令, 采用品种和试点固定、年度及年度相关互作用和重复随机的混合线性模型进行方差分析, 并根据各效应的期望均方估计方差组分。某性状的单点单年度品种平均重复力公

式为: $h_l^2 = \frac{v_l}{v_l + \frac{\sigma_e^2}{n_r}}$, 其中 v_l 为该性状品种方差组分,

σ_e^2 为误差方差组分, n_r 为重复数; 某性状的多点品种平均重复力公式为:

$$h_L^2 = \frac{v_L}{v_L + \frac{\sigma_{(LE)}^2}{n_E} + \frac{\sigma_{(LY)}^2}{n_Y} + \frac{\sigma_{(LEY)}^2}{n_E n_Y} + \frac{\sigma_e^2}{n_E n_Y n_r}}$$

其中, v_L 为该性状品种方差组分, $\sigma_{(LE)}^2$ 为品种与试点

互作方差组分, $\sigma_{(LY)}^2$ 为品种与年份互作方差组分,

$\sigma_{(LEY)}^2$ 为品种与试点及年份互作方差组分, n_E 和 n_Y 分

别为试点和年份数, 其余同单点分析。调用 SAS PROC CORR 命令, 采用品种在多个试点性状的均值进行相关分析。由于穗数和穗粒数在 CIMMYT 的 4 种不同处理环境未加调查, 故在进行与穗数和穗粒数相关的分析时, 只选用了中国试点的数据。

2 结果与分析

2.1 方差分析

方差同质性检验结果表明, 所有性状符合误差方差同质性 (表略)。将性状方差分析结果列于表 3, 并将性状方差组分和重复力分析结果列于表 4。

方差分析表明, 除穗数的基因型与试点互作效应和千粒重的试点效应不显著外, 其它性状的基因型、试点和基因型与试点互作效应分别达 0.05、0.01 或 0.001 显著水平。除穗数的年度效应达 0.05 显著水平外, 其它性状的年度效应、基因型与年度互作效应均不显著。可以看出, 千粒重大小主要受基因型影响, 抽穗期、成熟期、穗数、穗粒数和产量受试点环境影响较大, 株高则同时受基因型和试点的影响。

从表 4 可以看出, 所有性状的基因型与年度互作方差组分均最小, 并小于误差方差组分。株高、抽穗期、成熟期和千粒重的重复力较高, 其中以株高最高 (0.951), 千粒重次之 (0.944); 它们的基因型方差组分均大于基因型与试点互作、基因型与试点及年度互作方差组分, 基因型、基因型与试点及年度互作方差组分均大于误差方差组分; 其中株高和抽穗期的基因型与试点互作方差组分大于误差方差组分, 成熟期和千粒重的基因型与试点互作方差组分小于误差方差组分。穗数和穗粒数的平均重复力低, 分别为 0.429 和 0.524; 二者的基因型方差组分和基因型与试点互作方差组分接近, 并均小于误差方差组分; 基因型与试点及年度互作方差组分则均大于误差方差组分。产量的重复力中等 (0.752), 基因型和基因型与试点互作方差组分基本相等, 且基因型与试点及年度互作方差组分大于基因型、基因型与试点互作方差组分, 三者均大于误差方差组分。另据单点单年度分析表明, 试

点间性状重复力变异较大(资料未列出)。抽穗期和千粒重的重复力高(均为 0.968),且变幅较小,分别为 0.780~0.999 和 0.800~0.996,试点间稳定性好。其次为株高(0.966),变幅为 0.541~0.999。成熟期、穗数和穗粒数的重复力较低,分别为 0.889、0.841 和 0.876;且变幅大,分别为 0.410~0.994、0.444~0.962 和 0.299~0.995,试点间稳定性差。产量的重复力中等(0.920),变幅中等(0.656~0.994)。

从以上分析可知,千粒重基因型方差组分是基因型与试点互动方差组分的 17 倍,主要受基因型影响,重复力高,试点间稳定性好。穗数和穗粒数的基因型方差组分和基因型与试点互动方差组分接近,二者的重复力低,试点间变异大。产量的基因型和基因型与试点互动方差组分基本相等,重复力中等,试点间变异较大。

2.2 CIMMYT 和中国品种的产量、产量因子及其它农艺性状

将 CIMMYT 品种、黑龙江光敏感品种和中国其

它地区来源品种在中国和 CIMMYT 的性状基本统计量列于表 5。

从表 5 可以看出,CIMMYT 品种、黑龙江光敏感品种和中国其它品种的多数性状在中国和 CIMMYT 总体表现基本一致。CIMMYT 品种植株矮,穗数和穗粒数多,千粒重中等,产量高;光敏感品种植株高,抽穗和成熟晚,穗数中等,穗粒数少,千粒重和产量低;中国其它品种株高中等,抽穗和成熟早,穗数少,穗粒数中等,千粒重高,产量中等。

CIMMYT 品种引种到中国后,与其在 Obregon 试验站相比,株高平均降低 13 cm,抽穗和成熟分别早 6 和 10 d,千粒重则基本保持不变,平均每公顷减产 0.46 t;只有 Seri M 82 的产量(5.64t·ha⁻¹)基本保持不变。与其在中国相比,光敏感品种在 CIMMYT 株高平均增加 19 cm,抽穗期和成熟期分别推迟 21 和 16 d,千粒重显著降低(4.2 g),平均每公顷减产 1.57 t;只有龙麦 26 的抽穗期和成熟期分别推迟 6 和 4 d,千粒重基本保持不变,每公顷减产 0.45 t。中国其它品种在

表 3 产量、产量因子和农艺性状方差分析

Table 3 F value of analysis of variance for grain yield, yield components and other agronomic traits

变异来源 Source of variation	自由度 DF	株高 PH	抽穗期 DH	成熟期 DM	穗数 ¹⁾ SN	穗粒数 GPS	千粒重 TKW	产量 GY
基因型 Genotype (G)	24	96.66***	95.10***	28.59***	4.43***	6.37***	62.98***	16.64***
试点 Location (L)	12	6.86**	23.38***	6.58**	20.63***	4.93*	2.49	10.50***
年度 Year (Y)	1	0.39	2.30	0.59	12.78*	0.73	0.87	4.04
重复 Replication	26	4.06***	1.51*	5.08***	9.22***	5.79***	4.43***	13.36***
基因型×试点 G×L	284	2.10***	6.28***	1.61**	1.28	1.81***	1.39***	2.59***
基因型×年度 G×Y	24	1.17	1.38	0.93	1.14	1.05	1.19	1.35
试点×年度 L×Y	12	36.39***	251.34***	804.51***	3.85***	13.36***	26.92***	17.93***
基因型×试点×年度 G×L×Y	270	5.17***	6.70***	6.40***	4.26***	4.61***	9.28***	6.45***

¹⁾ 穗数和穗粒数的试点、基因型与试点互动、试点与年度互动、基因型与试点及年度互动的自由度分别为 8、192、8 和 140。PH, DH, DM, SN, GPS, TKW 和 GY 分别表示株高,抽穗期,成熟期,穗数,穗粒数,千粒重和产量。*, **和*** 分别表示 0.05, 0.01 和 0.001 显著水平

¹⁾The degree of freedom of location, genotype by location, location by year, and genotype by location by year interactions for spike number and grains per spike are 8, 192, 8, and 140, respectively. PH, DH, DM, SN, GPS, TKW, and GY each represents plant height, days to heading, days to maturity, spike number, grains per spike, thousand kernel weight, and grain yield, respectively. The same as below; *, **, and *** each indicates significant difference at 0.05, 0.01, and 0.001 probability level, respectively

表 4 产量、产量因子和农艺性状方差组分和重复力分析

Table 4 Variance components for line, line by location interaction, pooled error, and line mean repeatability across locations for grain yield, yield components, and other agronomic traits

性状 Trait	基因型 G	基因型×试点 G×L	基因型×年度 G×Y	基因型×试点×年度 G×L×Y	误差 Error	重复力 Repeatability
株高 PH	140.360	16.051	0.223	22.394	14.498	0.951
抽穗期 DH	13.664	8.389	0.172	2.875	1.554	0.906
成熟期 DM	6.073	1.200	0.000	4.165	2.034	0.865
穗数 SN	870	809	155	2818	2685	0.429
穗粒数 GPS	3.732	5.251	0.000	9.469	7.690	0.524
千粒重 TKW	19.750	1.165	0.126	6.519	2.196	0.944
产量 GY	0.303	0.300	0.007	0.322	0.174	0.752

CIMMYT 株高平均增加 17 cm, 抽穗期和成熟期分别推迟 6 和 9 d, 千粒重基本保持不变, 平均每公顷减产 0.62 t; 只有绵阳 26 和新春 6 号的千粒重基本保持不变或略有增加, 每公顷分别减产 0.13 和 0.49 t。CIMMYT 品种在 CIMMYT 试点的平均产量 (6.06 t·ha⁻¹) 比黑龙江光敏品种 (3.43 t·ha⁻¹) 高 76.7%, 比中国其它品种 (5.05 t·ha⁻¹) 高 20.0%。CIMMYT 品种在中国各试点的平均产量 (5.60 t·ha⁻¹) 比黑龙江光

敏感品种 (5.00 t·ha⁻¹) 高 12.0%, 与中国其它品种 (5.67 t·ha⁻¹) 基本持平。由此可见, CIMMYT 品种在 Obregon 试验站的表现明显优于中国品种, 在中国则与国内品种产量接近, 能基本适应中国春麦区的环境。

2.3 CIMMYT 品种在中国各试点和当地主栽品种的产量比较

将 CIMMYT 品种在中国各试点和当地主栽品种的产量比较结果列于表 6。

表 5 CIMMYT 品种和中国品种在中国和 CIMMYT 主要性状的基本统计量

Table 5 Mean, range, and standard deviation for grain yield, yield components, and other agronomic traits of CIMMYT and Chinese wheat cultivars in China and CIMMYT

性状 Trait	试点 Location	CIMMYT (10 ¹⁾) CIMMYT wheat			光敏感品种 (4) Photoperiod sensitive wheat			中国其它品种 (11) Other Chinese wheat		
		均值 Mean	变幅 Range	标准差 SD	均值 Mean	变幅 Range	标准差 SD	均值 Mean	变幅 Range	标准差 SD
		株高 (cm)	CIMMYT	90	76~100	11	122	117~124	11	101
PH	中国 China	77	69~87	13	103	98~106	19	84	67~96	16
抽穗期 (d)	CIMMYT	86	82~89	7	107	91~112	9	86	78~91	7
DH	中国 China	80	79~82	23	86	85~88	23	80	79~82	23
成熟期 (d)	CIMMYT	137	132~141	6	147	137~153	8	136	133~141	5
DM	中国 China	127	126~128	26	131	130~133	24	127	125~129	25
穗数 (穗/m ²)	CIMMYT	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SN	中国 China	453	410~517	143	434	378~472	137	398	377~429	122
穗粒数	CIMMYT	—	—	—	—	—	—	—	—	—
GPS	中国 China	34.0	30.3~37.5	7.0	32.0	29.7~34.8	5.4	33.1	28.6~36.3	6.9
千粒重 (g)	CIMMYT	37.8	32.8~42.8	5.2	32.7	28.1~40.8	5.5	44.2	39.2~49.5	5.8
TKW	中国 China	37.4	30.3~37.5	5.2	36.9	34.5~40.3	5.4	43.8	39.7~48.1	5.7
产量 (t·ha ⁻¹)	CIMMYT	6.06	5.56~6.65	1.5	3.43	2.57~4.87	1.2	5.05	4.31~5.98	1.3
GY	中国 China	5.60	5.10~6.10	1.7	5.00	4.59~5.32	1.5	5.67	4.98~6.47	1.7

¹⁾ 表示品种数, —表示数据缺失

¹⁾ represents number of cultivars, '—' represents not determined

表 6 CIMMYT 品种在中国各试点和当地主栽品种的产量比较

Table 6 Comparison for grain yield of CIMMYT and Chinese local cultivars in 9 Chinese locations

试点 Location	CIMMYT 品种(10) CIMMYT wheat			当地主栽品种 Local cultivars		
	均值 Mean	变幅 Range	标准差 SD	均值 Mean	变幅 Range	标准差 SD
弥渡 Midu (Attila ¹⁾)	4.40	3.56~5.04	1.0	3.85(3 ²⁾)	3.63~3.99	1.0
哈尔滨 Harbin (Baviacora M 92)	4.98	4.39~5.62	0.8	6.01(2)	5.86~6.15	0.5
克山 Keshan (Inqalab 91)	2.95	2.32~3.27	0.5	3.89(2)	3.80~3.97	0.3
呼和浩特 Huhhot (Culiacan T 89)	4.93	3.98~5.73	1.0	5.61(2)	5.41~5.82	0.5
兰州/武威 Lanzhou/Wuwei (Bacanora T 88)	5.95	5.14~6.36	0.7	6.44(1)	6.44	0.4
永宁 Yongning (Culiacan T 89)	5.69	4.63~6.43	0.7	6.41(2)	5.65~7.17	1.2
西宁 Xining (Rayon F 89)	7.40	6.36~8.47	1.0	7.55(3)	7.11~8.17	1.6
和静 Hejing (Baviacora M 92)	8.10	7.23~9.53	0.9	9.22(2)	9.15~9.30	0.6
乌鲁木齐 Urumqi (Baviacora M 92)	5.95	5.20~6.80	0.7	6.08(2)	5.86~6.31	0.9

¹⁾ 表示在该试点产量表现最高的 CIMMYT 品种; ²⁾ 表示当地品种数

¹⁾ represents the highest yielding CIMMYT cultivars at that location; ²⁾ represents the number of local cultivars

从表 6 可以看出, CIMMYT 品种在弥渡的平均产量 ($4.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 高于当地主栽品种 ($3.85 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), 高产品种 Attila ($5.04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 的产量比当地高产主栽品种 ($3.99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 高 26.3%。CIMMYT 品种在哈尔滨 ($4.98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 和克山 ($2.95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 的平均产量均低于当地主栽品种, 高产品种 Baviacora M 92 ($5.62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 和 Inqalab 91 ($3.27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 也均低于当地所有主栽品种 ($5.86\sim 6.15$ 和 $3.80\sim 3.97 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$)。CIMMYT 品种在呼和浩特平均产量为 $4.93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 高产品种 Culiacan T 89 的产量 ($5.73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 虽然略低于当地高产主栽品种 ($5.82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), 但高于当地低产主栽品种 ($5.41 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$)。同样, CIMMYT 品种在兰州/武威平均产量为 $5.95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 高产品种 Bacanora T 88 的产量 ($6.36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 接近当地主栽品种 ($6.44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$)。CIMMYT 品种在永宁平均产量为 $5.69 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 高产品种 Culiacan T 89 的产量 ($6.43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 虽然低于当地高产主栽品种 ($7.17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), 但高于当地低产主栽品种 ($5.65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$)。CIMMYT 品种在西宁平均产量为 $7.40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 高产品种 Rayon F 89

的产量 ($8.47 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 比当地高产主栽品种 ($8.17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 高 3.7%。CIMMYT 品种在和静和乌鲁木齐平均产量分别为 8.10 和 $5.95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 高产品种 Baviacora M 92 的产量 (9.53 和 $6.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 分别比当地高产主栽品种 (9.30 和 $6.31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) 高 2.5% 和 7.8%。

从以上分析可知, CIMMYT 品种在中国各试点的适应性差异较大。CIMMYT 高品种在云南、青海和新疆的产量高于当地高产主栽品种; 在内蒙古、甘肃和宁夏高品种的产量虽然低于当地高产主栽品种, 但高于当地低产主栽品种; 在黑龙江高品种的产量则低于当地所有主栽品种, 这主要是由于其对光照不敏感所致。

2.4 中国各地主栽品种在 CIMMYT 和各自来源地的性状表现

将中国各地主栽品种在 CIMMYT 灌溉、正常播期、平播环境 (代表一般的选种环境) 和各自来源地的性状表现列于表 7。

表 7 中国各试点主栽品种在 CIMMYT 和各自来源地的性状表现

Table 7 Grain yield, yield components, and other agronomic traits of Chinese cultivars in the full irrigation flat planting environment and their original locations

性状	试点	云南 (3 ²⁾)	黑龙江 (4)	宁夏 ³⁾ (3)	青海 (3)	新疆 (2)
Trait	Location	Yunnan	Heilongjiang	Ningxia	Qinghai	Xinjiang
株高	CIMMYT (98 ¹⁾)	96	126	102	123	103
PH	来源地	81	78	85	115	92
抽穗期	CIMMYT (91)	94	110	86	94	87
DH	来源地	136	69	81	82	66
成熟期	CIMMYT (138)	139	149	135	138	136
DM	来源地	178	107	128	150	113
千粒重	CIMMYT (40.9)	49.5	35.0	48.1	42.2	49.8
TKW	来源地	43.1	38.5	42.1	39.9	50.3
产量	CIMMYT (7.74)	5.57	4.32	6.62	4.42	7.41
GY	来源地	3.85	4.79	6.06	7.55	7.65

¹⁾ 表示灌溉、正常播期、平播环境中 10 个 CIMMYT 品种的平均值; ²⁾ 表示当地品种数; ³⁾ 包括内蒙古、甘肃和宁夏

¹⁾ represents the mean of the 10 CIMMYT wheats in CIMMYT under full irrigation, sown normally, and planted on the flat environment; ²⁾ represents the number of local cultivars; ³⁾ includes Inner Mongolia, Gansu, and Ningxia Provinces

从表 7 可以看出, 与其在各自来源地相比, 在 CIMMYT 灌溉、正常播期、平播环境, 中国云南主栽品种株高平均增加 15 cm, 比当地 CIMMYT 品种平均矮 2 cm; 抽穗期和成熟期分别早 42 和 39 d, 比 CIMMYT 品种分别晚 3 和 1 d; 千粒重显著增加 (6.4 g), 比 CIMMYT 品种高 8.6 g ; 平均每公顷增产 1.72 t , 但比 CIMMYT 品种低 2.17 t 。黑龙江主栽品种株高平均增加 46 cm, 比 CIMMYT 品种高 29 cm; 抽穗期

和成熟期分别推迟 40 和 42 d, 比 CIMMYT 品种分别晚 19 和 11 d; 千粒重显著降低 (3.7 g), 比 CIMMYT 品种低 5.9 g ; 平均每公顷减产 0.53 t , 比 CIMMYT 品种低 3.42 t 。内蒙古、甘肃和宁夏主栽品种株高平均增加 17 cm, 比 CIMMYT 品种高 4 cm; 抽穗期和成熟期分别推迟 5 和 7 d, 比 CIMMYT 品种分别早 5 和 3 d; 千粒重显著增加 (6.0 g), 比 CIMMYT 品种高 7.2 g ; 平均每公顷增产 0.56 t , 但比 CIMMYT 品种低 1.12 t 。

青海主栽品种株高平均增加 8 cm, 比 CIMMYT 品种高 25 cm; 抽穗期推迟 12 d, 比 CIMMYT 品种晚 3 d, 成熟期早 12 d, 与 CIMMYT 品种相同; 千粒重增加 2.3 g, 比 CIMMYT 品种高 1.3 g; 平均每公顷减产 3.13 t, 比 CIMMYT 品种低 3.32 t。新疆主栽品种株高平均增加 11 cm, 比 CIMMYT 品种高 5 cm; 抽穗期和成熟期分别推迟 21 和 26 d, 比 CIMMYT 品种分别早 4 和 2 d; 千粒重基本相同, 比 CIMMYT 品种高 8.9 g; 平均每公顷减产 0.24 t, 比 CIMMYT 品种低 0.33 t。

从以上分析可知, 中国各地主栽品种在 CIMMYT 灌溉、正常播期、平播环境中性状的表现差异较大。与 CIMMYT 品种相比, 云南品种植株略矮、抽穗和成熟略晚、千粒重高、产量低; 黑龙江品种植株高、抽穗和成熟晚、千粒重和产量低; 内蒙古、甘肃和宁夏品种植株略高、抽穗和成熟早、千粒重高、产量低; 青海品种植株高、抽穗晚、成熟期相同、千粒重略高、产量低; 新疆品种植株高、抽穗早、成熟略早、千粒重高、产量略低。

3 讨论

引种可以大大丰富中国的小麦遗传资源, 拓宽遗传基础, 是改良我国品种的有效途径。碧玉麦、南大 2419、阿勃、阿夫、墨巴 65 等品种在中国的应用和推广表明, 及时引进和合理利用国外种质是提高中国小麦生产和育种成效的关键^[2, 12]。

已有研究表明, 中国春麦区的品种改良以应用 CIMMYT 小麦为主^[2]。在国内已有研究的基础上^[3-5], 本研究在 Obregon 试验站和中国的 CIMMYT 小麦适应地区同时种植 CIMMYT 种质和当地主栽品种, 表明 CIMMYT 代表性品种穗数和穗粒数多, 籽粒大小中等, 对光周期不敏感, 具有广泛适应性, 比中国品种具有更高的产量潜力。另有资料表明其最新育成的品种产量潜力更高^[13], 在澳大利亚也表现穗数和穗粒数较多、高产和稳产特性^[14], 这充分说明了 CIMMYT 品种的广泛适应性。CIMMYT 按降雨量、温度等因素将全世界划分为 12 个大环境^[8, 15], 根据各环境的育种目标配制杂交组合, 通过穿梭育种、抗病性筛选和国际多点鉴定等方法^[14], 使其育成品种具有广泛适应性。因此可以利用 CIMMYT 品种穗数和穗粒数多、适应性广的特性进一步改良中国春麦品种。另据研究, CIMMYT 近年育成品种的蛋白质品质优于中国品种, 可以利用 CIMMYT 品种进一步改良中国小麦的面筋强度^[6]。

本试验是在宛秀兰等的研究基础上^[3-5], 采用多个品种在国内多个试点和 CIMMYT Obregon 试验站按正规的产量比较试验进行, 因此资料的代表性和可靠性高, 所得结论与宛秀兰等的研究结果基本一致, 对指导 CIMMYT 小麦在中国的应用具有一定的参考价值。CIMMYT 品种在云南、青海和新疆等地可以直接推广种植, 如墨巴 65 等品种在云南和新疆等地生产中的应用^[2], Attila 已通过新疆品种审定。另有资料显示, CIMMYT 品种在云南、青海和新疆等地的千粒重也较高, 这可能与云南、青海等地海拔较高, 日平均温度较低, 生育期长有关; 而新疆地区的日较差较大, 日平均最高温度较高、最低温度较低, 灌溉条件好。孙本普等研究表明小麦灌浆期长, 日平均最高温度较高, 日平均最低温度较低可使千粒重增加^[16]。CIMMYT 品种的光敏感性明显不如黑龙江品种, 其产量和千粒重在黑龙江地区也显著低于当地品种, 可见光敏感性是影响 CIMMYT 品种在黑龙江地区适应性的主要因素。需要说明的是, CIMMYT 近年来加强了高纬度地区的育种工作, 新近育成的高代品系在黑龙江的适应性明显提高。因此, 黑龙江应优先利用 CIMMYT 高纬度环境的种质。

此外, 本试验和笔者多年的观察结果表明, CIMMYT 品种对叶锈病具有突出的抗性, 对条锈病的抗性也优于中国大多数品种, 但在白粉病的抗性方面则基本无优势。因此, 中国各单位在 CIMMYT 选择优良种质时, 在利用 CIMMYT 材料的品质和抗病性前提下, 应参考有关性状在墨西哥和我国各地种植时的变化规律, 灵活掌握, 以有效提高引进材料的利用效率。考虑到穗数和穗粒数重复力低, 千粒重重复力高, 产量重复力中等, 选种时应重点选择籽粒较大的材料。云南所选材料可略矮、适当晚熟; 黑龙江所选材料可较高和晚熟; 内蒙古、甘肃、宁夏和新疆所选材料可略高、较早熟; 青海所选材料可较高、熟期相当。

4 结论

CIMMYT 品种穗数和穗粒数多, 千粒重中等, 具有广泛适应性; 黑龙江光敏感品种植株高, 抽穗和成熟晚, 穗数中等, 穗粒数少, 千粒重和产量低; 中国其它品种株高中等, 抽穗和成熟早, 穗数少, 穗粒数中等, 千粒重高, 产量中等。可以利用 CIMMYT 品种穗数和穗粒数多、适应性广的特性进一步改良中国春麦品种。CIMMYT 品种可在云南、青海和新疆直接

推广种植; 内蒙古、甘肃和宁夏为次适宜地区, 主要用作杂交亲本; 在黑龙江以作杂交亲本为宜。在 CIMMYT 选种时, 为云南所选材料可略矮、适当晚熟, 内蒙古、甘肃、宁夏和新疆所选材料可略高、较早熟, 青海所选材料可较高、熟期相当, 黑龙江应主要选择高纬度材料、植株偏高且晚熟。

References

- [1] Pingali P L (Eds). CIMMYT 1989-1999 world wheat facts and trends. Global wheat research in a changing world: challenges and achievements. Mexico, D.F.: CIMMYT. 1999.
- [2] He Z H, Rajaram S. China/CIMMYT collaboration on wheat breeding and germplasm exchange: results of 10 years of shuttle breeding (1984-94). *Wheat Special Report No.46*. Mexico, D.F.: CIMMYT. 1997.
- [3] 宛秀兰. 引种墨西哥小麦的初步研究—关于墨西哥小麦适应地区的分析. *作物学报*, 1981, 17(4): 249-257.
Wan X L. A preliminary study on the adaptability of Mexican wheat varieties in China. *Acta Agronomica Sinica*, 1981, 7(4): 249-257. (in Chinese)
- [4] 姚金保, 周朝飞, 钱存鸣, 姚国才, 杨学明. 江苏与 CIMMYT 小麦穿梭育种进展与展望. *麦类作物学报*, 1998, 18(5): 14-16.
Yao J B, Tang C F, Qian C M, Yao G C, Yang X M. The progress of the shuttling breeding program between Jiangsu and CIMMYT. *Journal of Triticeae Crops*, 1998, 18(5): 14-16. (in Chinese)
- [5] 袁汉民, 吴淑筠, 张富国, 钱晓曦. 宁夏墨麦种质资源研究. *宁夏农林科技*, 1998, (4): 8-12.
Yuan H M, Wu S J, Zhang F G, Qian X X. Studies on genetic resources of Mexican wheat in Ningxia. *Ningxia Agronomy and Forest*, 1998, (4): 8-12. (in Chinese)
- [6] 吴振录, 张 勇, 何中虎, 樊哲儒, 辛文利, 邵立刚, 李元清, 杨文雄, 魏亦勤, 马晓刚, 潘 超, 刘艳萍. CIMMYT 小麦在我国的产量和品质表现. *麦类作物学报*, 2004, 24(3): 34-39.
Wu Z L, Zhang Y, He Z H, Fan Z R, Xin W L, Shao L G, Li Y Q, Yang W X, Wei Y Q, Ma X G, Pan C, Liu Y P. Performance on yield and quality of CIMMYT wheat in China. *Journal of Triticeae Crops* 2004, 24(3): 34-39. (in Chinese)
- [7] 李生荣. 绵阳号小麦品种改良及系谱分析. 何中虎, 张爱民. 中国小麦育种研究进展. 北京: 中国科学技术出版社, 2002:146-150
Li S R. Improvement and pedigree analysis of Mianyang seris wheat. In: He Z H, Zhang A M. *Advance of Wheat Breeding in China*. Beijing: China Science and Technology Press, 2002: 146-150. (in Chinese)
- [8] Rajaram S, Hettel G P (Eds.). Wheat Breeding at CIMMYT: commemorating 50 years of research in Mexico for Global wheat improvement. *Wheat Special Report No. 29*. Mexico, D.F.: CIMMYT. 1995.
- [9] Gilmour A R, Cullis B R, Verbyla A P. Accounting for natural and extraneous variation in the analysis of field experiments. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 1997, 2: 269-293.
- [10] Bartlett R A. Nearest neighbour models in the analysis of field experiments (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society*, 1978, B 40: 147-174.
- [11] SAS Institute. *SAS User's Guide: Statistics*. SAS Institute, Cary, NC. 1997.
- [12] 董玉琛, 郑殿升. 中国小麦遗传资源. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Dong Y C, Zheng D S. *Chinese Wheat Germplasm*. Beijing: China Agriculture Press, 2000. (in Chinese)
- [13] Trethowan R M, van Ginkel M, Rajaram S. Progress in breeding wheat for yield and adaptation in global drought affected environments. *Crop Science*, 2002, 42: 1441-1446.
- [14] Cooper M, Byth D E, Woodruff D R. An investigation of the grain yield adaptation of advanced CIMMYT wheat lines to water stress environments in Queensland. I. Crop physiological analysis. *Australia Journal of Agricultural Research*, 1994, 45: 965-984.
- [15] Dubin H J, Rajaram S. Breeding disease-resistant wheats for tropical highlands and lowlands. *Annual Review of Phytopathology*, 1996, 34: 503-526.
- [16] 孙本普, 王 勇, 李秀云, 王广元, 刘 锋, 李风云, 张金帮, 王继浩, 孙爱梅, 王宝忠, 王淑英, 王 峰, 李 萌, 朱学群. 气象条件对冬小麦千粒重的影响. *麦类作物学报*, 2003, 23(4): 52-56.
Sun B P, Wang Y, Li X Y, Wang G Y, Liu F, Li F Y, Zhang J B, Wang J G, Sun A M, Wang B Z, Wang S Y, Wang F, Li M, Zhu X Q. Effect of climatic elements on thousand grain weight of winter wheat. *Journal of Triticeae Crops*, 2003, 23(4): 52-56. (in Chinese)

(责任编辑 孙雷心)