

拔节至大喇叭口期高温胁迫对夏玉米穗粒形状的影响

吴伟华, 王秋岭, 张运栋, 闫海霞, 袁刘正, 付家锋,
李 腾, 王 蕊, 刘 康, 柳家友

(漯河市农业科学院, 河南 漯河 462300)

摘 要: 以漯玉 16 等 11 个玉米杂交种为研究材料, 在拔节至大喇叭口期通过智能温室模拟高温环境进行处理, 对穗长、穗粗、子粒体积指标(粒长、粒宽和粒厚)、穗粒体积指标(穗周粒宽和有效穗长)和穗粒重进行分析, 综合评价夏玉米拔节至大喇叭口期的耐高温能力。结果表明, 拔节至大喇叭口期高温胁迫导致夏玉米的雌穗发育受阻, 穗长变短、穗粗变细, 子粒长度变短, 有效穗长度和穗周粒宽度变小, 穗粒体积变小, 穗粒重下降。综合子粒体积指标(穗长和穗粗)和穗粒体积指标(穗周粒宽和有效穗长)的耐高温系数构成的隶属函数值, 试验品种拔节至大喇叭口期的耐高温能力由强到弱依次为漯玉 16、漯玉 197、绿源 9 号、郑单 958、漯玉 172、漯玉 18、漯玉 19、漯玉 186、先玉 335、漯玉 171、漯玉 182。

关键词: 夏玉米; 高温胁迫; 穗粒形态

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of High Temperature Stress on Ear and Grain Morphology of Summer Maize during Jointing to Big Trumpet Stage

WU Wei-hua, WANG Qiu-ling, ZHANG Yun-dong, YAN Hai-xia, YUAN Liu-zheng,
FU Jia-feng, LI Teng, WANG Rui, LIU Kang, LIU Jia-you
(Luohe Academy of Agricultural Sciences, Luohe 462300, China)

Abstract: Eleven maize hybrids, including Luoyu 16, were analyzed by simulating high temperature environment in intelligent greenhouse during jointing to big trumpet stage. The analysis of ear length, ear diameter, grain volume (grain length, grain width and grain thickness), ear grain volume (grain width around ear and ear row grain thickness) and grain weight per ear was carried out to comprehensively evaluate the high temperature tolerance of summer maize hybrids during jointing to big trumpet stage. The results showed that the ear development of summer maize was hindered, the ear length and the grain length became shorter, the ear diameter became thinner, the row grain thickness, the grain width around the ear and the grain volume became smaller, and grain weight per ear decreased under the high temperature stress during jointing to big trumpet stage. According to the subordinate function value of high temperature tolerance coefficient by ear index (ear length and ear diameter) and ear grain volume index (grain length, grain width around ear and ear row grain thickness), the high temperature tolerance ability of the tested varieties during jointing to big trumpet stage in order of strength to weakness were Luoyu 16, Luoyu 197, Luoyu 9, Zhengdan 958, Luoyu 172, Luoyu 18, Luoyu 19, Luoyu 186, Xianyu 335, Luoyu 171 and Luoyu 182.

Key words: Summer maize; High temperature stress; Ear and grain morphology

录用日期: 2021-01-22

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目(nycytx-02)、河南省重大公益专项(201300111100)

作者简介: 吴伟华(1976-), 河南舞阳人, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种及栽培技术研究。Tel: 15939562916

E-mail: 15939562916@163.com

王秋岭为本文并列第一作者。

柳家友和张运栋为本文通讯作者。

近年来,随着全球变暖及温室效应的加剧,夏季高温天气时有发生,高温热害已成为制约农业生产的主要非生物逆境之一^[1,2]。黄淮海平原是我国的主要粮食生产区,近年来频繁的高温气象已成为影响作物生产安全的主要气象灾害之一。黄淮海夏玉米季高温累积度日(EDD)整体表现为增温趋势,夏玉米全生育期大部分地区增温显著^[3]。中国近年来高温灾害频发,对黄淮海地区的玉米生产造成较大影响^[4]。通过选用耐热的抗逆品种,可以缓解高温给玉米生产造成的危害^[5]。苗期高温会对玉米幼苗造成影响^[6,7]。玉米穗期高温会对产量、子粒产生影响^[8]。玉米小穗分化期及抽雄期高温对产量和穗位系数产生影响^[9]。玉米孕穗期高温会对植株、花期、穗部性状、可育率和产量产生影响^[10]。玉米花期高温会对穗部性状、育性、产量和品质造成影响^[11~14]。玉米灌浆期高温会对子粒品质产生影响。

高温逆境对夏玉米的苗期、小穗分化期、花期、孕穗期和灌浆期等时期的影响有很多研究报道,拔节至大喇叭口期高温对夏玉米的影响研究鲜见报道。本试验以11个玉米杂交种为研究材料,在玉米拔节至大喇叭口期通过智能温室模拟高温环境进行处理,对穗长、穗粗、子粒体积(粒长、粒宽和粒厚)、穗粒体积(穗周粒宽和有效穗长)和穗粒重等指标进行分析,综合评价夏玉米拔节至大喇叭口期的耐高温能力,为耐高温玉米品种的筛选和推广提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点

试验位于漯河市农业科学院试验基地(河南郾城, 33°61'78" N、113°98'78" E)。历年降水量约740 mm,其中80%降水集中在6~9月,全年无霜期为219~229 d,年日照时数2 189~2 365 h,年日照率为50%~54%,年太阳辐射总量为496.6~498.7 kJ/cm²。光热资源丰富,降水适中,气候温暖,适宜夏玉米生长。

1.2 试验材料

供试玉米种子为漯玉16、漯玉171、漯玉172、漯玉18、漯玉182、漯玉186、漯玉19、漯玉197、绿源9号、先玉335和郑单958等已审定品种及正在参试的杂交种。

1.3 试验设计

试验于2020年5月15日播种(漯河地处豫中南,近年来夏季高温气象频发,5月上中旬播种可以使正常处理有效避开高温天气正常生长,便于与智

能温室的高温处理进行对比),分别播种于内径40 cm、高35 cm的花盆中,每盆装入15 kg耕层土。土壤有机质为18.64 g/kg,全氮为1.01 g/kg,有效磷为13.71 mg/kg,速效钾为94.38 mg/kg,pH值为7.2。每个品种种植10盆,高温处理和对照处理各5盆,田间管理同当地常规大田。

高温处理(HT):在拔节期将盆栽整体移入人工智能温室进行高温处理,每天上午8时开始对温室内逐渐升温,根据室外气温情况,温室内温度保持在36℃~40℃,期间温度保持在38℃~40℃的天数不少于7 d,下午5时开始进行逐渐降温,使温室内温度至与室外气温基本一致,盆栽品种整体将要进入大喇叭期时,移至室外与对照处理相邻摆放直至收获。没有进行高温处理的正常露地生长盆栽设为对照(CK)。

1.4 测定项目及方法

收获后调查记载穗长、穗粗、轴粗、秃尖长、穗行数、行粒数、粒长、粒宽、粒厚和穗粒重等项目。计算试验品种的有效穗长、穗周粒宽、子粒体积、穗粒体积和相应指标的耐高温系数(图1),部分指标的测量方法及计算公式如下:

粒长、粒宽、粒厚:用游标卡尺测量10粒果穗中部子粒长度、宽度、厚度,求平均值(cm);

有效穗长:果穗底端到顶端每行子粒的总厚度,有效穗长=穗长-秃尖长(cm);

穗周粒宽:果穗的子粒顶端到底端二分之一处一周的子粒总宽度,穗周粒宽=粒宽×穗行数(cm);

子粒体积是指单个子粒的体积,子粒体积=粒长×粒厚×粒宽(cm³);

穗粒体积是指果穗子粒的体积,穗粒体积=粒长×有效穗长×穗周粒宽(cm³);

耐高温系数=高温处理性状值/对照性状值×100%。

隶属函数值计算公式: $R(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$, 式中 X_{ij} 为 i 品种 j 指标的耐高温系数, X_{min} 、 X_{max} 为所有参试品种 j 指标耐高温系数的最小值和最大值, $R(X_{ij})$ 为 i 品种 j 指标耐高温系数的隶属函数值。如果为负相关,则利用反隶属函数进行转换,即 $R(X_{ij}) = 1 - (X_{ij} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ 。将品种相应指标耐高温系数的隶属函数值进行累加,求平均值即为品种相应指标耐高温系数的综合隶属函数值。

1.5 数据统计分析方法

采用 Excel 2010 进行数据处理和绘图, SPSS 19.0 进行统计分析。

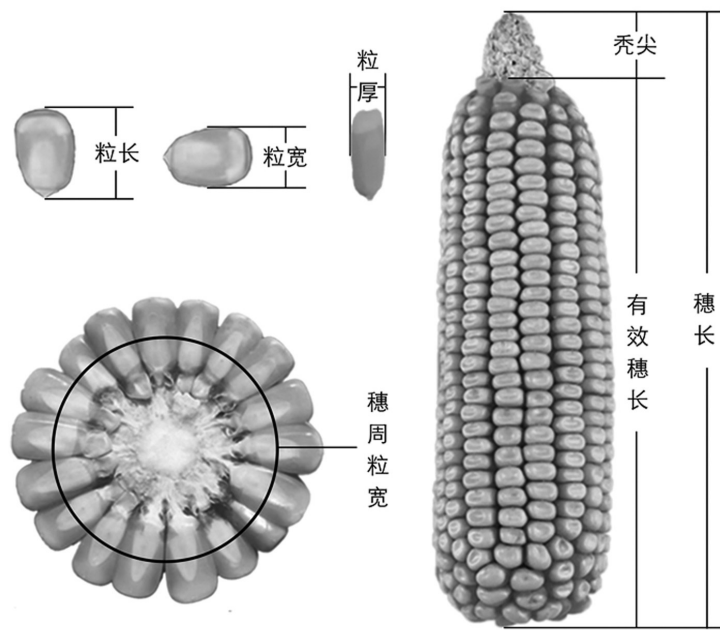


图1 穗、子粒相关指标示意图

Fig.1 Schematic diagram of related indexes of ear and grain

2 结果与分析

2.1 拔节至大喇叭口期高温对穗长和穗粗的影响

由表1可知,高温导致试验品种的穗长、穗粗值均变小,相应的耐高温系数均小于100%。11个品种的穗长平均缩短8.60%,缩幅介于0.43%~22.27%,漯玉16、漯玉18、漯玉172和郑单958的穗长分别缩短0.43%、3.56%、3.59%、3.99%;漯玉186、漯玉197、漯玉171、绿源9号和漯玉19的穗长分别

缩短6.92%、7.25%、8.00%、9.09%、9.16%;先玉335和漯玉182的穗长分别缩短20.30%、22.27%。11个品种的穗粗平均变细6.01%,幅度介于3.45%~10.61%,其中漯玉197、漯玉16和绿源9号的穗粗分别变细3.45%、3.60%、3.60%;郑单958、漯玉172、漯玉19、漯玉18、漯玉186、先玉335和漯玉182穗粗分别变细5.15%、5.56%、5.67%、5.93%、6.67%、6.77%、9.09%;漯玉171的穗粗变细10.61%。

表1 拔节至大喇叭口期高温对穗长和穗粗的影响

Table 1 Effect of high temperature on ear length and ear diameter during jointing to big trumpet stage

品种 Variety	穗长 Ear length					穗粗 Ear diameter				
	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient
	Mean	CV	Mean	CV		Mean	CV	Mean	CV	
	(cm)	(%)	(cm)	(%)		(cm)	(%)	(cm)	(%)	
漯玉16	15.50 bcd	1.29	15.57 c	1.96	99.60	4.47 ab	1.29	4.63 ab	1.25	96.42
漯玉171	16.10 abc	2.48	17.50 a	2.49	92.07	3.93 de	3.88	4.40 bc	0.00	89.39
漯玉172	15.23 cd	2.01	15.80 c	1.67	96.43	3.97 de	2.91	4.20 cd	4.12	94.52
漯玉18	16.27 ab	2.16	16.87 ab	1.37	96.47	4.23 bcd	1.36	4.50 abc	3.85	94.15
漯玉182	12.57 f	4.66	16.17 bc	1.89	77.79	3.67 e	1.57	4.03 d	2.86	90.93
漯玉186	16.60 a	2.41	17.83 a	2.33	93.15	4.20 bcd	2.38	4.50 abc	0.00	93.33
漯玉19	16.20 abc	1.63	17.83 a	2.12	90.86	4.43 abc	1.30	4.70 ab	3.69	94.42
漯玉197	14.93 de	1.39	16.10 bc	2.85	92.80	4.67 a	2.47	4.83 a	2.39	96.57
绿源9号	14.00 e	2.58	15.40 c	1.72	90.94	4.47 ab	2.59	4.63 ab	2.49	96.42
先玉335	14.13 e	2.16	17.73 a	1.42	79.73	4.13 cd	1.40	4.43 bc	2.60	93.26
郑单958	15.23 cd	1.00	15.87 c	1.93	96.03	4.30 bc	4.03	4.53 abc	1.27	94.90

2.2 拔节至大喇叭口期高温对子粒形状的影响

2.2.1 拔节至大喇叭口期高温对子粒长度的影响

由表2可知,高温导致试验品种的子粒长度均变短,粒长的耐高温系数均小于100%。11个品种的粒长平均缩短7.92%,幅度介于3.51%~17.74%,

其中漯玉16和漯玉19的粒长分别缩短3.51%、3.57%;郑单958、漯玉197、漯玉186、绿源9号、漯玉172和漯玉18的粒长分别缩短5.17%、6.25%、6.35%、6.56%、7.14%、8.47%;漯玉182、先玉335和漯玉171的粒长分别缩短10.91%、11.48%、17.74%。

表2 拔节至大喇叭口期高温对子粒长度的影响
Table 2 Effect of high temperature on grain length during jointing to big trumpet stage

品 种 Variety	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient
	Mean(cm)	CV(%)	Mean(cm)	CV(%)	
漯玉16	0.92 abcd	3.15	0.95 cde	0.00	96.49
漯玉171	0.85 de	5.88	1.03 abc	2.79	82.38
漯玉172	0.87 cde	3.33	0.93 de	3.09	92.88
漯玉18	0.90 bcde	0.00	0.98 abcde	2.94	91.58
漯玉182	0.82 e	3.53	0.92 e	3.15	89.18
漯玉186	0.98 ab	2.94	1.05 ab	0.00	93.65
漯玉19	0.90 bcde	0.00	0.93 de	6.19	96.67
漯玉197	1.00 a	0.00	1.07 a	2.71	93.80
绿源9号	0.95 abc	0.00	1.02 abcd	2.84	93.49
先玉335	0.90 bcde	0.00	1.02 abcd	2.84	88.57
郑单958	0.92 abcd	6.30	0.97 bcde	2.99	95.00

2.2.2 拔节至大喇叭口期高温对子粒宽度指标的影响

由表3可知,高温导致试验品种粒宽或变宽或变窄,穗周粒宽值均变小,其耐高温系数均小于100%,粒宽耐高温系数值≥穗周粒宽耐高温系数值,表明高温造成品种子粒粒宽变宽幅度小于穗行数变少的幅度。11个品种的穗周粒宽平均变小

5.74%,幅度介于2.68%~10.12%,其中漯玉197、绿源9号和漯玉16的穗周粒宽分别变小2.68%、2.79%、3.63%;漯玉172、郑单958、漯玉18、先玉335、漯玉19、漯玉171和漯玉182的穗周粒宽分别变小5.07%、5.15%、5.19%、5.35%、6.23%、8.42%、8.55%;漯玉186的穗周粒宽变小10.12%。

表3 拔节至大喇叭口期高温对子粒宽度指标的影响
Table 3 Effect of high temperature on grain width index during jointing to big trumpet stage

品 种 Variety	粒宽 Grain width					穗周粒宽 Grain width around ear				
	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient
	Mean (cm)	CV (%)	Mean (cm)	CV (%)		Mean (cm)	CV (%)	Mean (cm)	CV (%)	
漯玉16	0.80 bc	1.41	0.83 b	1.57	96.41	11.15 ab	1.41	11.57 ab	1.57	96.41
漯玉17	0.77 bc	5.62	0.76 bc	0.86	101.60	9.68 ef	3.38	10.57 cde	0.86	91.57
漯玉172	0.77 bc	6.02	0.77 bc	4.48	100.04	9.74 def	2.79	10.26 de	4.42	94.98
漯玉18	0.83 abc	7.02	0.83 b	4.81	99.97	10.47 bcde	1.73	11.04 abcd	4.10	94.87
漯玉182	0.75 c	1.75	0.74 bc	5.77	101.55	8.95 f	1.75	9.79 e	3.34	91.49
漯玉18	0.81 abc	3.47	0.82 b	0.00	99.54	10.30 bcde	5.62	11.46 abc	0.00	89.88
漯玉19	0.92 a	1.63	0.94 a	5.76	98.86	11.09 ab	1.63	11.83 a	3.07	93.88
漯玉197	0.91 a	5.68	0.77 bc	5.12	118.06	11.51 a	3.15	11.83 a	2.76	97.36
绿源9号	0.87 ab	5.55	0.74 bc	5.00	117.92	11.04 abc	3.28	11.36 abc	2.88	97.25
先玉335	0.85 abc	1.79	0.70 c	4.84	120.84	10.15 cde	1.79	10.73 bcd	3.05	94.67
郑单958	0.80 bc	5.54	0.80 b	0.81	99.90	10.62 abcd	3.41	11.20 abc	0.81	94.88

2.2.3 拔节至大喇叭口期高温对子粒厚度指标的影响

由表4可知,高温导致试验品种的粒厚或变大或变小,有效穗长值均变小,其耐高温系数均小于100%,粒厚耐高温系数值>有效穗长耐高温系数值,表明在高温造成品种子粒厚变大幅度小于行粒数变少的幅度。11个品种的有效穗长平均变小10.88%,

幅度介于1.72%~24.89%,其中漯玉16有效穗长减小1.72%;漯玉18、漯玉197、漯玉86、漯玉172、郑单958和漯玉19的有效穗长分别减小5.80%、7.25%、7.91%、8.37%、9.03%、9.51%;绿源9号、漯玉171、先玉335和漯玉182有效穗长分别减小10.13%、13.02%、22.07%、24.89%。

表4 拔节至大喇叭口期高温对子粒厚度指标的影响
Table 4 Effect of high temperature on grain thickness index during jointing to big trumpet stage

品 种 Variety	粒厚 Grain thickness					有效穗长 Effective ear length				
	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient
	Mean	CV	Mean	CV		Mean	CV	Mean	CV	
	(cm)	(%)	(cm)	(%)		(cm)	(%)	(cm)	(%)	
漯玉16	0.48 abc	2.31	0.48 b	2.58	99.33	15.23 ab	1.37	15.50 def	1.29	98.29
漯玉171	0.53 a	4.77	0.55 a	5.05	96.52	14.70 bc	2.45	16.90 ab	1.57	87.02
漯玉172	0.47 bc	1.34	0.47 b	5.19	100.99	13.87 de	1.1	15.13 ef	1.01	91.64
漯玉18	0.45 c	2.33	0.46 b	3.25	96.03	15.17 b	0.76	16.10 cd	1.24	94.21
漯玉182	0.47 bc	2.89	0.46 b	3.06	101.70	11.17 g	3.14	14.87 f	1.40	75.14
漯玉186	0.45 c	2.83	0.48 b	2.27	94.89	15.13 b	1.01	16.43 bc	1.86	92.11
漯玉19	0.52 ab	4.08	0.48 b	2.63	108.53	15.87 a	0.96	17.53 a	0.87	90.50
漯玉197	0.52 ab	4.01	0.47 b	3.10	112.26	14.93 bc	1.39	16.10 cd	2.85	92.80
绿源9号	0.49 abc	6.06	0.46 b	8.91	107.32	13.60 e	1.27	15.13 ef	1.38	89.88
先玉335	0.48 abc	4.19	0.47 b	1.35	102.45	12.83 f	1.62	16.47 bc	1.53	77.95
郑单958	0.51 ab	2.76	0.48 b	1.21	105.99	14.43 cd	1.44	15.87 cde	1.93	90.97

2.2.4 拔节至大喇叭口期高温对子粒体积指标的影响

由表5可知,高温导致试验品种的子粒体积或

变大或变小,穗粒体积均变小,其耐高温系数均小于100%,子粒体积耐高温系数值>穗粒体积耐高温系数值,表明高温造成品种子粒体积变大幅度小于穗

表5 拔节至大喇叭口期高温对子粒体积指标的影响
Table 5 Effect of high temperature on grain volume index during jointing to big trumpet stage

品 种 Variety	子粒体积 Grain volume					穗粒体积 Grain volume of ear				
	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient
	Mean	CV	Mean	CV		Mean	CV	Mean	CV	
	(cm ³)	(%)	(cm ³)	(%)		(cm ³)	(%)	(cm ³)	(%)	
漯玉16	0.35 de	1.40	0.38 cde	1.85	92.33	155.69 ab	4.42	170.30 c	2.02	91.47
漯玉171	0.34 de	3.49	0.43 a	6.67	80.59	120.99 cd	7.39	184.54 abc	0.52	65.57
漯玉172	0.32 ef	1.74	0.34 ef	3.95	93.75	117.06 d	6.47	145.07 d	8.18	80.99
漯玉18	0.33 de	8.86	0.38 cd	2.37	87.91	142.88 b	2.50	174.87 bc	5.97	81.86
漯玉182	0.29 f	3.26	0.31 f	2.36	91.82	81.57 e	3.13	133.38 d	5.17	61.20
漯玉186	0.36 d	4.06	0.41 abc	2.27	88.46	153.41 ab	8.02	197.76 ab	1.86	77.67
漯玉19	0.44 ab	2.57	0.42 ab	2.85	103.48	158.44 ab	2.45	193.71 abc	8.68	82.21
漯玉197	0.48 a	2.45	0.38 bcd	2.29	124.04	171.88 a	1.80	202.98 a	1.55	84.69
绿源9号	0.41 bc	0.71	0.35 def	6.32	118.01	142.69 b	4.08	174.81 bc	5.67	81.80
先玉335	0.37 cd	5.94	0.34 ef	3.04	109.71	117.24 d	0.43	179.55 abc	3.24	65.34
郑单958	0.37 cd	3.43	0.37 cde	3.6	100.34	140.72 bc	9.31	171.78 c	3.90	82.16

粒数变少的幅度。11个品种的穗粒体积平均变小22.42%,幅度介于8.58%~38.85%,其中漯玉16的穗粒体积减小8.58%;漯玉197、郑单958、漯玉19、漯玉18、绿源9号和漯玉172的穗粒体积分别减小15.32%、18.08%、18.21%、18.29%、18.38%、19.30%;漯玉186的穗粒体积减小22.43%;漯玉171、先玉335和漯玉182的穗粒体积分别减小34.44%、34.70%、38.85%。

2.3 拔节至大喇叭口期高温对穗粒重的影响

由表6可知,高温导致穗粒重变小,其耐高温系数均小于100%。11个品种的穗粒重平均降低21.01%,幅度介于3.65%~33.52%,漯玉16和漯玉197的穗粒重分别降低3.65%、8.66%;绿源9号和郑单958的穗粒重分别降低10.17%、14.72%;漯玉18、漯玉172、漯玉19、漯玉186和先玉335的穗粒重分别降低24.42%、24.65%、25.21%、26.45%、26.54%;漯玉171和漯玉182的穗粒重分别降低33.08%、33.52%。

表6 拔节至大喇叭口期高温对穗粒重的影响
Table 6 Effect of high temperature on grain weight per ear during jointing to big trumpet stage

品 种 Variety	HT		CK		耐高温系数(%) Heat resistance coefficient
	Mean (g)	CV (%)	Mean (g)	CV (%)	
漯玉16	126.63 a	1.80	131.43 def	1.50	96.35
漯玉171	100.79 d	2.33	150.61 ab	5.01	67.05
漯玉17	105.29 cd	4.28	139.74 bcd	0.86	75.35
漯玉18	102.13 d	1.49	135.13 cde	2.64	75.63
漯玉182	91.72 e	2.67	137.96 cde	2.80	66.52
漯玉186	116.12 b	1.78	157.88 a	2.81	73.57
漯玉19	108.59 bcd	1.41	145.18 bc	5.74	74.98
漯玉197	116.06 b	5.16	127.07 ef	1.80	91.34
绿源9号	108.64 bcd	1.73	120.93 f	1.70	89.86
先玉335	110.87 bc	1.01	150.93 ab	2.05	73.47
郑单958	104.15 cd	1.52	122.13 f	1.56	85.30

2.4 穗指标和穗粒体积指标耐高温系数的隶属函数值

由图2可知,在拔节至大喇叭口期进行高温处理,不同品种的穗指标(穗长和穗粗)和穗粒体积指标(粒长、穗周粒宽和有效穗长)的耐高温系数构成

的隶属函数值差异很大。11个试验品种拔节期至大喇叭口期高温的耐受能力有强到弱依次为漯玉16、漯玉197、绿源9号、郑单958、漯玉172、漯玉18、漯玉19、漯玉186、先玉335、漯玉171、漯玉182。

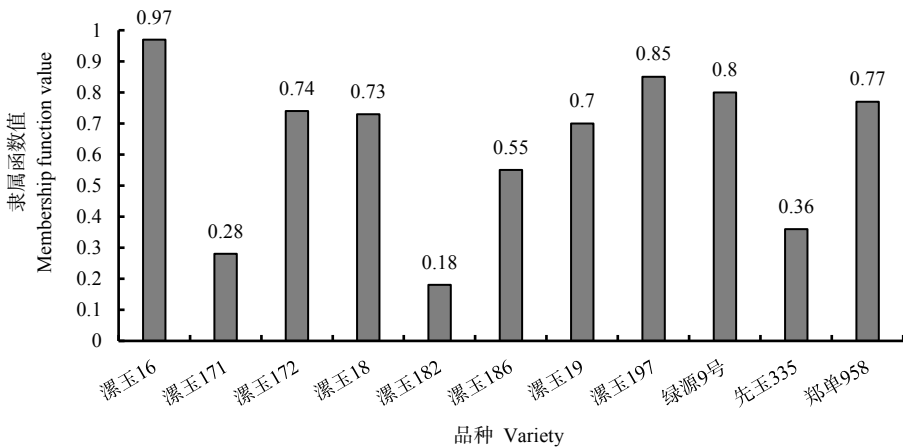


图2 穗指标和穗粒体积指标的耐高温系数隶属函数值
Fig.2 Membership function values of high temperature tolerance coefficient of ear index and ear grain volume index

3 结论与讨论

黄淮海夏玉米生长期遭遇高温胁迫的情况时有发生,并对夏玉米的生长发育造成影响。牛丽等^[6]研究表明,苗期高温对玉米的总干物质量、根冠比、茎粗、叶面积、叶绿素相对含量和胚根长等指标影响较大。吴建慧等^[7]通过人为模拟高温,研究高温对玉米幼苗保护酶活性及膜脂过氧化作用的影响,结果发现,玉米苗期遭受高温胁迫后造成活性氧积累及由此引发的膜脂过氧化作用,从而导致玉米幼苗受到高温伤害。付景等^[8]通过以耐热型玉米品种和热敏感型玉米品种为试验材料,研究第9片叶完全展开至抽雄期高温对玉米品种的影响,结果发现,穗期高温造成玉米的产量下降,粒重、灌浆速率和粒淀粉合成酶活性降低,生长素、玉米素核苷和赤霉素含量发生变化。孙武等^[9]研究表明,小穗分化期及抽雄期高温对玉米的产量和穗位系数均产生影响。吴伟华等^[10]通过对夏玉米杂交种在孕穗期进行高温胁迫,结果发现,孕穗期高温使玉米的株高和穗位高均变高,花期滞后,穗长、穗粗、穗行数、行粒数、穗粒数、穗粒重、可育率和理论产量下降。赵龙飞等^[11]通过花前(吐丝前0~8 d)和花后(吐丝后0~8 d)高温胁迫,研究花期前后高温对不同耐热性玉米光合特性及产量品质的影响,结果发现,花期前后高温对玉米的光合影响显著,导致玉米产量显著降低,品质受到显著影响。于康珂等^[12]以黄淮海地区主栽玉米品种为试材,研究花期高温对不同玉米杂交种的形态、叶片生理以及产量构成因素的影响,结果表明,高温胁迫阻碍玉米雌雄穗的分化,造成植株生长中心转移,且不同基因型玉米间存在显著差异。乔江方等^[13]以黄淮海区域主栽夏玉米品种为试验材料,采用大田试验,研究花期高温对不同夏玉米品种产量和品质的影响,结果发现,高温可降低夏玉米的百粒重、穗行数和穗粒数,进而降低产量及影响子粒品质。李文阳等^[14]通过开花期和子粒灌浆期高温胁迫,研究不同生育期高温对玉米穗部性状、子粒品质与淀粉糊化特性的影响,结果发现,开花期高温对玉米子粒育性影响较大,灌浆期高温主要影响玉米子粒品质。

本研究表明,拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米的穗长变短、穗粗变细、穗粒重下降,进而导致产量降低。在相同的栽培条件下,不同品种之间穗长和穗粗的变化有差异,说明杂交种的遗传基础决定了其对高温的耐受能力。不同夏玉米杂交种遗传基础的差异导致其对拔节至大喇叭口期高温的耐受程

度不同需要进一步研究。拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米杂交种的子粒长度均变短,品种之间存在差异。拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米的子粒宽度或变大或变小;穗周粒宽值均变小,且粒宽耐高温系数值 $\geq$ 穗周粒宽耐高温系数值,表明在拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米杂交种子粒宽度变宽幅度小于穗行数变少的幅度,子粒宽度变大而穗周粒宽变小是穗行数的变少所导致。拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米的子粒厚度或变大或变小;有效穗长值均变小,且子粒厚度耐高温系数值 $>$ 有效穗长耐高温系数值,表明在拔节至大喇叭口期高温胁迫导致夏玉米的子粒厚变大幅度小于行粒数变少的幅度。子粒厚度变大而行粒数变小是行粒数的变少所导致。拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米的子粒体积或变大或变小;穗粒体积均变小,且子粒体积耐高温系数值 $>$ 穗粒体积耐高温系数值,表明在拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米子粒体积变大幅度小于穗粒数变少的幅度,拔节至大喇叭口期高温导致夏玉米雌穗的发育受阻,子粒体积变大而穗粒体积变小说明雌穗的结实差,穗粒数降低的幅度大,单个子粒的生长空间大,雌穗的结实差。

综合夏玉米的穗指标(穗长和穗粗)和穗粒体积指标(粒长、穗周粒宽和有效穗长)的耐高温系数构成的隶属函数值,11个夏玉米杂交种拔节期高温的耐受能力由强到弱依次为漯玉16、漯玉197、绿源9号、郑单958、漯玉172、漯玉18、漯玉19、漯玉186、先玉335、漯玉171、漯玉182。

参考文献:

- [1] 张吉旺,董树亭,王空军,等. 大田增温对夏玉米产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 52-56.
Zhang J W, Dong S T, Wang K J, et al. Effects of high field temperature on summer maize grain yield and quality[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(1): 52-56. (in Chinese)
- [2] 张组建,王晴晴,朗有忠,等. 水稻抽穗期高温胁迫对不同品种授粉和受精作用的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(2): 273-282.
Zhang Z J, Wang Q Q, Lang Y Z, et al. Effect of high temperature stress at heading stage on pollination and fertilization of different types of rice variety[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(2): 273-282. (in Chinese)
- [3] 王丽君. 黄淮海平原夏玉米季干旱,高温的发生特征及对产量的影响[D]. 中国农业大学, 2018.
- [4] 刘哲,汪雪滢,刘帝佑,等. 基于MODIS数据的黄淮海夏玉米高温风险空间分布[J]. 农业工程学报, 2018(9): 175-181.
Liu Z, Wang X Y, Liu D Y, et al. Spatial distribution of high temperature risk on summer maize in Huang-huai-hai Plain based on MODIS data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2018, 34(9): 175-181. (in Chinese)

- [5] 陈朝辉,王安乐,王娟娟,等. 高温对玉米生产的危害及防御措施[J]. 作物杂志, 2008(4):90-92.
Chen Z H, Wang A L, Wang J J, et al. Influence of high temperature on growth and development of maize[J]. Crops, 2008(4): 90-92. (in Chinese)
- [6] 牛 丽,刘 源,于康珂,等. 玉米杂交种苗期耐热性评价[J]. 玉米科学, 2015, 23(1):107-114.
Niu L, Liu Y, Yu K K, et al. Evaluation of heat-tolerance of maize hybrids at seedling stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2015, 23(1): 107-114. (in Chinese)
- [7] 吴建慧,赵 军,孙国荣. 高温对玉米幼苗膜脂过氧化作用的影响[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2005, 21(1):82-85.
Wu J H, Zhao J, Sun G R, et al. Effect of high temperature on membrane lipid peroxidation in leaves of maize seedling[J]. Natural Sciences Journal of Harbin Normal University, 2005, 21(1): 82-85. (in Chinese)
- [8] 付 景,孙宁宁,刘天学,等. 穗期高温对玉米子粒灌浆生理及产量的影响[J]. 作物杂志, 2019(3):118-125.
Fu J, Sun N N, Liu T X, et al. The Effects of high temperature at spike stage on grain-filling physiology and yield of maize[J]. Crops, 2019(3): 118-125. (in Chinese)
- [9] 孙 武,韩淑华,刘建民,等. 不同玉米品种在小穗分化期和抽雄期对高温胁迫的响应差异[J]. 中国农学通报, 2019, 35(17): 12-19.
Sun W, Han S H, Liu J M, et al. Response of Maize cultivars to high temperature stress at spikelet differentiation stage and tasseling stage [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(17): 12-19. (in Chinese)
- [10] 吴伟华,柳家友,袁刘正,等. 孕穗期高温逆境对玉米杂交种的影响分析[J]. 作物杂志, 2020(5):59-64.
Wu W H, Liu J Y, Yuan L Z, et al. Effects of high temperature stress at booting stage on maize hybrids[J]. Crops, 2020(5): 59-64. (in Chinese)
- [11] 赵龙飞,李潮海,刘天学,等. 花期前后高温对不同基因型玉米光合特性及产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(23): 4947-4958.
Zhao L F, Li C H, Liu T X, et al. Effect of high temperature during flowering on photosynthetic characteristics and grain yield and quality of different genotypes of maize(*Zea Mays* L.)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(23): 4947-4958. (in Chinese)
- [12] 于康珂,刘 源,李亚明,等. 玉米花期耐高温品种的筛选与综合评价[J]. 玉米科学, 2016, 24(2):62-71.
Yu K K, Liu Y, Li Y M, et al. Screening and comprehensive evaluation of heat-tolerance of maize hybrids in flowering stage[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(2): 62-71. (in Chinese)
- [13] 乔江方,李 萍,张美微,等. 花期高温对不同夏玉米品种产量及品质的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(7):11-18.
Qiao J F, Li P, Zhang M W, et al. Effect of high temperature on yield and quality of different summer maize varieties at flowering stage[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(7): 11-18. (in Chinese)
- [14] 李文阳,王长进,方 伟,等. 不同生育期高温对玉米子粒品质及淀粉糊化特性的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(1):82-86.
Li W Y, Wang Z J, Fang E, et al. Effect of high temperature at different stages on kernel quality and starch pasting properties of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(1): 82-86. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)