

用 TOPSIS 综合评价小麦种质资源对麦长管蚜的抗虫性

李峰奇^{1,2}, 孔令让³, 刘玉升⁴, 王和洲⁵, 彭俊华^{1*}

(1. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 山东农业大学作物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; 4. 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018; 5. 中国农业科学研究院农田灌溉研究所, 河南新乡 453003)

摘要: 以 107 份小麦 (*Triticum aestivum* L.) 种质资源为材料, 分析了各基因型的抗麦长管蚜特征, 共发现 1 份高抗材料和 19 份中抗材料。另外, 对各供试材料的分蘖数、千粒重、抽穗期等 10 个小麦农艺性状指标进行了调查。经相关性检验发现, 分蘖数和株高均与抗虫指数和抗虫级别呈极显著负相关。综合抗虫指数、抗虫级别和 10 个小麦农艺性状共 12 个特征数据进行 TOPSIS 分析, 结果发现, 来自伊朗的小麦品种 PI 623081 表现最好, 其次是华麦 8 号、黔麦 15 和 PI 634770 等, 新麦 19 的表现最差。研究结果对小麦的抗虫育种工作具有极其重要的指导意义。

关键词: 小麦; 麦长管蚜; 抗虫性; TOPSIS

中图分类号: S512.103.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2013)03-0228-14

TOPSIS Based Comprehensive Evaluation of the Resistance in Wheat Germplasm to English Grain Aphid

LI Feng-Qi^{1,2}, KONG Ling-Rang³, LIU Yu-Sheng⁴, WANG He-Zhou⁵, PENG Jun-Hua^{1*}

(1. Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; 4. Department of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China; 5. Farmland Irrigation Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang, Henan 453003, China)

Abstract: In this study, 107 wheat cultivars/accesses were evaluated for resistance to English grain aphid. Only one genotype displayed high resistance and nineteen genotypes showed middle resistance. Ten agronomic traits including tiller number, plant height and heading date were investigated. The relationships between agronomic traits and resistance of wheat germplasm to English grain aphid were studied. The results revealed that resistance was significantly negatively correlated with tiller number and plant height. Resistance index, resistance scale and ten comprehensive agronomic traits were ranked with Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Results illustrated that Iranian cultivar PI 623081 was in first place, followed by Huamai 8, Qianmai 15 and PI 634770 in second place. Xinmai 19 was ranked last. This study provides valuable information for wheat aphid resistance breeding programs.

Key words: Wheat; English grain aphid; Resistance; TOPSIS

麦长管蚜 (*Sitobion avenae* (Fabricius) (Homiptera: Aphididae)) 是小麦生产中非常重要的害虫之一^[1,2], 其在北美和欧洲等小麦种植区均有分布^[3], 也是我国绝大多数麦区成株期蚜虫中的优势种^[4]。在小麦抽穗后, 麦长管蚜主要在小麦

的旗叶和穗部危害, 直接刺吸小麦汁液, 同时它分泌的蜜露能引发真菌病害——煤污病, 进而影响光合作用^[5-7]; 此外, 麦长管蚜在危害时还能传播病毒。因此, 它对小麦的产量和品质均能造成危害, 显著影响千粒重、穗重、穗产量和不育小穗数等指

收稿日期: 2012-08-22, 修回日期: 2013-01-07。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目 (2009CB118300)。

作者简介: 李峰奇 (1982 -), 男, 博士研究生, 主要从事植物抗病虫害遗传学研究 (E-mail: pandit@163.com)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: jpeng@wbpgcas.cn; jpeng@lamar.colostate.edu)。

标,并最终减少小麦产量^[8,9]。在我国麦长管蚜严重危害的地区,产量损失可高达60%^[10]。

我国对麦长管蚜的防治主要靠化学农药,从而导致了环境污染、蚜虫天敌数量减少和蚜虫抗药性增加。植物寄主抗性是最经济、有效和环境友好的害虫防治方法。我国学者对小麦种质资源抗蚜虫进行了研究,但到目前为止,只有很少几份抗性材料报道^[11-14]。我国拥有丰富的小麦种质资源,国际上在对麦二叉蚜和俄罗斯麦蚜研究中也积累了优异的抗性材料,这为麦长管蚜抗性材料的挖掘奠定了基础。

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) 法是系统工程有限方案多目标决策分析的一种常用方法。该方法在农业生产中已成功用于玉米耐盐性评价和甘蓝型油菜苗期磷高效基因型筛选^[15,16]等研究。Wang 等^[4]用 TOPSIS 方法评价了 22 份小麦种质资源基于 13 个表型指标的麦长管蚜抗性综合情况,该方法能够把抗性性状和农艺性状结合起来进行综合评判,其结果对小麦抗蚜虫育种研究有重要的参考价值。本研究以 107 份小麦种质资源为材料,以抗虫指数、抗虫级别和 10 个小麦农艺性状共 12 个特征数据进行 TOPSIS 分析,并从中挖掘出具有抗虫育种应用价值的小麦材料,以期为今后小麦抗虫育种工作提供指导作用。

1 材料和方法

1.1 实验材料

本研究所用的小麦 (*Triticum aestivum* L.) 种质资源材料包括 107 份小麦品种/系,包括 93 份在我国各大麦区广泛种植的小麦品种和地方品种,此外,还含有 14 份优异的抗二叉蚜和抗俄罗斯蚜材料。供试的国内小麦材料由我国 10 所高校和研究所提供,供试的国外优异小麦种质由美国农业部提供。具体见表 1。

1.2 实验设计与指标测定

实验于 2009-2010 年在山东农业大学实验田 (山东省泰安市, 36°10'10.13" N, 117°08'51.60" E) 开展。实验设 3 次重复,在每个小区中各品种种植 1 行,行长 1 m,行距 0.4 m,株距 0.1 m。2010-2011 年将该实验在中国农科院农田灌溉所商丘实验站 (河南省商丘市, 34°35'13.33" N,

115°34'30.56" E) 按上述方法重复进行 1 次。实验期间按照常规农田栽培管理方式进行管理。

实验采用自然感蚜法。在蚜虫盛发期,每个基因型随机选择 5 到 10 秆进行蚜虫数目调查。抗蚜指数的计算方法为:各供试材料的蚜虫密度/总供试材料的蚜虫密度。抗性分级按 Painter^[17] 提出的 7 级法进行 (表 2)。

在 2009-2011 年,我们对各供试材料的分蘖数、千粒重、开花期、抽穗期、穗长、穗重、小穗数、穗粒数、穗粒重、株高和旗叶面积 11 个农艺性状进行了调查。旗叶面积计算方法为:叶长 × 叶宽 × 0.7。麦长管蚜抗性指数和农艺性状关系采用 Spearman's rho 相关法来计算。

1.3 TOPSIS 分析法

用 TOPSIS 进行综合评价的方法为:对 n 个评价对象的 m 个指标数据求均值,建立评价数据矩阵 $X = (X_{ij})_{n \times m}$ 。对高优指标和低优指标分别采用无量纲化公式做归一化处理,即:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad \text{或} \quad Z_{ij} = \frac{1/X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (1/X_{ij})^2}}。$$

得到矩阵 $Z = (Z_{ij})_{n \times m}$ 后,把最大值和最小值构成的最优和最劣向量分别记为: $Z^+ = (Z_{\max 1} \ Z_{\max 2} \ \cdots \ Z_{\max m})$, $Z^- = (Z_{\min 1} \ Z_{\min 2} \ \cdots \ Z_{\min m})$,第 i 个评价对象与最优、最劣方案的距离分别为:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{\max j} - Z_{ij})^2} \quad \text{和}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{\min j} - Z_{ij})^2}。$$

最后,求出第 i 个评价对象与最优值的接近程度 C_i ,即:

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-)。$$

将上述所计算的结果用 SAS 和 SPSS 13.0 软件来完成。

2 结果

2.1 小麦种质资源抗蚜性结果

实验期间,在山东泰安和河南商丘的两个实验点,经田间调查发现,所有基因型均被麦长管蚜自然种群成功感染。在蚜虫自然种群中,麦长管蚜占 90% 以上,为田间优势种。

我们对 107 份小麦品种/系进行了抗蚜性调查。

表 1 107 份小麦种质资源
Table 1 107 wheat cultivar/lines tested in this study

编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines
N1	济麦 22 Jimai 22	N23	豫青 29 Yuqing 29	N45	WE75	N67	南阳 05188 Nanyang 05188	N89	贵农 13 号 Guinong 13
N2	泰山 9818 Taishan 9818	N24	兰春 3 号 Lanchun 3	N46	WE18	N68	川麦 37 Chuanmai 37	N90	贵麦 5 号 Guimai 5
N3	山东 664 Shandong 664	N25	丰优 5 号 Fengyou 5	N47	WE27	N69	川麦 39 Chuanmai 39	N91	筑麦 23 Zhumai 23
N4	良星 99 Liangxing 99	N26	皖麦 18 Wanmai 18	N48	WE29	N70	川麦 43 Chuanmai 43	N92	贵丰 1 号 Guifeng 1
N5	济南 17 Jinan 17	N27	新麦 5 号 Xinmai 5	N49	新 18 Xin 18	N71	川麦 44 Chuanmai 44	N93	贵丰 3 号 Guifeng 3
N6	关 0537 Guan 0537	N28	贵麦 20 Guimai 20	N50	邢 1135 Xing 1135	N72	川麦 49 Chuanmai 49	N94	贵丰 4 号 Guifeng 4
N7	HS9318	N29	华麦 9 号 Huamai 9	N51	新麦 19 Xinmai 19	N73	川麦 107 Chuanmai 107	N95	兰天 22 号 Lantian 22
N8	311 白皮 311 baipi	N30	鄂麦 6 号 Emai 6	N52	许农 5 号 Xunong 5	N74	绵麦 31 Mianmai 31	N96	兰天 23 号 Lantian 23
N9	温千 1 号 Wenqian 1	N31	豫麦 28 Yumai 28	N53	周 18 Zhou 18	N75	冀 874263 Ji 874263	N97	宁春 4 号 Ningchun 4
N10	鲁 015189 Lu 015189	N32	绵阳 19 Mianyang 19	N54	邯 6172 Han 6172	N76	冀麦 36 Jimai 36	N98	PI 415154
N11	鲁 015212 Lu 015212	N33	津强 1 号 Jinqing 1	N55	周 9823 Zhou 9823	N77	冀麦 41 Jimai 41	N99	PI 623081
N12	鲁 037042 Lu 037042	N34	周麦 15 Zhoumai 15	N56	石 4185 Shi 4185	N78	鲁麦 19 Lumai 19	N100	Cltr 17959
N13	陕 512 Shaan 512	N35	皖麦 38 Wanmai 38	N57	矮抗 58 Aikang 58	N79	豫麦 10 Yumai 10	N101	Cltr 17882
N14	金包银 Jinbaoyin	N36	华麦 8 号 Huamai 8	N58	泰山 008 Taishan 008	N80	冀麦 32 Jimai 32	N102	PI 561948
N15	西农 389 Xinong 389	N37	8866	N59	花培 5 号 Huapei 5	N81	邯 934564 Han 934564	N103	PI 634768
N16	PI 294994 (Dn5)	N38	3338	N60	周 98165 Zhou 98165	N82	冀麦 6 号 Jimai 6	N104	PI 243781
N17	Am 190	N39	6554	N61	豫麦 7 号 Yumai 7	N83	毕麦 16 Bimai 16	N105	PI 634775
N18	Batics	N40	农大 211 Nongda 211	N62	豫麦 15 Yumai 15	N84	毕麦 17 Bimai 17	N106	PI 634770
N19	PI 220127	N41	唐麦 4 Tangmai 4	N63	豫麦 1864 Yumai 1864	N85	黔麦 14 Qianmai 14	N107	Azadi
N20	杨 13 Yang 13	N42	燕大 1817 Yanda 1817	N64	豫麦 59 Yumai 59	N86	黔麦 15 Qianmai 15		
N21	华麦 2152 Huamai 2152	N43	胜利麦 Shenglimai	N65	豫麦 66 Yumai 66	N87	黔麦 16 Qianmai 16		
N22	安农 2 号 Annong 2	N44	4185	N66	豫 60 Yu 60	N88	贵农 5 号 Guinong 5		

没有发现免疫品种，其中 1 份材料 PI 623081 表现为高抗，占总供试材料的 0.93%；19 份材料包括关 0537、金包银、PI 294994 等表现为中抗，占总供试材料的 17.76%；35 份材料表现为低抗，占总供试材料的 32.71%，其余材料均表现为感虫。本研究所用的各基因型的抗虫指数与分级情况见表 3。从该表可以看出，抗性指数的变异从 0.3 到

2.6；抗性级别的变异从 1 到 6。
2.2 小麦抗蚜性与农艺指标的相关性
对 107 份供试材料的抗蚜指数、抗蚜级别与分蘖数、千粒重和抽穗期等 10 个小麦农艺性状指标进行了相关性分析(表 4)。发现抗虫指数和抗虫级别与分蘖数呈极显著负相关，相关系数分别为 -0.322和 -0.281，这意味着抗虫指数和抗虫级

表 2 小麦抗/耐麦长管蚜分级标准
Table 2 Category of wheat resistance/tolerance to English grain aphid

分级 ^{a)} Category	抗性 Resistance	指数 ^{b)} Index
0	免疫 Immunity	0
1	高抗 High resistance	0.01 ~ 0.30
2	中抗 Moderate resistance	0.31 ~ 0.60
3	低抗 Low resistance	0.61 ~ 0.90
4	低感 Low susceptible	0.91 ~ 1.20
5	中感 Moderate susceptible	1.21 ~ 1.50
6	高感 High susceptible	>1.50

注：a)，0~3 级为抗，4~6 级为感。b)，抗虫性指数计算方法为：各供试材料的蚜虫密度/总供试材料的蚜虫密度。
Notes: a) Scores of 0–3 represent aphid-resistance, scores 4–6 represent aphid susceptibility. b) Aphid resistance index: Average aphid density of each tested material/Average aphid density of all tested materials.

别会随着分蘖数的增加而减少。高抗材料 PI 623081 的分蘖数平均为 17.88 个；19 份中抗材料的平均分蘖数平均为 11.37 个；15 份高感材料的平均分蘖数平均为 9.19 个。抗虫指数和抗虫级别与株高也呈极显著负相关，相关系数分别为 -0.288 和 -0.279，这表明抗虫指数和抗虫级别也会随着株高的增加而减少。1 份高抗材料 PI 623081、19 份中抗材料和 15 份高感材料的株高的平均值分别为 102、84.13、68.94 cm。但是，千粒重、开花期、抽穗期、穗长、穗重、小穗数、穗粒数、穗粒重和旗叶面积这些指标与抗虫指数、抗虫级别之间均无显著相关性。

2.3 TOPSIS 分析

107 份供试材料的 12 个基因型的表型数据(表 3)经 TOPSIS 方法分析，得到正态决定矩阵(表 5)之后，求得的最优向量为： $Z^+ = (0.2433, 0.2872, 0.1703, 0.1412, 0.1022, 0.1006, 0.1653, 0.1753, 0.1278, 0.1673, 0.1414, 0.165)$ ；最劣向量为： $Z^- = (0.0281, 0.0479, 0.0546, 0.0592, 0.0882, 0.0899, 0.0566, 0.0266, 0.0468, 0.0221, 0.0542, 0.0429)$ 。然后根据各材料的综合评价值 C_i 的大小来排序。评价结果见表 6，从表 6 可以看出，综合排名的排序结果与抗虫级别的结果基本一致。排序结果为 PI 623081 > 华麦 8 号 > 黔麦 15 > PI 634770 > 川麦 107 > 冀麦 6 号 > …… > 冀麦 41 > 新麦 19。表

现最好的抗虫品种为 PI 623081；其次是华麦 8 号、黔麦 15 和 PI 634770 等；新麦 19 的表现最差。

3 讨论

3.1 蚜虫发生的基本情况

在本研究中，我们评价了小麦种质群体在山东泰安和河南商丘两种典型小麦生产环境下的抗蚜性情况。根据本实验调查结果，麦长管蚜是小麦自然蚜虫种群中的优势种，这个结果与前人的研究相一致^[10, 18–20]。山东泰安和河南商丘两个实验站属于黄淮麦区，是麦长管蚜重发区。因为当地的气候条件适合麦长管蚜繁殖，并且当地缺乏抗虫品种。本实验在典型小麦种植区的蚜虫重灾区开展，所得的结果更能真实反应我国小麦生产中的实际情况。

3.2 小麦种质资源抗蚜水平分析

在 107 份小麦种质资源中，没有发现免疫品种，1 份材料 PI 623081 表现为高抗。这说明在小麦种质资源中抗蚜品种占较低的比例，总体抗蚜水平较低。这可能是近些年来麦长管蚜在我国北方大面积爆发的原因之一^[12]。因此，提高我国小麦的抗蚜性是一项迫切而重要的任务。在该研究中表现出最好抗性的 PI 623081 是来自伊朗的小麦地方品种。前人的研究认为，大多数抗俄罗斯麦蚜生态型 2(注：俄罗斯麦蚜分两个生态型，目前最严重的是生态型 2)的小麦品种来自中东地区^[21]。本研究表明，中东地区的小麦品种还具有优良的麦长管蚜抗性。

3.3 小麦抗蚜性与农艺指标的相关性分析

根据小麦分蘖数、千粒重和抽穗期等 10 个小麦农艺性状指标与抗蚜指数和抗蚜级别的相关性分析结果，分蘖数与抗虫指数和抗虫级别为极显著负相关，抗虫性随分蘖数的减少而提高。这可能是小麦随着分蘖数的增多，蚜虫密度会随之增加，同时植株对逆境胁迫下的恢复能力也会随之提高。此外，株高与抗虫指数和抗虫级别也为极显著负相关，抗虫性随株高的增加而提高，可能是目前鉴定出来的抗蚜材料多为野生种质资源，而野生种质材料株高普遍偏高造成的。

3.4 小麦种质资源抗蚜性的 TOPSIS 分析

本研究除了对小麦种质资源的抗蚜性进行评估

表 3 小麦种质资源的 12 个主要特征
Table 3 Means of 12 main traits of wheat germplasms

编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	抗虫指数 Resistance Index	抗虫级别 Resistance scale	分蘖数 (30X) Tiller number	千粒重 (30X) 1000-kernel weight	抽穗期 (30X) Heading date	开花期 (30X) Flowering date	穗长 (24X) Spike length	穗重 (24X) Spike weight	小穗数 Spikelet number	穗粒重 (24X) Grain weight per spike	株高 (15X) Plant height	叶面积 (15X) Flag leaf area
N1	济麦 22 Jimai 22	1.13	4	7.11	42.44	182	186	8.09	3.2	15.88	2.59	58.6	19
N2	泰山 9818 Taishan 9818	0.71	3	7.24	41.67	182	186	9.33	3.17	18.5	2.42	57.4	26.48
N3	山东 664 Shandong 664	0.97	4	7.46	42.76	183	186	7.85	3.56	17.75	2.81	65.3	24.84
N4	良星 99 Liangxing 99	0.83	3	7.97	48.66	180	186	8.59	3.14	17.13	2.59	63.6	17.64
N5	济南 17 Jinan 17	1.7	6	9.84	36.81	183	191	10.57	3.11	18.43	2.43	53.8	13.14
N6	关 0537 Guan 0537	0.59	2	7.33	40.39	182	191	8.34	3.37	18.2	2.68	58	16.26
N7	HS9318 311 白皮 311 baipei	0.94	4	7.81	42.28	195	197	11.15	4.62	21	3.44	59.8	22.79
N8	温千 1 号 Wenqian 1	2.06	6	7.99	37.19	186	191	6.84	3.11	19.44	2.23	61.2	23.56
N9	鲁 015189 Lu 015189	0.97	4	9.78	47.64	186	192	6.41	1.99	13.88	1.63	61.6	18.19
N10	鲁 015212 Lu 015212	0.78	3	8.15	41.63	186	192	8.85	4.18	16.88	3.36	60.4	21.7
N11	鲁 037042 Lu 037042	1.01	4	5.99	50.94	180	186	8.35	4.14	17.13	3.25	51.6	18.65
N12	陕 512 Shaan 512	0.69	3	9.91	41.17	183	186	8.2	3.69	18.46	2.91	63.3	24.28
N13	金包银 Jinbaoyin	0.96	4	10.21	40.78	180	186	6.34	1.94	16.2	1.5	66.7	19.6
N14	西农 389 Xinong 389	0.54	2	16.13	29.56	195	197	8.25	0.95	16.5	0.6	109.4	13.69
N15	PI 294994 Dn5 Am 190	1.61	6	8.65	38.22	186	191	7.94	3.63	17.88	2.73	51.8	20.76
N16	Batics	0.56	2	15.69	31.11	204	206	12.6	3.23	22.14	2.24	117.6	21.91
N17	杨 13 Yang 13	1.07	4	14.03	43.38	182	186	7.74	3.29	16	2.38	78.6	13.21
N18	华麦 2152 Huamai 2152	0.95	4	11.13	35.83	183	191	6.29	1.8	14.38	1.39	64.4	26.08
N19		0.53	2	13.28	38.89	182	186	9.29	3.71	18.13	2.83	96.3	14.83
N20		0.82	3	8.77	38.89	182	186	9.81	3.18	18.25	2.56	64.6	18.5
N21		1.15	4	8.35	48.33	182	187	11.4	3.79	18.75	2.86	76.8	31.67

续表 3

编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	抗性指数 Resistance Index	抗性级别 Resistance scale	分蘖数 (30X) Tiller number	千粒重 (30X) 1000-kernel weight	抽穗期 (30X) Heading date	开花期 (30X) Flowering date	穗长 (24X) Spike length	穗重 (24X) Spike weight	小穗数 (24X) Spikelet number	穗粒重 (24X) Grain weight per spike	株高 (15X) Plant height	叶面积 (15X) Flag leaf area
N22	安农 2 号 Annong 2	2.42	6	8.83	38.94	186	196	6.59	3.41	18.13	2.59	57.4	20.05
N23	豫青 29 Yuqing 29	1.86	6	7.94	41.25	186	195	10.94	4	19.13	2.96	86	21.36
N24	兰春 3 号 Lanchun 3	0.85	3	11.81	38	186	194	12.89	4.01	20.75	3.03	95.8	13.09
N25	丰优 5 号 Fengyou 5	0.65	3	9.57	49.2	187	192	7.84	3.57	15.5	2.71	70.6	15.16
N26	皖麦 18 Wanmai 18	0.46	2	9.44	39.89	182	191	8.61	3.46	17.38	2.66	64.5	17.45
N27	新麦 5 号 Xinmai 5	2.22	6	12.06	39.61	192	195	13.15	3.71	21.38	2.81	101.54	18.5
N28	贵麦 20 Guimai 20	1.31	5	9.88	44.91	186	193	9.64	3.36	20.06	2.44	91	24.73
N29	华麦 9 号 Huamai 9	0.89	3	10	40.91	186	191	9.57	4.15	20.71	3.25	85.8	25.1
N30	鄂麦 6 号 Emai 6	0.58	2	9.46	45.56	186	194	9.56	3.68	18.5	2.84	91.4	25.18
N31	豫麦 28 Yumai 28	1	4	11.82	46.11	186	195	11.41	2.8	20.57	1.73	68.3	20.32
N32	绵阳 19 Mianyang 19	1.37	5	12.33	40.02	186	190	8.99	3.5	18.75	2.63	72.8	26.78
N33	津强 1 号 Jinqing 1	0.91	3	7.61	44.94	182	187	6.39	3.44	16.09	2.61	58.4	27.3
N34	周麦 15 Zhoumai 15	1.2	4	9.33	41.44	192	195	11.94	3.7	20.63	2.81	68.6	27.15
N35	皖麦 38 Wanmai 38	1.55	6	11.97	44.33	182	186	9.18	2.73	18.38	2.08	78.4	15.91
N36	华麦 8 号 Huamai 8	0.38	2	10.03	47.33	183	195	13.16	5.4	24.13	4.48	115.8	30.46
N37	8866	0.98	4	7.68	48.44	182	186	8.66	3.87	17.75	3.15	75.2	20.27
N38	3338	0.68	3	10.04	38.38	179	186	8.89	2.24	16.38	1.68	46.8	17.44
N39	6554	0.92	4	10.44	55.57	179	186	9.39	2.77	17.5	2.05	78.1	18.49
N40	农大 211 Nongda 211	1.06	4	6.93	60.9	176	186	6.33	1.41	8.83	0.86	60.6	24.27
N41	唐麦 4 Tangmai 4	1.04	4	8.88	42.5	179	186	7.41	2.38	17.88	1.87	78	13.02
N42	燕大 1817 Yanda 1817	0.7	3	14.15	35.87	195	199	9.93	2.98	20.13	2.22	117.8	16.8

续表 3

编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	抗虫指数 Resistance Index	抗虫级别 Resistance scale	分蘖数 (30X) Tiller number	千粒重 (30X) 1000-kernel weight	抽穗期 (30X) Heading date	开花期 (30X) Flowering date	穗长 (24X) Spike length	穗重 (24X) Spike weight	小穗数 (24X) Spikelet number	穗粒重 (24X) Grain weight per spike	株高 (15X) Plant height	叶面积 (15X) Flag leaf area
N43	胜利麦 Shenglimai	0.87	3	12.6	46.29	186	191	10.32	3.29	17	2.45	105.4	14.87
N44	4185	0.7	3	9.9	38.56	181	184	8.98	3.28	18.13	2.64	69.2	15.16
N45	WE75	0.66	3	9.04	45.5	182	186	8.76	3.51	16.75	2.85	77.8	18.41
N46	WE18	1.52	6	11.75	40.75	186	195	9.19	3.1	19	2.39	67.6	19.51
N47	WE27	0.48	2	10.43	41.78	182	186	9.59	3.49	17.44	2.44	78.6	20.35
N48	WE29	1.24	5	8.15	41.33	177	186	8.98	3.03	16.63	2.24	64.2	21.72
N49	新 18 Xin 18	0.8	3	7.6	34.45	184	186	5.46	2.25	15.4	1.75	47	12.08
N50	邢 1135 Xing 1135	1.2	4	6.75	39.66	187	193	7.97	2.85	17	2.18	56.8	25.76
N51	新麦 19 Xinmai 19	1.27	5	7	34.43	186	195	6.14	1.97	14.13	1.53	58.4	23.51
N52	许农 5 号 Xunong 5	1.44	5	5.73	47.59	180	186	7.94	3.22	15.88	2.57	58.6	18.22
N53	周 18 Zhou 18	0.73	3	8.2	42	180	186	7.96	3.54	17.25	2.86	55.4	24.8
N54	邯 6172 Han 6172	0.55	2	8.44	41.61	187	190	8.46	3.48	16.13	2.75	63.3	23.28
N55	周 9823 Zhou 9823	0.71	3	6.83	45.39	182	186	7.34	3.12	15.25	2.47	60.6	22.72
N56	石 4185 Shi 4185	1.99	6	7.58	48.67	182	191	8.18	3.85	18.25	3.05	65.1	20.43
N57	矮抗 58 Aikang 58	0.63	3	7.51	44.2	183	192	7.64	4.53	19.6	3.59	51	17.68
N58	泰山 008 Taishan 008	0.8	3	10.02	45.41	184	194	7.06	2.42	16.57	1.81	56.6	11.68
N59	花墙 5 号 Huapei 5	0.42	2	9.61	38.38	180	186	7.08	2.81	15.13	2.14	51	16.37
N60	周 98165 Zhou 98165	0.82	3	6.25	50.39	180	186	8	3.86	21.13	2.9	54.7	16.23
N61	豫麦 7 号 Yumai 7	2.51	6	8.79	46.06	190	193	9.64	3.77	18.61	2.92	66.6	36.56
N62	豫麦 15 Yumai 15	1.44	5	6.03	39.83	182	192	8.19	3.66	18.5	2.76	61.2	21.59
N63	豫麦 1864 Yumai 1864	0.65	3	8.78	39.49	180	186	7.91	3.75	16.25	3.03	63.5	24.29
N64	豫麦 59 Yumai 59	1.15	4	5.8	34.75	179	186	9.85	3.41	18.75	2.54	57.2	20.76

续表 3

编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	抗性指数 Resistance Index	抗性级别 Resistance scale	分蘖数 (30X) Tiller number	千粒重 (30X) 1000-kernel weight	抽穗期 (30X) Heading date	开花期 (30X) Flowering date	穗长 (24X) Spike length	穗重 (24X) Spike weight	小穗数 (24X) Spikelet number	穗粒重 (24X) Grain weight per spike	株高 (15X) Plant height	叶面积 (15X) Flag leaf area
N65	豫麦 66 Yumai 66	1.31	5	7.4	34.22	187	186	10.41	4.13	22	3.19	58.4	33.14
N66	豫 60 Yu 60	1.44	5	8.88	33.5	186	191	9.22	3.53	20.44	2.83	59.2	25.94
N67	南阳 05188 Nanyang 05188	1	4	7.8	46.83	182	188	7.76	2.49	16	1.67	55.8	16.43
N68	川麦 37 Chuanmai 37	1.53	6	8.04	46.73	186	191	7.27	2.26	15.86	1.77	65.6	22.03
N69	川麦 39 Chuanmai 39	0.74	3	7.46	39	182	186	9.51	4.05	18.25	2.95	68	15.35
N70	川麦 43 Chuanmai 43	0.81	3	8.42	33.11	182	191	7.93	2.63	18.14	1.94	59.2	20.49
N71	川麦 44 Chuanmai 44	1.33	5	8.83	43.49	186	191	7.66	3.76	18.25	2.96	54.1	32.32
N72	川麦 49 Chuanmai 49	0.82	3	9.01	43.38	187	191	10.75	3.25	17.44	2.54	67.3	24.48
N73	川麦 107 Chuanmai 107	0.58	2	9.26	43.03	186	191	8.05	4.33	19.38	3.41	72.6	32.03
N74	绵麦 31 Mianmai 31	2.6	6	8.24	44.56	187	191	7.7	3.57	19.25	2.78	51.8	17.77
N75	冀 874263 Ji 874263	1.19	4	6.71	38.88	186	194	6.93	2.72	15.25	1.92	46	17.88
N76	冀麦 36 Jimai 36	1.25	5	11.83	35.83	182	186	8.65	3.48	17.25	2.73	59	15.95
N77	冀麦 41 Jimai 41	1.43	5	11.5	38.25	186	196	8.3	2.49	16.33	1.57	66.5	14.24
N78	鲁麦 19 Lumai 19	1.11	4	9.4	43.88	182	186	8.9	3.66	17.38	2.89	89.2	22.9
N79	豫麦 10 Yumai 10	1.61	6	6.25	48.06	192	194	8.57	4.05	19.33	2.84	65.6	22.62
N80	冀麦 32 Jimai 32	0.61	3	9.34	43.73	186	195	9.52	3.93	16.8	2.88	90.2	13.88
N81	邯 934564 Han 934564	1.03	4	7.1	38.07	195	196	7.62	2.33	16.74	1.67	61.8	19.69
N82	冀麦 6 号 Jimai 6	0.45	2	13.62	47.88	187	194	8.74	3.72	17.2	2.75	88.8	20.26
N83	毕麦 16 Bimai 16	1.65	6	8.75	38	197	202	7.08	1.69	18.5	1.19	66.6	28.61
N84	毕麦 17 Bimai 17	0.98	4	12.98	41.4	187	194	9.2	3.5	16.5	2.5	71.4	27.86

续表 3

编号 Code	品种/系 Cultivar/Lines	抗虫指数 Resistance Index	抗虫级别 Resistance scale	分蘖数 (30X) Tiller number	千粒重 (30X) 1000-kernel weight	抽穗期 (30X) Heading date	开花期 (30X) Flowering date	穗长 (24X) Spike length	穗重 (24X) Spike weight	小穗数 (24X) Spikelet number	穗粒重 (24X) Grain weight per spike	株高 (15X) Plant height	叶面积 (15X) Flag leaf area
N85	黔麦 14 Qianmai 14	0.92	4	9.36	33.56	186	191	7.73	2.82	19.75	2.15	50.2	18.58
N86	黔麦 15 Qianmai 15	0.4	2	11.93	44.27	191	194	9.13	3.72	17.63	2.89	78.6	23.85
N87	黔麦 16 Qianmai 16	0.88	3	8.93	37.02	195	196	10.46	4.44	22	3.52	62	17.73
N88	贵农 5 号 Guinong 5	0.83	3	11.86	41.45	195	195	8.7	4.1	18.63	3.03	73.4	11.89
N89	贵农 13 号 Guinong 13	0.5	2	11.64	35.56	186	195	10.14	2.58	14.88	1.94	73	14.96
N90	贵麦 5 号 Guimai 5	0.53	2	11.72	27.83	184	191	7.23	2.55	16.88	1.94	61	21.27
N91	筑麦 23 Zhuma 23	0.66	3	9.55	40.17	192	196	8.5	4.54	19.75	3.51	74.8	23.9
N92	贵丰 1 号 Guifeng 1	0.72	3	12.11	40.65	195	197	8.5	3.61	21	2.62	63.4	21.14
N93	贵丰 3 号 Guifeng 3	0.95	4	10.43	42.25	195	197	11.85	4.27	22.25	3.24	78	29.3
N94	贵丰 4 号 Guifeng 4	0.49	2	8.64	46.17	186	192	9.95	4.02	21.31	3.05	80.2	21.43
N95	兰天 22 号 Lantian 22	0.65	3	9.96	40.44	194	195	10.19	2.87	20.63	2.21	105	19.99
N96	兰天 23 号 Lantian 23	0.87	3	8.3	41.89	186	191	9.38	3.56	21.25	2.86	70.7	25.06
N97	宁春 4 号 Ningchun 4	0.89	3	7.06	42.83	186	194	8.86	3.9	20.13	3.12	71.2	21.55
N98	PI 415154	0.53	2	10.89	44.1	192	195	9.53	2	16	1.26	100.7	20.52
N99	PI 623081	0.3	1	17.88	44.81	195	200	12.26	2.23	18.13	1.50	102	20.73
N100	Cltr 17959	0.62	3	13.65	37.71	194	196	11.16	3.93	17.4	2.82	97.3	14.24
N101	Cltr 17882	0.49	2	11.67	28.41	195	197	9.2	2.23	15.13	1.62	96	9.5
N102	PI 561948	1.04	4	12.03	46.56	195	197	12.91	4.16	19.38	3.18	108.6	26.28
N103	PI 634768	0.74	3	16.81	38	197	202	12.91	3.98	20.75	2.97	110.1	27.7
N104	PI 243781	0.92	4	16.2	36.61	203	206	15.94	6.26	20.13	4.55	120	22.28
N105	PI 634775	0.79	3	14.46	34.92	192	196	13.5	2.97	19.29	2.23	111.6	16.63
N106	PI 634770	0.58	2	16.85	40.26	199	203	13.4	4.29	21.2	3.28	101.6	20.65
N107	Azadi	2.09	6	11.24	25.55	192	196	12.1	4.74	20.29	3.11	95	19.54

注：括号中的“X”表示特征的重复次数。
Notes: Letter ‘X’ in bracket stands for the repeat numbers of traits.

表 4 抗虫指数、抗虫级别与农艺指标的相关性分析

Table 4 Correlation coefficients among resistance index, resistance scale and agronomic traits

农艺性状 Agronomic traits	抗虫指数 Resistance index	抗虫级别 Resistance scale	
	相关系数 Correlation coefficient	显著性 Significant	相关系数 Correlation coefficient
分蘖数 Tiller number	-0.322	0.001 **	0.281
千粒重 1000-kernel weight	0.023	0.817	0.022
抽穗期 Heading date	-0.052	0.591	-0.057
开花期 Flowering date	-0.069	0.483	-0.064
穗长 Spike length	-0.152	0.119	-0.165
穗重 Spike weight	-0.033	0.738	-0.039
小穗数 Spikelet number	0.098	0.314	0.071
穗粒重 Grain weight per spike	-0.043	0.660	-0.054
株高 Plant height	-0.288	0.003 **	-0.279
旗叶面积 Flag leaf area	0.173	0.075	0.159

注：** 表示差异极显著($p < 0.01$)。
Notes: ** Indicate significant at $p < 0.01$.

表 5 正态决定矩阵

Table 5 Normalized decision-making matrix

编号 Code	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
N1	0.0646	0.0718	0.0677	0.0984	0.0988	0.0995	0.0839	0.0896	0.0841	0.0952	0.1103	0.0858
N2	0.1028	0.0957	0.0689	0.0966	0.0988	0.0995	0.0968	0.0888	0.098	0.089	0.1141	0.1195
N3	0.0752	0.0718	0.071	0.0992	0.0983	0.0995	0.0814	0.0997	0.094	0.1033	0.1001	0.1121
N4	0.0879	0.0957	0.0759	0.1128	0.0999	0.0995	0.0891	0.0879	0.0907	0.0952	0.1016	0.0796
N5	0.0429	0.0479	0.0937	0.0854	0.0983	0.0969	0.1096	0.0871	0.0976	0.0894	0.1205	0.0593
N6	0.1237	0.1436	0.0698	0.0937	0.0988	0.0969	0.0865	0.0944	0.0964	0.0985	0.1122	0.0734
N7	0.0776	0.0718	0.0744	0.098	0.0923	0.094	0.1156	0.1294	0.1112	0.1265	0.1084	0.1029
N8	0.0354	0.0479	0.0761	0.0862	0.0967	0.0969	0.0709	0.0871	0.103	0.082	0.1066	0.1063
N9	0.0752	0.0718	0.0931	0.1105	0.0967	0.0964	0.0665	0.0557	0.0735	0.0599	0.1049	0.0821
N10	0.0936	0.0957	0.0776	0.0965	0.0967	0.0964	0.0918	0.1171	0.0894	0.1236	0.1084	0.0979
N11	0.0723	0.0718	0.057	0.1181	0.0999	0.0995	0.0866	0.1159	0.0907	0.1195	0.1251	0.0842
N12	0.1058	0.0957	0.0944	0.0955	0.0983	0.0995	0.085	0.1033	0.0978	0.107	0.1033	0.1096
N13	0.076	0.0718	0.0972	0.0946	0.0999	0.0995	0.0657	0.0543	0.0858	0.0552	0.0971	0.0885
N14	0.1352	0.1436	0.1536	0.0685	0.0923	0.094	0.0856	0.0266	0.0874	0.0221	0.0597	0.0618
N15	0.0453	0.0479	0.0824	0.0886	0.0967	0.0969	0.0823	0.1017	0.0947	0.1004	0.1251	0.0937
N16	0.1303	0.1436	0.1494	0.0721	0.0882	0.0899	0.1307	0.0905	0.1173	0.0824	0.0551	0.0989
N17	0.0682	0.0718	0.1336	0.1006	0.0988	0.0995	0.0803	0.0921	0.0848	0.0875	0.0823	0.0596
N18	0.0768	0.0718	0.106	0.0831	0.0983	0.0969	0.0652	0.0504	0.0762	0.0511	0.1016	0.1177
N19	0.1377	0.1436	0.1265	0.0902	0.0988	0.0995	0.0963	0.1039	0.096	0.1041	0.0678	0.0669
N20	0.089	0.0957	0.0835	0.0902	0.0988	0.0995	0.1017	0.0891	0.0967	0.0941	0.1001	0.0835
N21	0.0635	0.0718	0.0795	0.1121	0.0988	0.099	0.1182	0.1061	0.0993	0.1052	0.0845	0.1429
N22	0.0302	0.0479	0.0841	0.0903	0.0967	0.0944	0.0683	0.0955	0.096	0.0952	0.1141	0.0905
N23	0.0392	0.0479	0.0756	0.0957	0.0967	0.0949	0.1135	0.112	0.1013	0.1088	0.0756	0.0964
N24	0.0859	0.0957	0.1125	0.0881	0.0967	0.0954	0.1337	0.1123	0.1099	0.1114	0.0678	0.0591
N25	0.1123	0.0957	0.0911	0.1141	0.0962	0.0964	0.0813	0.1	0.0821	0.0997	0.0916	0.0684

续表 5

编号 Code	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
N26	0.1587	0.1436	0.0899	0.0925	0.0988	0.0969	0.0893	0.0969	0.0921	0.0978	0.1001	0.0788
N27	0.0329	0.0479	0.1148	0.0919	0.0937	0.0949	0.1364	0.1039	0.1133	0.1033	0.0638	0.0835
N28	0.0557	0.0574	0.0941	0.1041	0.0967	0.0959	0.1	0.0941	0.1063	0.0897	0.0715	0.1116
N29	0.082	0.0957	0.0952	0.0949	0.0967	0.0969	0.0992	0.1162	0.1097	0.1195	0.0756	0.1133
N30	0.1258	0.1436	0.0901	0.1056	0.0967	0.0954	0.0991	0.1031	0.098	0.1044	0.0715	0.1137
N31	0.073	0.0718	0.1126	0.1069	0.0967	0.0949	0.1183	0.0784	0.109	0.0636	0.0957	0.0917
N32	0.0533	0.0574	0.1174	0.0928	0.0967	0.0974	0.0932	0.098	0.0993	0.0967	0.0891	0.1209
N33	0.0802	0.0957	0.0725	0.1042	0.0988	0.099	0.0663	0.0963	0.0852	0.096	0.1122	0.1232
N34	0.0608	0.0718	0.0888	0.0961	0.0937	0.0949	0.1238	0.1036	0.1093	0.1033	0.0943	0.1225
N35	0.0471	0.0479	0.114	0.1028	0.0988	0.0995	0.0952	0.0765	0.0974	0.0765	0.0834	0.0718
N36	0.1921	0.1436	0.0955	0.1098	0.0983	0.0949	0.1365	0.1512	0.1278	0.1647	0.0561	0.1375
N37	0.0745	0.0718	0.0731	0.1123	0.0988	0.0995	0.0898	0.1084	0.094	0.1158	0.0867	0.0915
N38	0.1073	0.0957	0.0956	0.089	0.1005	0.0995	0.0922	0.0627	0.0868	0.0618	0.1384	0.0787
N39	0.0793	0.0718	0.0994	0.1289	0.1005	0.0995	0.0974	0.0776	0.0927	0.0754	0.0834	0.0835
N40	0.0689	0.0718	0.066	0.1412	0.1022	0.0995	0.0656	0.0395	0.0468	0.0316	0.1066	0.1095
N41	0.0702	0.0718	0.0846	0.0986	0.1005	0.0995	0.0768	0.0667	0.0947	0.0688	0.0834	0.0588
N42	0.1043	0.0957	0.1347	0.0832	0.0923	0.093	0.103	0.0835	0.1066	0.0816	0.0551	0.0758
N43	0.0839	0.0957	0.12	0.1073	0.0967	0.0969	0.107	0.0921	0.0901	0.0901	0.062	0.0671
N44	0.1043	0.0957	0.0943	0.0894	0.0994	0.1006	0.0931	0.0919	0.096	0.0971	0.0943	0.0684
N45	0.1106	0.0957	0.0861	0.1055	0.0988	0.0995	0.0908	0.0983	0.0887	0.1048	0.0834	0.0831
N46	0.048	0.0479	0.1119	0.0945	0.0967	0.0949	0.0953	0.0868	0.1006	0.0879	0.0957	0.0881
N47	0.152	0.1436	0.0993	0.0969	0.0988	0.0995	0.0995	0.0977	0.0924	0.0897	0.0823	0.0919
N48	0.0589	0.0574	0.0776	0.0958	0.1016	0.0995	0.0931	0.0849	0.0881	0.0824	0.1016	0.098
N49	0.0912	0.0957	0.0724	0.0799	0.0978	0.0995	0.0566	0.063	0.0816	0.0644	0.1384	0.0545
N50	0.0608	0.0718	0.0643	0.092	0.0962	0.0959	0.0827	0.0798	0.0901	0.0802	0.1141	0.1163
N51	0.0575	0.0574	0.0667	0.0798	0.0967	0.0949	0.0637	0.0552	0.0749	0.0563	0.1122	0.1061
N52	0.0507	0.0574	0.0546	0.1104	0.0999	0.0995	0.0823	0.0902	0.0841	0.0945	0.1103	0.0822
N53	0.1	0.0957	0.0781	0.0974	0.0999	0.0995	0.0825	0.0991	0.0914	0.1052	0.1183	0.1119
N54	0.1327	0.1436	0.0804	0.0965	0.0962	0.0974	0.0877	0.0975	0.0854	0.1011	0.1033	0.1051
N55	0.1028	0.0957	0.065	0.1053	0.0988	0.0995	0.0761	0.0874	0.0808	0.0908	0.1066	0.1026
N56	0.0367	0.0479	0.0722	0.1129	0.0988	0.0969	0.0848	0.1078	0.0967	0.1122	0.1001	0.0922
N57	0.1158	0.0957	0.0715	0.1025	0.0983	0.0964	0.0792	0.1269	0.1038	0.132	0.1276	0.0798
N58	0.0912	0.0957	0.0954	0.1053	0.0978	0.0954	0.0732	0.0678	0.0878	0.0666	0.1141	0.0527
N59	0.1738	0.1436	0.0915	0.089	0.0999	0.0995	0.0734	0.0787	0.0801	0.0787	0.1276	0.0739
N60	0.089	0.0957	0.0595	0.1168	0.0999	0.0995	0.083	0.1081	0.1119	0.1066	0.1183	0.0733
N61	0.0291	0.0479	0.0837	0.1068	0.0947	0.0959	0.1	0.1056	0.0986	0.1074	0.0971	0.165
N62	0.0507	0.0574	0.0574	0.0924	0.0988	0.0964	0.0849	0.1025	0.098	0.1015	0.1066	0.0974
N63	0.1123	0.0957	0.0836	0.0916	0.0999	0.0995	0.082	0.105	0.0861	0.1114	0.1016	0.1096
N64	0.0635	0.0718	0.0552	0.0806	0.1005	0.0995	0.1021	0.0955	0.0993	0.0934	0.1141	0.0937
N65	0.0557	0.0574	0.0705	0.0794	0.0962	0.0995	0.108	0.1157	0.1165	0.1173	0.1122	0.1496
N66	0.0507	0.0574	0.0846	0.0777	0.0967	0.0969	0.0956	0.0989	0.1083	0.1041	0.1103	0.1171
N67	0.073	0.0718	0.0743	0.1086	0.0988	0.0985	0.0805	0.0697	0.0848	0.0614	0.1162	0.0742
N68	0.0477	0.0479	0.0766	0.1084	0.0967	0.0969	0.0754	0.0633	0.084	0.0651	0.0986	0.0994
N69	0.0986	0.0957	0.071	0.0904	0.0988	0.0995	0.0986	0.1134	0.0967	0.1085	0.0957	0.0693

续表 5

编号 Code	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
N70	0.0901	0.0957	0.0802	0.0768	0.0988	0.0969	0.0822	0.0737	0.0961	0.0713	0.1103	0.0925
N71	0.0549	0.0574	0.0841	0.1008	0.0967	0.0969	0.0794	0.1053	0.0967	0.1088	0.1205	0.1459
N72	0.089	0.0957	0.0858	0.1006	0.0962	0.0969	0.1115	0.091	0.0924	0.0934	0.0971	0.1105
N73	0.1258	0.1436	0.0882	0.0998	0.0967	0.0969	0.0835	0.1213	0.1027	0.1254	0.0891	0.1446
N74	0.0281	0.0479	0.0785	0.1033	0.0962	0.0969	0.0799	0.1	0.102	0.1022	0.1251	0.0802
N75	0.0613	0.0718	0.0639	0.0902	0.0967	0.0954	0.0719	0.0762	0.0808	0.0706	0.1414	0.0807
N76	0.0584	0.0574	0.1126	0.0831	0.0988	0.0995	0.0897	0.0975	0.0914	0.1004	0.1103	0.072
N77	0.051	0.0574	0.1095	0.0887	0.0967	0.0944	0.0861	0.0697	0.0865	0.0577	0.0971	0.0643
N78	0.0657	0.0718	0.0895	0.1018	0.0988	0.0995	0.0923	0.1025	0.0921	0.1063	0.0731	0.1034
N79	0.0453	0.0479	0.0595	0.1114	0.0937	0.0954	0.0889	0.1134	0.1024	0.1044	0.0986	0.1021
N80	0.1196	0.0957	0.0889	0.1014	0.0967	0.0949	0.0987	0.1101	0.089	0.1059	0.0723	0.0626
N81	0.0709	0.0718	0.0676	0.0883	0.0923	0.0944	0.079	0.0653	0.0887	0.0614	0.1049	0.0889
N82	0.1622	0.1436	0.1297	0.111	0.0962	0.0954	0.0906	0.1042	0.0911	0.1011	0.0731	0.0914
N83	0.0442	0.0479	0.0833	0.0881	0.0913	0.0916	0.0734	0.0473	0.098	0.0438	0.0971	0.1291
N84	0.0745	0.0718	0.1236	0.096	0.0962	0.0954	0.0954	0.098	0.0874	0.0919	0.0916	0.1258
N85	0.0793	0.0718	0.0891	0.0778	0.0967	0.0969	0.0802	0.079	0.1046	0.0791	0.1301	0.0839
N86	0.1825	0.1436	0.1136	0.1027	0.0942	0.0954	0.0947	0.1042	0.0934	0.1063	0.0823	0.1077
N87	0.0829	0.0957	0.085	0.0858	0.0923	0.0944	0.1085	0.1243	0.1165	0.1294	0.1049	0.08
N88	0.0879	0.0957	0.1129	0.0961	0.0923	0.0949	0.0902	0.1148	0.0987	0.1114	0.0891	0.0537
N89	0.146	0.1436	0.1108	0.0825	0.0967	0.0949	0.1052	0.0723	0.0788	0.0713	0.0891	0.0675
N90	0.1377	0.1436	0.1116	0.0645	0.0978	0.0969	0.075	0.0714	0.0894	0.0713	0.1066	0.096
N91	0.1106	0.0957	0.0909	0.0932	0.0937	0.0944	0.0881	0.1271	0.1046	0.1291	0.0867	0.1079
N92	0.1014	0.0957	0.1153	0.0943	0.0923	0.094	0.0881	0.1011	0.1112	0.0963	0.1033	0.0954
N93	0.0768	0.0718	0.0993	0.098	0.0923	0.094	0.1229	0.1196	0.1179	0.1191	0.0834	0.1323
N94	0.1489	0.1436	0.0823	0.1071	0.0967	0.0964	0.1032	0.1126	0.1129	0.1122	0.0813	0.0967
N95	0.1123	0.0957	0.0948	0.0938	0.0927	0.0949	0.1057	0.0804	0.1093	0.0813	0.062	0.0902
N96	0.0839	0.0957	0.079	0.0971	0.0967	0.0969	0.0973	0.0997	0.1126	0.1052	0.0916	0.1131
N97	0.082	0.0957	0.0672	0.0993	0.0967	0.0954	0.0919	0.1092	0.1066	0.1147	0.0916	0.0973
N98	0.1377	0.1436	0.1037	0.1023	0.0937	0.0949	0.0988	0.056	0.0848	0.0463	0.0644	0.0926
N99	0.2433	0.2872	0.1703	0.1039	0.0923	0.0925	0.1271	0.0625	0.096	0.0552	0.0638	0.0936
N100	0.1177	0.0957	0.13	0.0874	0.0927	0.0944	0.1157	0.1101	0.0922	0.1037	0.0671	0.0643
N101	0.1489	0.1436	0.1111	0.0659	0.0923	0.094	0.0954	0.0625	0.0801	0.0596	0.0678	0.0429
N102	0.0702	0.0718	0.1146	0.108	0.0923	0.094	0.1339	0.1165	0.1027	0.1169	0.0597	0.1186
N103	0.0986	0.0957	0.1601	0.0881	0.0913	0.0916	0.1339	0.1115	0.1099	0.1092	0.0591	0.125
N104	0.0793	0.0718	0.1543	0.0849	0.0886	0.0899	0.1653	0.1753	0.1066	0.1673	0.0542	0.1006
N105	0.0924	0.0957	0.1377	0.081	0.0937	0.0944	0.14	0.0832	0.1022	0.082	0.0581	0.0751
N106	0.1258	0.1436	0.1604	0.0934	0.0904	0.0912	0.139	0.1201	0.1123	0.1206	0.0638	0.0932
N107	0.0349	0.0479	0.107	0.0592	0.0937	0.0944	0.1255	0.1327	0.1075	0.1144	0.0685	0.0882
最优向量 Optimal value of vector	0.2433	0.2872	0.1703	0.1412	0.1022	0.1006	0.1653	0.1753	0.1278	0.1673	0.1414	0.165
最劣向量 Worst value of vector	0.0281	0.0479	0.0546	0.0592	0.0882	0.0899	0.0566	0.0266	0.0468	0.0221	0.0542	0.0429

注：X 表示各指标。
Notes: Letter X stands for each trait.

表 6 TOPSIS 计算结果
Table 6 Computed results of TOPSIS

编号 Code	D^+	D^-	C_i	名次 Rank	编号 Code	D^+	D^-	C_i	名次 Rank
N1	0.345	0.1424	0.2921	86	N55	0.3125	0.163	0.3428	59
N2	0.3012	0.1781	0.3717	39	N56	0.364	0.1611	0.3068	77
N3	0.3298	0.1629	0.3307	66	N57	0.2885	0.212	0.4236	17
N4	0.3153	0.1585	0.3346	64	N58	0.3345	0.1397	0.2946	85
N5	0.3687	0.1443	0.2813	89	N59	0.2661	0.2157	0.4477	14
N6	0.2739	0.1949	0.4157	19	N60	0.3123	0.1826	0.369	41
N7	0.3107	0.2015	0.3934	25	N61	0.357	0.195	0.3532	54
N8	0.3764	0.137	0.2668	95	N62	0.3575	0.1519	0.2983	83
N9	0.3582	0.1193	0.2498	100	N63	0.2919	0.1858	0.389	30
N10	0.2958	0.1901	0.3912	29	N64	0.3437	0.1529	0.3079	75
N11	0.3304	0.1824	0.3557	52	N65	0.3352	0.2023	0.3763	35
N12	0.2901	0.1865	0.3914	28	N66	0.3459	0.1669	0.3255	68
N13	0.3586	0.1164	0.2451	101	N67	0.355	0.1258	0.2617	98
N14	0.3264	0.1829	0.359	50	N68	0.3802	0.1162	0.2341	105
N15	0.3609	0.1562	0.302	82	N69	0.3066	0.1743	0.3625	47
N16	0.2578	0.2238	0.4647	9	N70	0.3257	0.1435	0.3058	78
N17	0.3421	0.1483	0.3024	81	N71	0.3389	0.1878	0.3565	51
N18	0.3567	0.1285	0.2648	96	N72	0.3016	0.1719	0.363	46
N19	0.2573	0.2121	0.4518	13	N73	0.241	0.238	0.4969	5
N20	0.3111	0.1593	0.3387	62	N74	0.3726	0.1563	0.2956	84
N21	0.3213	0.1901	0.3718	38	N75	0.3616	0.1344	0.271	94
N22	0.3756	0.143	0.2758	93	N76	0.3477	0.1529	0.3055	79
N23	0.3604	0.1623	0.3106	73	N77	0.3735	0.1117	0.2302	106
N24	0.3045	0.1887	0.3826	33	N78	0.3318	0.1594	0.3245	69
N25	0.3035	0.1707	0.36	49	N79	0.3603	0.1644	0.3134	72
N26	0.2526	0.2143	0.4589	10	N80	0.2991	0.1789	0.3743	37
N27	0.3607	0.1728	0.324	70	N81	0.3592	0.1159	0.244	102
N28	0.3468	0.1553	0.3093	74	N82	0.2372	0.2317	0.4941	6
N29	0.2966	0.1923	0.3933	26	N83	0.3895	0.1226	0.2393	103
N30	0.2533	0.2112	0.4547	12	N84	0.3184	0.1742	0.3536	53
N31	0.3319	0.1566	0.3205	71	N85	0.3399	0.149	0.3048	80
N32	0.3402	0.1674	0.3297	67	N86	0.2255	0.2453	0.521	3
N33	0.3158	0.1711	0.3513	56	N87	0.298	0.1989	0.4003	23
N34	0.3222	0.1821	0.3611	48	N88	0.3077	0.1778	0.3662	42
N35	0.3693	0.1311	0.262	97	N89	0.2743	0.1913	0.4109	20
N36	0.1983	0.3134	0.6124	2	N90	0.277	0.1918	0.4091	21
N37	0.328	0.1683	0.3392	60	N91	0.282	0.2069	0.4232	18
N38	0.319	0.1597	0.3336	65	N92	0.292	0.1844	0.3871	31
N39	0.3352	0.1484	0.3068	76	N93	0.3048	0.207	0.4044	22
N40	0.3813	0.13	0.2543	99	N94	0.2404	0.2294	0.4883	7
N41	0.3614	0.1124	0.2372	104	N95	0.3068	0.1651	0.3499	57
N42	0.3103	0.1695	0.3532	55	N96	0.3033	0.1792	0.3714	40
N43	0.3153	0.1616	0.3388	61	N97	0.3085	0.178	0.3658	43
N44	0.3068	0.1635	0.3476	58	N98	0.2901	0.181	0.3842	32
N45	0.2994	0.1727	0.3658	44	N99	0.2012	0.3626	0.6431	1
N46	0.359	0.1454	0.2883	88	N100	0.2912	0.1915	0.3967	24
N47	0.2499	0.2119	0.4589	11	N101	0.3011	0.1804	0.3746	36
N48	0.3546	0.1362	0.2775	91	N102	0.3117	0.2007	0.3917	27
N49	0.35	0.137	0.2812	90	N103	0.279	0.2253	0.4468	15
N50	0.3486	0.1437	0.2919	87	N104	0.2987	0.2752	0.4795	8
N51	0.3823	0.1087	0.2213	107	N105	0.3104	0.1781	0.3646	45
N52	0.3652	0.1396	0.2765	92	N106	0.2332	0.2515	0.5189	4
N53	0.298	0.1828	0.3801	34	N107	0.3597	0.1825	0.3366	63
N54	0.2575	0.2057	0.4441	16					

注： D^+ ：评价的各品系与最优方案的距离； D^- ：评价的各品系与最劣方案的距离； C_i ：评价的各品系与最优值的接近程度。
Notes: D^+ : Distance between various lines and ideal solution; D^- : Distance between various lines and negative ideal solution; C_i : Relative proximity of lines to ideal solution.

外,还考察了千粒重、开花期、抽穗期等 10 个农艺性状指标,综合分析了小麦的抗蚜性和产量相关特征,并对结果进行了综合的主次排序。从综合排序结果来看,该结果与抗虫鉴定的分级结果基本一致。在综合排序的结果中 PI 623081、华麦 8 号、黔麦 15 和 PI 634770 等材料表现最好。其中 PI 623081 为来自伊朗的俄罗斯麦蚜抗性品种,而俄罗斯麦蚜也是我国小麦蚜虫的入侵种,这些材料的使用为培育多个蚜虫种兼抗品种提供了基础。这说明 TOPSIS 分析方法能够有效地把抗虫性和小麦种质资源的农艺性状结合起来进行综合评价,是一项非常有效的评价小麦种质资源抗蚜性的技术。该研究对 TOPSIS 法在抗蚜育种中的应用评价与 Wang 等^[4]的报道相一致。这些数据对当前小麦抗蚜育种工作具有重要参考价值。

参考文献:

- [1] Johnston R L, Bishop B. Economic injury levels and economic thresholds for cereal aphids (Homoptera: Aphididae) on spring planted wheat [J]. *J Econ Entomol*, 1987, 80: 478–482.
- [2] Watt A. The effect of cereal growth stages on the reproductive activity of *Sitobion avenae* and *Metopolophium dirhodum* [J]. *Ann Appl Biol*, 1979, 91(2): 147–157.
- [3] Maudsley M J, Mackenzie A, Thacker J I, et al. Density dependence in cereal aphid populations [J]. *Ann Appl Biol*, 1996, 128(3): 453–463.
- [4] Wang C P, Chen Q, Luo K, et al. Evaluation of resistance in wheat germplasm to the aphids (*Sitobion avenae*) based on Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and cluster methods [J]. *Afr J Agr Res*, 2011, 6(6): 1592–1599.
- [5] Longley M, Jepson P C. Effects of honeydew and insecticide residues on the distribution of foraging aphid parasitoids under glasshouse and field conditions [J]. *Entomol Exp Appl*, 1996, 81(2): 189–198.
- [6] 杨益众, 印毅, 王红, 等. 蜂蜜模拟麦蚜蜜露危害对小麦产量和主要营养品质的影响 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(1): 268–271.
- [7] Budenberg W, Powell W, Clark S. The influence of aphids and honeydew on the leaving rate of searching aphid parasitoids from wheat plants [J]. *Entomol Exp Appl*, 1992, 63(3): 259–264.
- [8] Lee G, Stevens D, Stokes S, Wratten S. Duration of cereal aphid populations and the effects on wheat yield and quality [J]. *Ann Appl Biol*, 1981, 98(2): 169–178.
- [9] Fereres A, Gutierrez C, Del E P, et al. Impact of the English grain aphid, *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae), on the yield of wheat plants subjected to water deficits [J]. *Environ Entomol*, 1988, 17(3): 596–602.
- [10] Zhou C J, Cheng J L, et al. Evaluation on the resistance to aphids of wheat germplasm resources in China [J]. *Afr J Biotechnol*, 2011, 10(63): 13929–13935.
- [11] 屈会选, 党建友, 程麦风, 等. 小麦种质资源对麦长管蚜抗性的鉴定 [J]. *华北农学报*, 2004, 19(4): 102–104.
- [12] 段灿星, 王晓鸣, 朱振东. 小麦种质对麦长管蚜的抗性鉴定与评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(3): 297–300.
- [13] 师桂英, 尚勋武, 王化俊, 等. 春小麦种质对麦长管蚜的抗性鉴定 [J]. *兰州大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(5): 40–43.
- [14] 王美芳, 原国辉, 陈巨莲, 等. 我国冬麦区小麦品种抗蚜性鉴定 [J]. *河南农业科学*, 2008(8): 87–90.
- [15] 卢坤, 钟巍然, 张凯, 等. 甘蓝型油菜苗期磷高效基因型的 TOPSIS 法筛选 [J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 120–124.
- [16] 徐艳霞. 利用 TOPSIS 法综合评价芽苗期青贮玉米种质耐盐性 [J]. *杂粮作物*, 2010, 30(2): 101–104.
- [17] Painter R H. Insect resistance in crop plants [J]. *Soil Science*, 1951, 72(6): 481.
- [18] Cai Q, Zhang Q, Che O M. Contribution of indole alkaloids to *Sitobion avenae* (F.) resistance in wheat [J]. *J Appl Entomol*, 2004, 128(8): 517–521.
- [19] Ma X, Liu X, Zhang Q, et al. Assessment of cotton aphids, *Aphis gossypii*, and their natural enemies on aphid-resistant and aphid-susceptible wheat varieties in a wheat-cotton relay intercropping system [J]. *Entomol Exp Appl*, 2006, 121(3): 235–241.
- [20] Zhao L, Chen J, Cheng D, et al. Biochemical and molecular characterizations of *Sitobion avenae*-induced wheat defense responses [J]. *Crop Prot*, 2009, 28(5): 435–442.
- [21] Collins M, Haley S, Peairs F, et al. Russian wheat aphid biotype 2 resistance among wheat germplasm accessions [J]. *Crop Sci*, 2005, 45(18): 77–80.