

王红盼,熊肖,蔡海亚,等.灌浆期高温对小麦籽粒粒型的影响及耐高温性评价[J].江苏农业科学,2023,51(12):78-85.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.12.010

灌浆期高温对小麦籽粒粒型的影响及耐高温性评价

王红盼^{1,2},熊肖¹,蔡海亚²,刘刚²,张硕²,何永刚²,焦春海²,徐乐¹,徐延浩²

(1.长江大学农学院/涝渍灾害与湿地农业湖北省重点实验室,湖北荆州 434025;

2.湖北省农业科学院粮食作物研究所,湖北武汉 430064)

摘要:探究在南方湿热背景下灌浆期高温胁迫对小麦籽粒粒型的影响,并对粒型的耐高温性进行评价,为该地区的小麦耐热育种研究提供更多信息。以来源广泛并在长江流域种植后正常结实的 234 份小麦品种(系)为材料,采用人工气候生长室模拟高温[较室外对照高(8 ± 1.6) °C],在小麦花后 1 周高温处理 10 d,收获后利用万森自动考种仪测量对照和高温处理下小麦籽粒的粒长、粒宽、直径、圆度、周长以及面积。高温处理导致参试小麦 6 个粒型指标整体下降,下降程度为粒宽>圆度>面积>直径>粒长>周长。根据耐高温系数,采用主成分分析法、隶属函数分析法、聚类分析法评价参试小麦的耐高温性,建立基于 6 个粒型指标的耐高温评价函数方程。高温处理对小麦不同粒型指标的影响存在差异,其中粒宽受影响程度最大;不同品种表现出不同程度的耐高温性,其中北京 12、偃大 25、徐麦 27 号等多个品种(系)表现出较强的耐高温性。

关键词:小麦;灌浆期;湿热;粒型;主成分分析;隶属函数法

中图分类号:S512.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)12-0078-07

小麦(*Triticum aestivum* L.)是我国重要的粮食作物^[1]。粒型是籽粒的重要特征之一,小麦籽粒粒型显著影响粒质量和品质^[2]。小麦灌浆期最适温度为 18~22 °C,随着全球气候变化,小麦在灌浆期遭遇高温胁迫越来越严重^[3-4]。灌浆期高温胁迫导致灌浆时间缩短和灌浆速率降低,影响籽粒粒型、降低粒级、影响籽粒商品价值^[5-7]。

不同气候类型下的灌浆期高温胁迫对籽粒性状的影响存在差异。水稻在处于热带海洋气候的地区遭遇灌浆期高温,籽粒宽度减小而长度没有显著变化^[8],但在太平洋侧气候带的地区遇灌浆期高温导致粒厚增加^[9]。小麦在处于大陆性季风气候的陕西杨凌遭遇高温后粒长增加、粒宽降低^[10],而在属于温带大陆性气候的新疆石河子地区经高温处理后粒长、粒宽、粒厚均降低^[11],在属于暖温带大

陆性季风气候的山东济南遭遇高温胁迫后,籽粒直径显著降低^[12]。

长江中下游地区是我国小麦主产区之一^[13],与北方干热风天气不同,该地区在小麦开花灌浆期间降水量充沛,容易形成湿热环境,导致小麦青枯病,严重影响小麦灌浆进程^[14-16]。然而小麦高温的研究多以北方干热气候为背景,基于南方湿热环境下小麦高温胁迫后粒型变化情况的研究较少。本研究选取了来自 5 个国家以及我国不同地区且均可在长江流域正常生长结实的 234 份小麦核心种质资源,探究南方湿热背景下灌浆期高温胁迫后的粒型变化情况,并基于粒长、粒宽、直径、圆度、周长及面积的耐高温系数进行主成分分析、隶属函数分析以及聚类分析,对其籽粒耐热性进行评价,为南方小麦种植及耐热研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选用的 234 份小麦材料在长江中下游地区可正常生长结实(表 1)。

1.2 试验设计

在 2016—2017、2017—2018、2018—2019 年小麦生长季节,采用盆栽(规格:24cm×20 cm,每盆加土 10 kg,复合肥 18 g)进行试验,每盆穴播 12 粒,三

收稿日期:2022-09-20

基金项目:湖北省重点研发计划(编号:2021BBA225);湖北省农业科技创新中心创新团队项目(编号:2021-620-000-001-01)。

作者简介:王红盼(1997—),女,山东聊城人,硕士研究生,主要从事植物分子育种研究。E-mail:hongpanwang2009@163.com。

通信作者:徐延浩,博士,教授,博士生导师,主要从事麦类资源创新与育种研究,E-mail:xyh@hbaas.com;徐乐,博士,副教授,硕士生导师,主要从事作物逆境抗性研究,E-mail:501140@yangtzeu.edu.cn。

表 1 供试小麦材料编号、名称及来源

编号	品种(系)	来源	编号	品种(系)	来源	编号	品种(系)	来源
S_001	扬麦 4 号	江苏	S_079	宁麦 9 号	江苏	S_157	济南 13	山东
S_002	扬麦 5 号	江苏	S_080	宁麦 11	江苏	S_158	济南 16	山东
S_003	扬 85 - 85	江苏	S_081	宁麦 13	江苏	S_159	济麦 20	山东
S_004	扬麦 9 号	江苏	S_082	苏麦 6 号	江苏	S_160	济麦 21	山东
S_005	扬麦 10 号	江苏	S_083	镇麦 4 号	江苏	S_161	济麦 22	山东
S_006	扬麦 12	江苏	S_084	镇 02168	江苏	S_162	临麦 2 号	山东
S_007	扬麦 13	江苏	S_085	镇 05 - 185	江苏	S_163	豫麦 18	河南
S_008	扬麦 16	江苏	S_086	徐州 20	江苏	S_164	豫麦 50	河南
S_009	扬麦 19	江苏	S_087	徐州 26 号	江苏	S_165	郑麦 004	河南
S_010	扬辐麦 5242	江苏	S_088	淮麦 21	江苏	S_166	郑引 1 号(St1472/506)	意大利
S_011	宁丰小麦(大丰 1087)	江苏	S_089	皖麦 18	安徽	S_167	陕 229	陕西
S_012	宁麦 6 号(7317)	江苏	S_090	皖麦 32	安徽	S_168	陕 7859	陕西
S_013	宁麦 7 号	江苏	S_091	安农 0721	安徽	S_169	长旱 58	陕西
S_014	宁麦 14	江苏	S_092	襄麦 5 号(鄂)	湖北	S_170	小偃 5 号	陕西
S_015	苏麦 5 号	江苏	S_093	襄麦 48	湖北	S_171	晋麦 20	山西
S_016	镇 7495	江苏	S_094	绵阳 31	四川	S_172	陇春 11	甘肃
S_017	镇 7630	江苏	S_095	福绵 2 号	福建	S_173	京 411	北京
S_018	镇麦 5 号	江苏	S_096	山农辐 63	山东	S_174	农大 116	北京
S_019	徐州 8785	江苏	S_097	豫麦 2 号	河南	S_175	石家庄 8 号	河北
S_020	徐州 21	江苏	S_098	豫麦 34	河南	S_176	石麦 12	河北
S_021	徐麦 27 号	江苏	S_099	豫麦 51	河南	S_177	欧柔	智利
S_022	安农 8455	安徽	S_100	豫麦 54	河南	S_178	普冰 4302 安	陕西
S_023	安农 92484	安徽	S_101	偃展 4110	河南	S_179	普冰 4313 安	陕西
S_024	川 9920	四川	S_102	周优 102	河南	S_180	普冰 06 - X4794	陕西
S_025	绵阳 11	四川	S_103	新麦 19	河南	S_181	法展 5 号	陕西
S_026	绵阳 15	四川	S_104	陕麦 150	陕西	S_182	Bobwhite	北京
S_027	豫麦 13(郑州 891)	河南	S_105	咸农 39	甘肃	S_183	墨巴 66	墨西哥
S_028	郑麦 9023	河南	S_106	小偃 4 号	陕西	S_184	新麦 26	河南
S_029	冀麦 36(石 86 - 5144)	河北	S_107	小偃 54	陕西	S_185	花培 128 白大	河南
S_030	河农 822	河北	S_108	高优 503	河北	S_186	繁 6	四川
S_031	藁城 8901	河北	S_109	石麦 15	河北	S_187	豫麦 10 号(予西 832)	河南
S_032	扬麦 2 号	江苏	S_110	宁麦 10 号	江苏	S_188	湘 1599	湖南
S_033	扬麦 11	江苏	S_111	扬麦 1 号	江苏	S_189	湘农 13744 - (19 - 22)	湖南
S_034	陕农 17	陕西	S_112	镇麦 1 号(镇 9101)	江苏	S_190	偃大 25	河南
S_035	扬麦 15	江苏	S_113	宛 7107	河南	S_191	小偃 96	河南
S_036	湘农 3099 选 - 2	湖南	S_114	赣 162	江西	S_192	冀麦 24	河北
S_037	商洛 76(57)22 - 8 - 1	陕西	S_115	绵农 4 号	四川	S_193	郑引 4 号	河南
S_038	鄂 1161	湖北	S_116	碧玛 1 号	陕西	S_194	孟县 2 号	河南
S_039	宿地 8112	安徽	S_117	碧玛 4 号	陕西	S_195	海宁 75 - 39	浙江
S_040	湘 675 - 2	湖南	S_118	农大 139	北京	S_196	西安实心麦	陕西
S_041	湘农 7984 - 26 - 1	湖南	S_119	阿夫	意大利	S_197	开封 10 号	河南
S_042	湘农 4053 - 16 - 0 - 20	湖南	S_120	H35	江苏	S_198	豫 30691 - 3 - 6	河南
S_043	湘 1437	湖南	S_121	扬麦 6 号	江苏	S_199	百农 3217	河南
S_044	宁 0569	江苏	S_122	选 7	江苏	S_200	科春 5 号	北京
S_045	中洛铁杆	北京	S_123	扬麦 18	江苏	S_201	敌锈早	福建
S_046	豫麦 7 号(偃师 9 号)	河南	S_124	扬辐麦 3046	江苏	S_202	宁麦资 32(NR87 - 11 - 3)	江苏
S_047	友谊麦	四川	S_125	宁麦 3 号	江苏	S_203	黔欢 2	贵州
S_048	郑州 9285	河南	S_126	宁麦 12	江苏	S_204	芜 7815 - 4 - 1	安徽
S_049	皖西 7751	安徽	S_127	镇麦 6 号	江苏	S_205	甘麦 7 号	甘肃
S_050	川 80 - 466	四川	S_128	徐州 25	江苏	S_206	苏麦 2 号(苏)	江苏

表 1(续)

编号	品种(系)	来源	编号	品种(系)	来源	编号	品种(系)	来源
S_051	花培 128-8	河南	S_129	淮麦 11	江苏	S_207	荆州 1 号	湖北
S_052	湘农 153-27	湖南	S_130	淮麦 16	江苏	S_208	济南 8 号	山东
S_053	湘 IR 万(2)	湖南	S_131	淮麦 17	江苏	S_209	荆州 66 号	湖北
S_054	有芒红 18 号	北京	S_132	淮麦 20	江苏	S_210	陕农 21	陕西
S_055	太原 567	山西	S_133	淮麦 22	江苏	S_211	湘 1479	湖南
S_056	长武 134	陕西	S_134	皖麦 17	安徽	S_212	41822	湖南
S_057	川 78001	四川	S_135	皖麦 47	安徽	S_213	南大 2419	江苏
S_058	陕 8242-37	陕西	S_136	皖麦 48	安徽	S_214	苏麦 3 号	江苏
S_059	莆麦 1 号	福建	S_137	安农 2 号	安徽	S_215	徐州 15	江苏
S_060	皖品 8056	安徽	S_138	浙农大 85 品 8	浙江	S_216	鄂麦 6 号	湖北
S_061	湘 673-1	湖南	S_139	浙丰 2 号	浙江	S_217	鄂麦 9 号	湖北
S_062	黔欢 3	贵州	S_140	湘麦 10 号	湖南	S_218	川育 21526	四川
S_063	矮 73	山东	S_141	川育 16	四川	S_219	郑 6 辐	河南
S_064	陕 76(73)33-6	陕西	S_142	川麦 37	四川	S_220	西农 6028	陕西
S_065	蒙科 3 号 C	安徽	S_143	川麦 39	四川	S_221	晋麦 52	山西
S_066	遂农 3 号	四川	S_144	川麦 41	四川	S_222	北京 11	北京
S_067	西农 2611	陕西	S_145	绵阳 26	四川	S_223	合春 12(黑)	黑龙江
S_068	偃师 4 号	河南	S_146	绵阳 30	四川	S_224	丰产 3 号	陕西
S_069	郑 87302-0-12-A	郑州	S_147	矮孟牛	山东	S_225	普冰 04-3507	陕西
S_070	小偃 168	陕西	S_148	泰山 1 号	山东	S_226	N553	陕西
S_071	豫 30691-1-3	河南	S_149	鲁麦 2 号	山东	S_227	黑 86-30(开花)	黑龙江
S_072	冀麦 26	河北	S_150	鲁麦 3 号	山东	S_228	济南 2 号	山东
S_073	扬麦 158	江苏	S_151	鲁麦 14	山东	S_229	京作 236	北京
S_074	扬麦 14	江苏	S_152	鲁麦 15	山东	S_230	北京 12	北京
S_075	扬麦 17	江苏	S_153	鲁麦 21	山东	S_231	有芒白 4 号	北京
S_076	臧 2726	山东	S_154	烟辐 188	山东	S_232	临农 12	甘肃
S_077	扬辐麦 2 号	江苏	S_155	烟农 15	山东	S_233	百泉 565(豫)	河南
S_078	宁麦 8 号	江苏	S_156	烟农 19	山东	S_234	博爱 7023	河南

叶一心时期间苗至每盆 6 株,每个品种设置 7 个重复。按常规要求栽培管理。

小麦开花后,调查并挂牌标记开花的穗子,开花 1 周后搬至自然光型人工气候室(南京全有电子科技有限公司),生长室设置温度始终高于室外对照温度(8 ± 1.6) $^{\circ}\text{C}$ (图 1),光照与室外对照一致,

湿度为(70 ± 5)%,每个品种 4 个重复。处理 10 d 后,将盆栽搬离至与对照材料相同的室外环境至成熟收获。

1.3 籽粒表型测定

籽粒收获后去杂干燥,经恒温恒湿平衡箱(HSX-250,常州申光仪器有限公司)平衡至水分

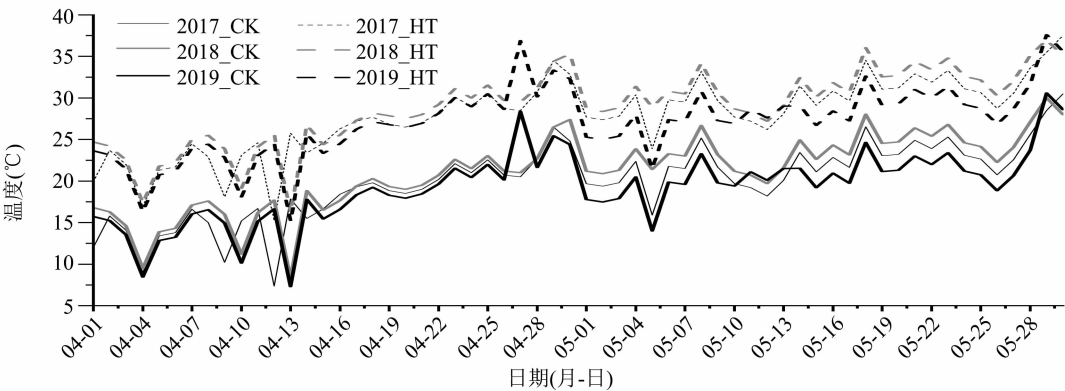


图1 2017—2019 年灌浆期对照(实线)和处理(虚线)日平均气温

含量为 13%, 使用万深 SC-G 型自动考种仪(中国杭州万深检测科技有限公司)采集对照与高温处理后的籽粒粒长、粒宽、直径、圆度、周长、面积数据, 设置 3 次测量重复, 每次重复测定 200 个籽粒, 取均值。

1.4 数据统计与分析

使用 R 语言对 3 年数据进行最佳线性无偏预测(BLUP)值计算, 使用 SPSS 26.0 进行相关性和主成分分析, 采用模糊数学中的隶属函数法对小麦的耐高温性进行综合评价, 使用微生信在线网站(<http://www.bioinformatics.com.cn/>)进行聚类分析。

以性状的相对值(耐高温系数)对不同品种(系)的耐高温性进行评价:

耐高温系数(HTC) = 处理值/对照值。

根据隶属函数分析的模糊数学原理, 依据耐高温系数计算每个指标的隶属函数值 $\mu(X)$:

$$\mu(HTC_i) = \frac{HTC_i - \min(HTC)}{\max(HTC) - \min(HTC)} (i=1, 2, \dots, n)。$$

式中: $\mu(HTC_i)$ 为第 i 个指标的隶属函数值; HTC_i 为第 i 个指标的耐高温系数; $\max(HTC)$ 和 $\min(HTC)$ 分别为该指标耐高温系数的最大值和最小值, 并根据张文娥等的方法^[17] 计算每个品种的综合隶属函数值 D 。

2 结果与分析

2.1 不同环境下小麦粒型遗传变异分析

粒型测定结果(图 2)显示, 6 个粒型性状在 3 年试验中均呈连续性分布, 且均存在广泛变异。3 年间参试小麦的粒长、粒宽、直径、圆度、周长、面积在对照环境下的变异范围分别为 5.43 ~ 10.09 mm、2.72 ~ 4.49 mm、4.13 ~ 7.21 mm、0.37 ~ 0.59、15.31 ~ 25.16 mm、12.58 ~ 29.93 mm²; 在高温处理环境下的变异范围分别为 4.82 ~ 9.65 mm、2.02 ~ 3.99 mm、3.48 ~ 6.61 mm、0.31 ~ 0.56、12.15 ~ 22.97 mm、9.37 ~ 29.55 mm²。

与对照组相比, 3 年的高温处理均导致 6 个粒型指标均值降低, 但差异不显著。为减小不同年份间误差影响, 使用 BLUP 分析对数据进行矫正, 矫正后对照组的粒长、粒宽、直径、圆度、周长、面积变异范围分别为 6.88 ~ 7.95 mm、3.22 ~ 3.89 mm、5.00 ~ 5.78 mm、0.43 ~ 0.52、17.96 ~ 21.52 mm、18.27 ~ 23.10 mm²; 高温处理组的变异范围分别为 6.71 ~

7.55 mm、2.96 ~ 3.25 mm、4.72 ~ 5.29 mm、0.39 ~ 0.46、17.83 ~ 20.39 mm、17.68 ~ 20.18 mm²。高温胁迫对 6 个粒型指标的影响程度由高到低分别为粒宽、圆度、面积、直径、粒长、周长, 其均值分别降低 10.93%、9.59%、7.31%、5.35%、3.43%、2.52%, 但胁迫前后差异均不显著。

2.2 小麦粒型指标耐高温系数分析

由表 2 可知, 在高温胁迫下, 小麦籽粒的粒长、直径、圆度、周长、面积耐高温系数与对照相比均存在降低或升高的现象($HTC < 1$ 或 $HTC > 1$), 且最大降低程度均大于最大升高程度, 所有参试材料中仅有粒宽在高温胁迫下均呈现降低现象($HTC < 1$), 表明高温处理对粒宽的影响最为显著。统计分析结果显示, 参试小麦的粒宽在整体水平上降低最多, 其次为圆度、面积、直径、粒长、周长。不同指标间耐高温系数的变异系数存在差异, 面积变异系数最大, 其次为粒宽、圆度、周长、直径, 粒长变异系数最小, 为 2.29%, 变异范围为 0.89 ~ 1.02。

2.3 高温胁迫粒型指标间相关性分析

由表 3 可知, 在对照组中, 粒长与粒宽、直径、周长、面积均呈极显著正相关关系, 而粒长与圆度呈极显著负相关关系。粒宽与直径、圆度、周长、面积均呈极显著正相关关系。直径与圆度呈极显著负相关关系, 与周长、面积呈极显著正相关关系, 其中与面积的相关性系数最高, 为 0.94。圆度与周长呈极显著负相关关系($P < 0.01$), 与面积负相关, 但相关性不显著。周长与面积呈极显著正相关关系。

而在高温处理后, 各个粒型指标的相关性发生变化(表 4)。粒长与粒宽、周长的相关性系数增加, 与直径和面积的相关性系数降低, 与圆度由极显著负相关变为不显著负相关关系。粒宽与直径、圆度、周长、面积的相关系数均降低, 但仍为极显著正相关。直径与周长仍为极显著正相关关系, 但相关性降低, 与圆度由极显著负相关变为不显著正相关。圆度与周长、面积在高温处理后不存在显著相关性。周长与面积的相关系数降低, 但仍为极显著正相关。各个指标间相关性较为复杂, 因此需要综合考虑多个指标, 以有效评估小麦耐高温性。

2.4 高温胁迫下粒型主成分分析

对 234 份参试品种的 6 个粒型指标的耐高温系数进行主成分分析, 并提取特征值大于 1 的主成分, 共提取 2 个主成分(表 5), 第 I 主成分贡献率为 61.31%, 其中直径和面积具有较高的载荷, 分别为

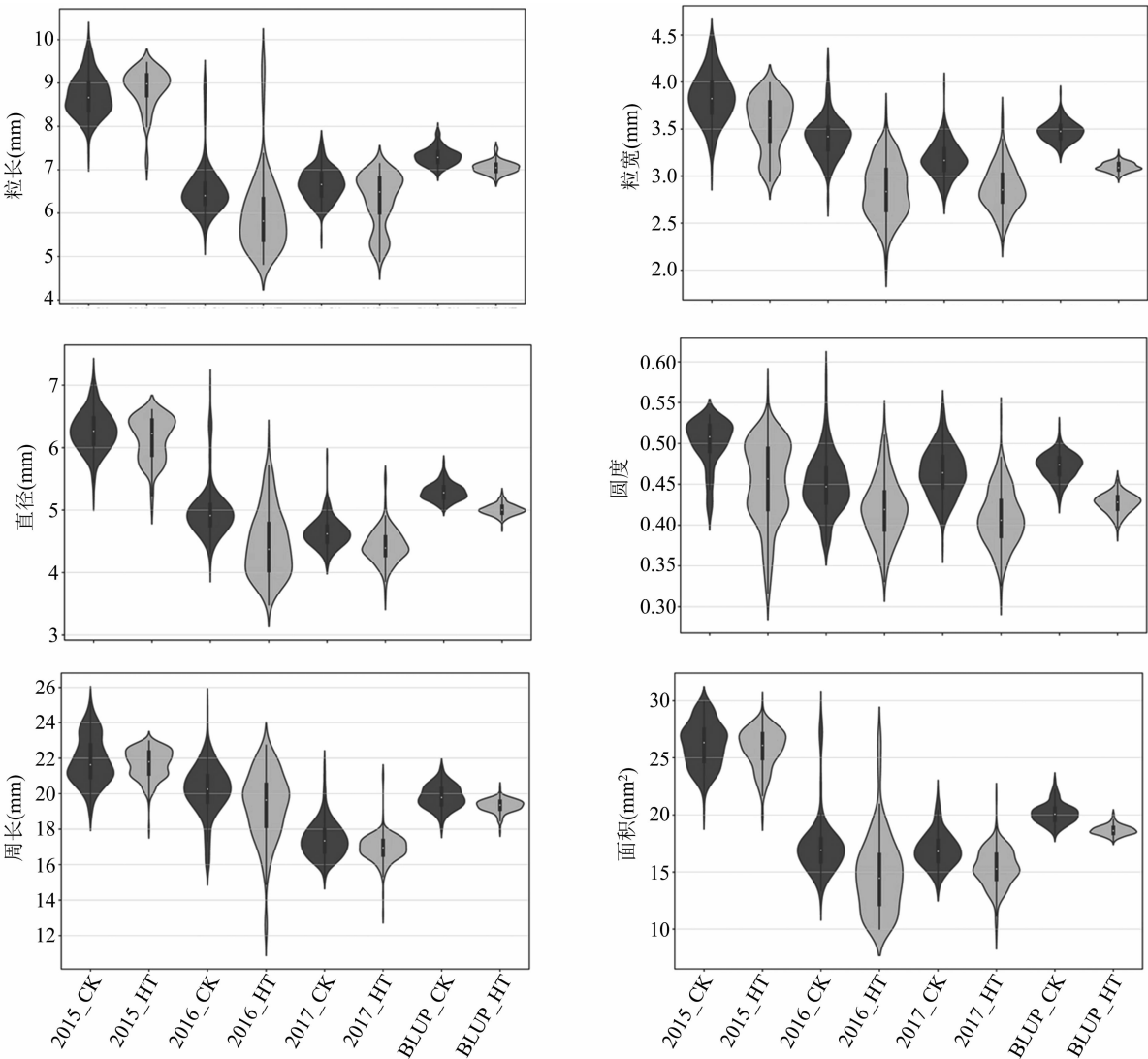


图2 234 份参试小麦在不同处理条件下 6 个粒型指标的 3 年试验以及 3 年 BLUP 值分布的小提琴图

表 2 小麦粒型指标耐高温系数描述性统计

分类	耐高温系数					
	粒长	粒宽	直径	圆度	周长	面积
均值	0.97	0.89	0.95	0.90	0.98	0.93
最大值	1.02	0.98	1.03	1.01	1.06	1.01
最小值	0.89	0.82	0.89	0.84	0.91	0.82
标准差	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
变异系数(%)	2.29	3.07	2.37	2.96	2.94	3.50

0.94 和 0.89。第Ⅱ主成分贡献率为 19.58%，其中圆度和粒宽具有较高的载荷，分别为 0.93 和 0.43。前 2 个主成分累计贡献率为 80.89%，可以较为全面地反映 6 个指标包含的信息，能够准确根据粒型指标对小麦进行耐热性评价。因此我们根据主成分的贡献率和每个指标的主成分权重^[18]，建立了小麦耐高温综合评价数学模型：

表 3 供试小麦对照组籽粒粒型各指标间相关性

指标	相关系数					
	粒长	粒宽	直径	圆度	周长	面积
粒长	1.00					
粒宽	0.36 **	1.00				
直径	0.77 **	0.72 **	1.00			
圆度	-0.44 **	0.45 **	-0.20 **	1.00		
周长	0.66 **	0.54 **	0.83 **	-0.27 **	1.00	
面积	0.73 **	0.72 **	0.94 **	-0.12	0.71 **	1.00

注：*、** 分别表示显著相关 ($P < 0.05$)、极显著相关 ($P < 0.01$)。表 4 同。

$$Y = 0.26X_1 + 0.26X_2 + 0.20X_3 + 0.18X_4 + 0.32X_5 + 0.25X_6。$$

式中： $X_1 \sim X_6$ 分别代表粒长、粒宽、直径、圆度、周长、面积的标准化值。 Y 值越高，表明该小麦品种的

表 4 供试小麦籽粒粒型各指标耐高温系数相关性

指标	相关系数					
	粒长	粒宽	直径	圆度	周长	面积
粒长	1.00					
粒宽	0.41 **	1.00				
直径	0.72 **	0.67 **	1.00			
圆度	-0.03	0.36 **	0.09	1.00		
周长	0.72 **	0.51 **	0.80 **	-0.01	1.00	
面积	0.65 **	0.69 **	0.79 **	0.10	0.65 **	1.00

表 5 主成分的特征值及贡献率

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
I	3.68	61.31	61.31
II	1.18	19.58	80.89
III	0.48	7.97	88.86
IV	0.30	5.07	93.93
V	0.21	3.52	97.45
VI	0.15	2.55	100.00

耐高温性越强,因此根据 Y 值对参试材料进行排序,结果显示,234 份参试小麦的 Y 值范围为 $-2.79 \sim 3.24$,其中 Y 值 >0 的材料包括 119 份,前 10 个耐高温性较好的品种依次为 S_230(北京 12)、S_190(偃大 25)、S_052(湘农 153-27)、S_181(法展 5 号)、S_035(扬麦 15)、S_021(徐麦 27 号)、S_189[湘农 13744-(19-22)]、S_044(宁 0569)、S_098(豫麦 34)、S_085(镇 05-185)。Y 值 ≤ 0 的材料包括 115 份,其中耐高温性较弱的品种为 S_099(豫麦 51)、S_165(郑麦 004)、S_108(高优 503)、S_064[陕 76(73)33-6]、S_005(扬麦 10 号)。

2.5 基于隶属函数值的小麦耐高温性聚类分析

根据耐高温系数分别计算 6 个粒型指标的隶属函数值,并根据该值进行聚类分析,结果(图 3)显示,234 份小麦材料可分为 4 类耐高温性不同的材料。第 I 类为耐高温型材料,包括北京 12、偃大 25、徐麦 7 号等 56 份材料,该类材料综合隶属函数 D 值分布在 $0.56 \sim 0.84$ 。第 II 类材料为中等耐高温型材料,包括济南 8 号、宁麦 32、繁 6 等 72 份材料,该类型综合隶属函数 D 值范围为 $0.46 \sim 0.55$ 。第 III 类为中等高温敏感型材料,包括阿夫、绵阳 30、偃展 4110 等 92 个材料,其综合隶属函数 D 值分布在 $0.29 \sim 0.45$ 。第 IV 类为高温敏感型材料,包括豫麦 51、郑麦 004、高优 503 等 14 个材料,其综合隶属函数 D 值分布范围为 $0.16 \sim 0.26$ 。

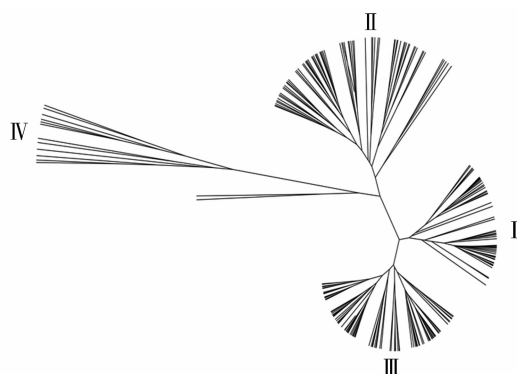


图 3 基于隶属函数值对 234 份参试小麦品种耐高温性聚类分析

3 讨论

3.1 不同气候背景下粒型指标对高温胁迫的响应

同一作物不同品种在不同气候类型背景下籽粒形状对高温的响应均存在差异^[5]。在以北方干旱条件为背景的高温胁迫试验中,中国春等 7 个品种的粒长增加、粒宽降低^[10],而新春 11 则在胁迫后表现为粒长、粒宽、厚度均降低^[11]。在以亚热带湿润气候为背景的高温胁迫试验中,KSG103 等 11 个小麦品种与对照相比粒长降低 6.45%,粒宽降低 3.33%,粒长受胁迫影响程度显著高于粒宽^[19],而对宁麦 13 和镇麦 12 的研究表明,高温导致粒长降低 0.26%~4.09%,而粒宽降低 2.03%~21.47%,粒宽比粒长的下降程度更为显著^[20]。因此需要选取一定数量且具有代表性的小麦种质资源才能有效进行耐高温性评价。在本研究中,笔者在具有湿热环境背景的长江中下游地区对 234 份小麦品种(系)进行高温处理,并对其粒型进行鉴定,结果表明小麦粒宽平均降低 10.93%,下降程度最为显著,且耐高温系数均小于 1,表明该环境下高温对粒宽的影响较大,这与 Jamil 等的研究结果^[21]一致。其次影响较为严重的是圆度,整体降低 9.59%,推测高温导致小麦灌浆过程受阻,进而导致籽粒干瘪,影响圆度值^[6]。本研究中高温对籽粒长度影响较小,对 234 份材料整体分析显示粒长仅降低 3.43%,我们推测小麦在南方湿热环境遭遇高温胁迫后导致胚乳中淀粉沉积受到影响,进而导致粒长和粒宽出现不同程度的变化^[22],且有研究认为,粒宽减小是籽粒在高温胁迫下形状变化的关键特征,与之相比,粒长受影响相对较小^[21]。而差异显著性分析表明,参试材料整体在胁迫前后差异不显著,这可能是由于本研究所选参试材料数量较多,且遗传背景存在较大差异,因而对高温的响应程度不同。

3.2 基于不同分析方法对小麦耐高温性综合评价

利用单一指标对作物的耐逆性进行评价存在一定局限性,因此需要综合考虑多个指标并使用多种方法对作物进行有效的抗逆性评价^[23]。有研究基于面筋含量等面粉品质性状使用聚类分析的方法对 26 份春小麦进行耐热性评价,筛选出 5 个耐热性较强的品种^[24]。张金波等以千粒质量、粒宽、粒长等为主要指标对 43 个新疆春小麦育成品种进行耐热性鉴定,结果显示新春 2 号、新春 37 号、新春 38 号具有较强的耐热性^[25]。由于小麦在灌浆期遭遇高温后导致叶片提前衰老,同化效率下降,灌浆速率降低,灌浆期缩短,导致籽粒干瘪^[5-6],因此本研究连续 3 年测定了小麦的 6 个粒型指标并计算 BLUP 值,根据耐高温系数对 6 个粒型指标进行相关性分析,与 Jamil 等的研究结果^[21]一致,结果表明籽粒粒长、粒宽等多个指标存在不同程度的相关性,因此需要综合考虑多个指标才能有效评价小麦的耐高温性。本研究进一步利用主成分分析法提取累计贡献率达到 80.89% 的 2 个主成分,并根据不同指标的贡献率和权重得到小麦耐高温性评价函数公式,以有效评价小麦的耐高温性。研究表明,采用主成分分析和隶属函数分析法评价作物综合抗逆性具有较好的效果,但原理不同^[23]。因此本研究基于隶属函数值对小麦的耐高温性进行评价,并将材料分为耐高温、中等耐高温、中等敏感、敏感型 4 个类型,值得注意的是,分别基于隶属函数值和主成分综合得分对小麦耐热性评价的结果相关性达到 0.998,2 种评价方法相互验证,这也证明了本研究评价的可靠性。本研究所筛选得到的耐高温性较好的品种徐麦 27 号、扬麦 15 等已被证明均具有良好的抗逆性^[26-27]。

4 结论

本研究对 234 份小麦品种在长江流域湿热环境下于灌浆期高温胁迫后粒型的变化情况进行鉴定,证明粒宽受影响程度最为严重;基于耐高温系数,利用主成分分析、隶属函数分析、聚类分析等多元分析方法对小麦的耐高温性进行评价,筛选得到北京 12、偃大 25、徐麦 27 号等多个耐高温性较强的品种,并建立了评价小麦耐高温性评价函数,为鉴定小麦耐高温性快速鉴定提供理论依据,也为该地区小麦种植提供重要品种信息。

参考文献:

- [1] Curtis T, Halford N G. Food security: the challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety[J]. *Annals of Applied Biology*, 2014, 164(3): 354–372.
- [2] Rasheed A, Xia X C, Ogbonnya F, et al. Genome – wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheats using digital imaging analysis[J]. *BMC Plant Biology*, 2014, 14: 128.
- [3] 隋新霞, 刘学俊, 樊庆琦, 等. 利用智能温室鉴定小麦灌浆期耐热性[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(5): 128–132.
- [4] Ullah A, Nadeem F, Nawaz A, et al. Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2022, 208(1): 1–17.
- [5] 刘万代, 常明娟, 史校艳, 等. 花后高温胁迫对小麦灌浆特性及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(5): 581–588.
- [6] Poudel P B, Poudel M R. Heat stress effects and tolerance in wheat: a review [J]. *Journal of Biology and Today's World*, 2020, 9(3): 217.
- [7] Zhang Y F, Pan J J, Huang X W, et al. Differential effects of a post – anthesis heat stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) grain proteome determined by iTRAQ[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 3468.
- [8] Shi W J, Yin X Y, Struik P C, et al. Grain yield and quality responses of tropical hybrid rice to high night – time temperature[J]. *Field Crops Research*, 2016, 190: 18–25.
- [9] Usui Y, Sakai H, Tokida T, et al. Heat – tolerant rice cultivars retain grain appearance quality under free – air CO₂ enrichment[J]. *Rice*, 2014, 7(1): 6.
- [10] Li R Q, Hou L J, Zhang A H, et al. Heat stress in filling stage confers distinct effect on starch granules formation in different thermotolerant wheat accessions[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2018, 50(3): 913–920.
- [11] 冯 宽, 李 咏, 林 静, 等. 小麦籽粒响应花后早期高温胁迫的形态和细胞学研究[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2018, 36(3): 321–329.
- [12] 冯 波, 李升东, 李华伟, 等. 灌浆初期高温胁迫对不同耐热性小麦品种形态和产量的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(3): 451–461.
- [13] Ding J F, Liang P, Wu P, et al. Effects of waterlogging on grain yield and associated traits of historic wheat cultivars in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China[J]. *Field Crops Research*, 2020, 246(1): 107695.
- [14] 成 林, 张志红, 方文松. 干热风对冬小麦灌浆速率和千粒重的影响[J]. *麦类作物学报*, 2014, 34(2): 248–254.
- [15] 王 婷, 周道玮, 神祥金, 等. 中国柯本气候分类[J]. *气象科学*, 2020, 40(6): 752–760.
- [16] 郭静原. 南涝北旱气候格局会改变吗[N]. *经济日报*, 2021–11–03(8).
- [17] 张文娥, 王 飞, 潘学军. 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. *果树学报*, 2007, 24(6): 849–853.
- [18] 宝力格, 陆 平, 史梦莎, 等. 中国高粱地方种质芽期苗期耐盐性筛选及鉴定[J]. *作物学报*, 2020, 46(5): 734–44.

马仲炼,盘贵经,陈悦,等. 外源 γ -氨基丁酸对苦荞生理特性及产量品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):85-90.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.12.011

外源 γ -氨基丁酸对苦荞生理特性及产量品质的影响

马仲炼^{1,2}, 盘贵经¹, 陈悦¹, 黄先敏¹, 张新军¹, 史志龙¹

(1. 昭通学院农学与生命科学学院, 云南昭通 657000; 2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716)

摘要:为研究外源 γ -氨基丁酸(GABA)对苦荞生长、生理特性、产量及品质的影响,以昭苦2号为材料,通过盆栽试验在苦荞现蕾时叶面喷施4个浓度(0、0.6、1.2、2.4 mmol/L)的GABA,研究GABA对荞麦的农艺性状(株高、茎粗、主茎节数和有效分枝数)、生理生化(叶绿素、可溶性蛋白、丙二醛含量)、产量(单株粒数、单株粒质量和千粒质量)和籽粒品质指标(可溶性蛋白、还原糖、可溶性糖、黄酮和游离总氨基酸含量)的变化。结果表明,喷施GABA可以有效减缓荞麦叶绿素含量的降低,减少丙二醛的积累,但会造成叶片可溶性蛋白含量降低;0.6 mmol/L GABA处理能显著提高荞麦茎粗和籽粒中可溶性糖、还原糖、可溶性蛋白含量,1.2 mmol/L GABA处理可使荞麦单株粒数、单株粒质量、千粒质量和籽粒可溶性蛋白含量显著增加,但1.2、2.4 mmol/L GABA处理会造成荞麦籽粒游离总氨基酸和黄酮含量显著降低。利用模糊隶属函数法对荞麦农艺性状、生理指标和产量品质指标进行综合评价,0、0.6、1.2、2.4 mmol/L GABA处理的综合评价值分别为0.481 6、0.509 9、0.501 5、0.470 9,可见,喷施GABA浓度低于1.2 mmol/L时有利于苦荞生产。

关键词:苦荞; γ -氨基丁酸; 农艺性状; 生理特性; 产量; 品质

中图分类号:S517.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)12-0085-06

荞麦是蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum*)双子叶植物,是我国一种种植历史悠久的小宗作物,有苦荞(*Ftataricum*)和甜荞(*Fesculentum*)2个栽培

种^[1],广泛种植于云贵高原、鄂湘武陵山区丘陵山地、甘南山区等地区^[2]。昭通市是云南省主要的苦荞种植区,由于独特的区域优势,苦荞已经成为该地区主要的粮食作物。苦荞中蛋白质、微量元素、黄酮等成分含量普遍高于其他谷物作物,具有较高的营养和保健价值^[3],因此被誉为“五谷之王”。随着人们的消费升级,由苦荞加工成的保健食品也受到普遍欢迎,苦荞及其相关产品已经形成了可观的市场规模。然而苦荞种植存在单产低、适应性差、品种抗逆性不稳定等问题,苦荞的栽培与增收受到

收稿日期:2022-06-15

基金项目:云南省基础研究项目面上项目(编号:202101BA070001-061)。

作者简介:马仲炼(1988—),男,云南昭通人,博士研究生,讲师,主要

从事作物高产高效栽培研究。E-mail:mazhongli1988@163.com。

通信作者:史志龙,博士,讲师,主要从事植物细胞代谢调控研究。

E-mail:shizhilong@163.com。

[19] Sun A Q, Somayanda I, Valiaparambil Sebastian J, et al. Heat stress during flowering affects time of day of flowering, seed-set and grain quality in spring wheat [J]. Crop Science, 2018, 58 (1): 380-392.

[20] Zhao K M, Tao Y, Liu M M, et al. Does temporary heat stress or low temperature stress similarly affect yield, starch, and protein of winter wheat grain during grain filling? [J]. Journal of Cereal Science, 2022, 103: 103408.

[21] Jamil M, Ali A, Ghafoor A, et al. Digital image analysis of seed shape influenced by heat stress in diverse bread wheat germplasm [J]. Pakistan Journal of Botany, 2017, 49 (4): 1279-1284.

[22] Shirdelmoghanloo H, Chen K F, Paynter B H, et al. Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period [J]. Frontiers in Plant

Science, 2022, 13: 858652.

[23] 邹成林, 黄开健, 翟瑞宁, 等. 基于隶属函数法和主成分分析评价玉米萌发期抗旱性[J]. 江苏农业科学, 2022, 50 (13): 7-13.

[24] 刘怡辰, 仵妮平, Токтапов Н. З., 等. 不同小麦品种面粉品质性状对花期高温响应及耐热性评价[J]. 新疆农业科学, 2022, 59 (3): 541-550.

[25] 张金波, 王小波, 严勇亮, 等. 新疆春小麦育成品种耐热性评价[J]. 麦类作物学报, 2020, 40 (9): 1055-1063.

[26] 刘东涛, 陈荣振, 冯国华, 等. 优质高产早熟小麦品种——徐麦27号[J]. 麦类作物学报, 2005, 25 (4): 151.

[27] 吴宏亚, 汪尊杰, 张伯桥, 等. 氮肥追施比例对弱筋小麦扬麦15籽粒产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35 (2): 258-262.