

文章编号 1672-6634(2022)06-0104-07

DOI 10.19728/j.issn1672-6634.2022050008

灌浆期高温胁迫对玉米籽粒淀粉粒度分布及黏度参数的影响

余梦奇, 陈志英, 胡 健, 路梦莉, 张雅婷, 李文阳

(安徽科技学院 农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘 要 为了解灌浆期高温胁迫对玉米胚乳淀粉粒分布及黏度参数的影响,以郑单 958、隆平 206、安科 985 为材料,于灌浆期进行高温处理,分析高温胁迫对玉米产量、籽粒品质、淀粉粒度分布特征与黏度参数的影响。结果表明,高温胁迫显著降低玉米行粒数、穗粒数和百粒重,进而导致单株产量显著下降。与对照相比,高温胁迫显著降低籽粒淀粉含量,进而增加了籽粒蛋白质与脂肪含量。高温胁迫下,玉米籽粒中型淀粉粒($3\ \mu\text{m} \leq \text{粒径} D \leq 18\ \mu\text{m}$)、小型淀粉粒(粒径 $D < 3\ \mu\text{m}$)体积和表面积百分比显著降低,而大型淀粉粒(粒径 $D > 18\ \mu\text{m}$)体积和表面积百分比则显著升高,高温胁迫对不同大小的淀粉粒数量分布无显著影响。高温胁迫后,峰值黏度、低谷黏度、最终黏度与稀懈值等黏度参数显著降低。可见高温胁迫处理降低中、小型淀粉粒体积和表面积比例、增加大型淀粉粒体积和表面积比例,进而降低了玉米淀粉峰值黏度等黏度参数。

关键词 玉米; 高温胁迫; 粒度分布; 籽粒品质; 黏度参数

中国分类号 Q946.3

文献标识码 A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)



Effect of High Temperature Stress at Filling Stage on Starch Granule Size Distribution and Viscosity Parameters of Maize Kernel

YU Mengqi, CHEN Zhiying, HU Jian, LU Mengli,
ZHANG Yating, LI Wenyang

(School of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract In order to understand the effects of high temperature stress on starch size granule distribution and viscosity parameters of maize endosperm during grain filling stage. Three maize cultivars (Zhengdan 958, Longping 206 and Anke 985) were used as materials with heat stress at grain filling stage. Ear characters, content of main chemical components in kernel, the distribution characteristic of starch granules and viscosity parameter were analyzed. The results showed that high temperature stress decreased significantly the grain per row, grain per ear and 100-grain weight of maize, which led to significantly decreased yield per plant. Compared with CK, under high temperature stress the protein contents and fat in kernel were increased significantly, but the contents of starch in kernel decrease significantly. Under high temperature stress, the volume to surface area ratio of medium ($3 \sim 18\ \mu\text{m}$)

收稿日期: 2022-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(31501271); 安徽高校自然科学研究重大项目(KJ2020ZD010); 安徽省成果转化项目(2021ZH015)资助

通讯作者: 李文阳, 男, 汉族, 博士, 教授, 研究方向: 作物优质高产栽培, E-mail: liwy@ahstu.edu.cn.

and small ($D < 3 \mu\text{m}$) starch granules in maize grain decreased significantly, while that of the large starch granules ($D > 18 \mu\text{m}$) increased significantly. High temperature stress had no significant effect on the number distribution of starch granules with different sizes. After high temperature stress, peak viscosity, trough viscosity final viscosity and breakdown value were decreased significantly. It is indicated that high temperature stress reduced the volume and surface area proportion of medium ($3 \sim 18 \mu\text{m}$) and small ($D < 3 \mu\text{m}$) starch granules, the volume and surface area proportion of large ($D > 18 \mu\text{m}$) starch granules were increased, thereby reducing the viscosity parameters such as peak viscosity of maize starch.

Key words maize; high temperature stress; grain quality; granule size distribution; viscosity parameters

0 引言

玉米籽粒的主要成分是淀粉,在胚乳中以颗粒态形式存在,占成熟玉米干重 70% 左右^[1,2],玉米产量和品质受淀粉积累量多少的影响^[3,4]。玉米胚乳淀粉粒的直径一般为 $7 \sim 25 \mu\text{m}$,形状不规则,平均直径在 $10 \mu\text{m}$ 左右^[5,6]。淀粉的理化性质直接影响着淀粉的进一步加工和应用,粒度分布和黏度参数是衡量其品质的主要性状^[7,8],玉米淀粉理化特性受自身遗传背景和生长环境的影响^[9-12]。

随着工业化进程的加速,矿物燃料大量使用,温室气体大量排放,导致全球气候变暖,全球地表气温波动上升^[13]。IPCC 第 5 次报告表明,地表平均温度上升 $0.85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 在 1880—2012 年间^[14]。同期,7~9 月极端高温天气发生次数变多且连续时间变长^[15]。近年来,夏玉米遭受高温热害的频率也显著增加,华北平原高温热害呈逐渐加重的趋势,且受灾严重^[16]。温度是影响玉米生长的重要条件,在一定程度上气象条件直接影响着玉米的产量。张萍等^[17]研究发现,灌浆期是淀粉产生的重要时期,高温致使玉米中后期灌浆速率降低,且灌浆连续时期减少,从而造成籽粒粒重下降,高温胁迫影响籽粒的库容以及源库比,进而影响产量^[18-20],高温还会影响蛋白质的积累和淀粉的代谢^[21],进而影响品质。因此,高温对玉米生长发育造成的影响是目前农业生产亟待分析的问题。前人关于高温对玉米研究多数集中于籽粒发育特性、淀粉与蛋白质积累等方面,而对于玉米淀粉粒度分布与化学特性的报道较少。

因此,本试验以郑单 958、隆平 206、安科 985 为材料,在灌浆期进行高温胁迫,研究高温胁迫下玉米籽粒淀粉粒度分布特征与黏度参数的变化,探究高温胁迫对玉米产量和淀粉品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料 with 处理

试验于 2019 年在安徽科技学院种植基地进行。以郑单 958、隆平 206、安科 985 为试验材料,采用 2 因素随机区组设计,利用盆栽试验,设对照、灌浆期高温 2 个处理,分别用 CK、HT 表示,高温处理参照乔江方等方法加以改进,高温处理用长 $\times$ 宽 $\times$ 高为 $20 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ 的温室,周围用透光率 95% 以上的塑料膜围住(温室周围塑料膜均能卷起,便于气体交换),灌浆期将盆子搬入温室中,每天 6:00-18:00 进行增温处理,其余时间卷起薄膜使内外气温一致,胁迫 30 d,高温处理期间采用温湿度记录仪对温度和相对湿度进行测定,对照处理平均温度(32 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,高温处理平均温度(39 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 。采用上口直径 30 cm,下口直径 18.5 cm,高 23 cm 花盆进行种植,每盆装土 12 kg。每盆留苗 2 株,4 叶期定苗至 1 株,每个处理 5 次重复。玉米吐丝期间,采集大田同期同品种的植株花粉,对盆栽玉米进行人工授粉。播种期 6 月 20 日,收获期 9 月 25 日。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 籽粒淀粉的提取。参照 Peng 等^[22]与 Hosney 等^[23]方法稍加改进,取 5 g 玉米籽粒(穗中部)用蒸馏水浸泡 24 h 后,用镊子撕去玉米种皮,剔除胚,然后用研钵研磨,用 $200 \mu\text{m}$ 的纱布均匀过筛,然后离心($3\,500 \text{ r/min}$, 10 min),除去上清液,加入 10 mL、2 mol/L 的 NaCl,离心,除去上清液,用相同的方法分别加入 0.2% NaOH、

2% SDS,再离心 10 min。最后用丙酮清洗 3 次,风干,-20 ℃低温贮存备用。

1.2.2 淀粉粒粒度分布的测定。使用 LS13320 衍射粒度分析仪(美国贝克曼库尔特公司生产),进行淀粉粒径分析。

1.2.3 籽粒品质测定。使用 DA7200 近红外分析仪(瑞典波通公司)测定玉米籽粒蛋白质、淀粉和脂肪含量。

1.2.4 淀粉黏度参数测定。使用瑞典 Perten 公司 Supper3 快速黏度分析仪测定淀粉黏度参数。每处理取 3 g 玉米面粉放入铝筒中,加入 25 mL 蒸馏水,混匀后放在快速黏度分析仪中测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 及 DPS 进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 高温处理影响了玉米穗部性状

由图 1 可知,高温胁迫对玉米穗部性状有着显著差异,进一步分析可知(表 1),正常生长条件下单株产量郑单 958 最高、安科 985 次之、隆平 206 最低。高温胁迫对 3 个玉米品种的穗行数无显著影响,显著降低了玉米单株产量、百粒重、穗粒数、行粒数和穗长,穗粒数降低主要由行粒数减少引起。与对照相比,高温胁迫下郑单 958、隆平 206、安科 985 单株产量分别降低 53.23%、52.21%、57.18%,百粒重分别降低 14.96%、22.00%、37.13%,穗粒数分别降低 51.47%、39.29%、33.33%,行粒数分别降低 46.27%、39.29%、33.33%,穗长分别降低 20.28%、22.40%、9.97%。

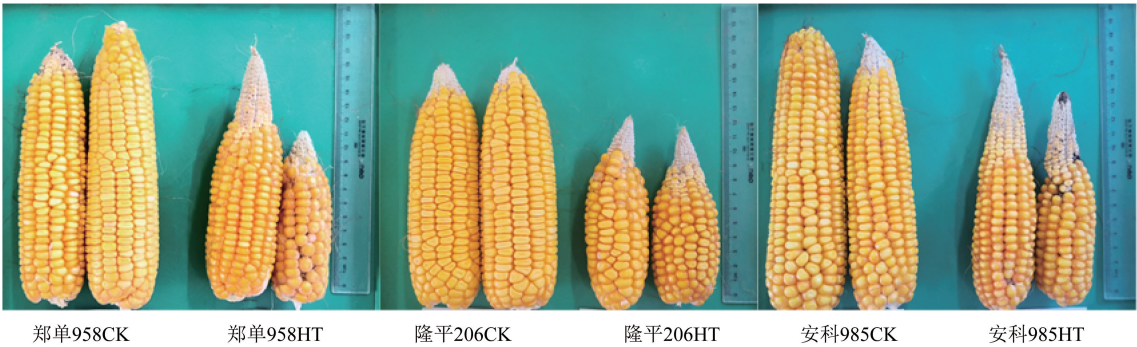


图 1 高温胁迫对玉米穗部性状的影响

表 1 高温胁迫对玉米产量、产量构成及穗部性状的影响

品种	处理	单株产量/g	百粒重/g	穗粒数/粒	行粒数/粒	穗行数/行	穗长/cm
郑单 958	CK	129.5±7.27 ^a	32.08±2.31 ^a	408.00±6.93 ^a	33.5±0.50 ^a	12±0 ^a	18±0.60 ^a
	HT	60.57±2.95 ^c	27.28±2.86 ^b	198.00±6.00 ^c	18.5±3.50 ^{cd}	11±1.00 ^a	14.35±2.75 ^c
隆平 206	CK	99.74±5.92 ^b	29.87±3.91 ^{ab}	336±4.00 ^b	28.00±2.00 ^b	12±0 ^a	15.4±0.1 ^{b c}
	HT	47.66±0.91 ^c	23.30±1.01 ^c	204.67±5.03 ^c	17.5±2.50 ^d	12±2.00 ^a	11.95±0.75 ^d
安科 985	CK	124.2±2.67 ^a	28.79±0.51 ^{ab}	429.00±8.19 ^a	33±3.00 ^a	13±1.00 ^a	17.05±0.45 ^{ab}
	HT	53.2±0.60 ^c	18.1±0.56 ^d	286.00±12.16 ^b	22±2.00 ^c	13±1.00 ^a	15.35±1.75 ^{bc}
F 值	品种	6.06 *	13.62 * *	13.72 * *	8.75 * *	2.56	8.31 * *
	温度	154.87 * *	56.94 * *	115.26 * *	162.91 * *	0.37	25.50 * *
	品种×温度	0.89	3.73	2.29	2.26	0.37	1.14

注:同列不同小写字母表示同类品种差异显著(P<0.05);*表示 P 在 0.05 水平差异显著;* *表示 P 在 0.01 水平差异显著。

2.2 高温处理影响籽粒品质

由表 2 知,高温胁迫处理对玉米籽粒蛋白质、脂肪、淀粉含量有着显著差异,降低籽粒淀粉含量,增加籽粒

脂肪、蛋白质含量。玉米籽粒品质性状变化趋势在 3 个玉米品种中基本表现一致。与对照相比,高温胁迫下郑单 958、隆平 206、安科 985 淀粉含量分别降低 8.9%、8.8%、9.5%,脂肪含量分别增加 19.7%、28.7%、25.0%,蛋白质含量分别增加 71.4%、30.3%、37.1%。

表 2 高温胁迫处理对玉米籽粒品质的影响

品种	处理	蛋白质含量(%)	脂肪含量(%)	淀粉含量(%)
郑单 958	CK	6.14±2.56 ^c	3.29±0.35 ^b	76.19±0.80 ^a
	HT	10.53±0.37 ^a	3.94±0.04 ^a	69.43±0.62 ^b
隆平 206	CK	7.09±0.29 ^{bc}	2.82±0.41 ^c	77.82±0.4 ^a
	HT	9.24±0.05 ^{ab}	3.63±0.24 ^{ab}	70.95±0.86 ^b
安科 985	CK	7.00±0.72 ^{bc}	2.88±0.09 ^c	76.57±1.56 ^a
	HT	9.60±0.62 ^{ab}	3.60±0.10 ^{ab}	69.30±2.92 ^b
F 值	品种	5.63	7.28	1.38
	温度	5.69 * *	59.45 * *	65.51 * *
	品种×温度	1.29	0.26	0.03

注:同列不同小写字母表示同类品种差异显著($P<0.05$);*表示 P 在 0.05 水平差异显著;* *表示 P 在 0.01 水平差异显著。

2.3 高温处理影响玉米淀粉粒体积

由表 3 知,玉米小型淀粉粒组(粒径 $D<3\ \mu\text{m}$)体积占 9.73%~10.87%,中型淀粉粒组(粒径 $D3\sim18\ \mu\text{m}$)体积占 44.10%~63.43%,大型淀粉粒组(粒径 $D>18\ \mu\text{m}$)占体积 25.70%~46.17%。说明对体积贡献大小依次为中型淀粉粒、大型淀粉粒、小型淀粉粒。高温胁迫下,中、小型淀粉粒体积所占比例降低,造成大型淀粉粒体积占比和淀粉粒体积平均粒径呈显著增加的趋势。2 个品种玉米淀粉粒体积变化趋势基本一致,可见高温胁迫下显著降低中、小型淀粉粒体积占比,增加大型淀粉粒体积占比。说明高温胁迫下不利于中、小型淀粉粒体积的增大。

表 3 高温胁迫处理下玉米淀粉粒体积分布

品种	处理	不同粒径淀粉粒体积所占比例(%)			体积加权
		小型($D<3\ \mu\text{m}$)	中型($D3\sim18\ \mu\text{m}$)	大型($D>18\ \mu\text{m}$)	平均粒径 $D/4.3\ \mu\text{m}$
郑单 958	CK	10.53±0.42 ^a	55.13±0.84 ^b	34.34±1.24 ^c	14.44±0.20 ^c
	HT	9.92±0.18 ^b	48.01±0.73 ^c	42.07±0.90 ^b	15.70±0.20 ^a
隆平 206	CK	10.87±0.06 ^a	63.43±0.35 ^a	25.70±0.40 ^d	13.43±0.04 ^b
	HT	9.73±0.03 ^b	44.10±0.92 ^d	46.17±0.91 ^a	15.98±0.11 ^a
F 值	品种	0.28	20.40 * *	14.70 * *	14.31 * *
	温度	43.11 * *	739.90 * *	565.73 * *	396.30 * *
	品种×温度	3.92	157.5 * *	115.61 * *	45.43 * *

注:同列不同小写字母表示同类品种差异显著($P<0.05$),*表示 P 在 0.05 水平差异显著;* *表示 P 在 0.01 水平差异显著。

2.4 高温处理影响淀粉粒表面积分布

由表 4 可知,小型淀粉粒组(粒径 $D<3\ \mu\text{m}$)表面积占 55.73%~56.90%,中型淀粉粒组(粒径 $D3\sim18\ \mu\text{m}$)表面积占 28.87%~32.70%,大型淀粉粒组(粒径 $D>18\ \mu\text{m}$)表面积占 10.40%~15.20%,说明对表面积贡献最大为小型淀粉粒、贡献最小为大型淀粉粒。在高温胁迫下,2 个品种玉米籽粒中、小型淀粉粒表面积的比例显著减少,大型淀粉粒表面积的比例显著增加。可见,高温胁迫下玉米淀粉粒表面积平均粒径增加,是由于中、小型淀粉粒表面积比例减少而产生。

2.5 高温处理影响不同粒径淀粉粒数目分布

由表 5 知,淀粉粒中,小型淀粉粒组占绝大部分(粒径 $D<3\ \mu\text{m}$),占总数目的 99%~99.10%,中型(粒径

$D3\sim18\ \mu\text{m}$)、大型(粒径 $D>18\ \mu\text{m}$)淀粉粒组所占比例很小,分别占 $0.87\%\sim0.96\%$ 和 $0.03\%\sim0.04\%$,说明玉米籽粒淀粉粒主要由小型淀粉粒组成。高温胁迫对 2 个品种淀粉粒数目分布影响较小,不同粒径淀粉粒数目占比与对照相比无显著变化。

表 4 高温胁迫处理下玉米淀粉粒面积分布

品种	处理	不同粒径淀粉粒体积所占比例(%)			体积加权
		小型($D<3\ \mu\text{m}$)	中型 $D(3\sim18\ \mu\text{m})$	大型($D>18\ \mu\text{m}$)	平均粒径 $D/4.3\ \mu\text{m}$
郑单 958	CK	$56.90\pm0.66^{\text{a}}$	$32.70\pm0.92^{\text{a}}$	$10.4\pm0.26^{\text{c}}$	$6.60\pm0.19^{\text{c}}$
	HT	$55.73\pm0.21^{\text{b}}$	$30.57\pm0.12^{\text{b}}$	$13.70\pm0.30^{\text{b}}$	$7.03\pm0.08^{\text{a}}$
隆平 206	CK	$56.30\pm0.56^{\text{ab}}$	$32.70\pm0.92^{\text{a}}$	$11.00\pm0.61^{\text{c}}$	$6.33\pm0.20^{\text{b}}$
	HT	$55.93\pm0.23^{\text{b}}$	$28.87\pm0.59^{\text{c}}$	$15.20\pm0.36^{\text{a}}$	$7.13\pm0.02^{\text{a}}$
	品种	1.08	11.91 *	15.81 * *	2.06
F 值	温度	15.99 * *	146.7 * *	201.69 * *	95.65 * *
	品种 $\times$ 温度	4.35	11.91 *	2.90	8.46 *

注:同列不同小写字母表示同类品种差异显著($P<0.05$); * 表示 P 在 0.05 水平差异显著; * * 表示 P 在 0.01 水平差异显著。

表 5 高温胁迫处理下玉米淀粉粒数目分布

品种	处理	不同粒径淀粉粒数目所占比例(%)		
		小型($D<3\ \mu\text{m}$)	中型 $D(3\sim18\ \mu\text{m})$	大型($D>18\ \mu\text{m}$)
郑单 958	CK	$99.1\pm0.26^{\text{a}}$	$0.87\pm0.24^{\text{a}}$	$0.03\pm0.01^{\text{a}}$
	HT	$99\pm0^{\text{a}}$	$0.96\pm0.01^{\text{a}}$	$0.04\pm0.01^{\text{a}}$
隆平 206	CK	$99.1\pm0^{\text{a}}$	$0.87\pm0.01^{\text{a}}$	$0.03\pm0.01^{\text{a}}$
	HT	$99.07\pm0.06^{\text{a}}$	$0.90\pm0.06^{\text{a}}$	$0.03\pm0.01^{\text{a}}$
	品种	0.20	0.19	1.80
F 值	温度	0.81	0.78	1.80
	品种 $\times$ 温度	0.20	0.19	1.80

注:同列不同小写字母表示同类品种差异显著($P<0.05$); * 表示 P 在 0.05 水平差异显著; * * 表示 P 在 0.01 水平差异显著。

2.6 高温处理影响玉米籽粒淀粉黏度

从表 6 可以看出,与对照比较,高温胁迫下玉米淀粉的峰值黏度、低谷黏度、最终黏度、稀懈值均显著减少。说明高温胁迫降低淀粉峰值黏度等黏度参数。

表 6 高温胁迫处理对玉米淀粉黏度参数的影响

品种	处理	峰值黏度/cP	低谷黏度/cP	最终黏度/cP	稀懈值/cP
郑单 958	CK	$1\ 282.67\pm296.50^{\text{a}}$	$925.00\pm183.00^{\text{a}}$	$3\ 108.00\pm550.00^{\text{a}}$	$357.67\pm113.50^{\text{a}}$
	HT	$663.67\pm101.50^{\text{b}}$	$628.50\pm79.50^{\text{c}}$	$1\ 832.67\pm61.50^{\text{d}}$	$35.00\pm22.00^{\text{c}}$
隆平 206	CK	$1\ 130\pm162.00^{\text{a}}$	$846.50\pm20.79^{\text{ab}}$	$2\ 478.00\pm353.00^{\text{b}}$	$419.67\pm62.50^{\text{a}}$
	HT	$766.67\pm11.50^{\text{b}}$	$627.00\pm30.00^{\text{c}}$	$1\ 999.67\pm0.50^{\text{cd}}$	$139.67\pm18.50^{\text{bc}}$
安科 985	CK	$1\ 197.67\pm25.50^{\text{a}}$	$977.00\pm9.00^{\text{a}}$	$3\ 349.67\pm23.50^{\text{a}}$	$220.67\pm34.50^{\text{b}}$
	HT	$849.67\pm68.50^{\text{b}}$	$764.50\pm29.50^{\text{bc}}$	$2\ 304.00\pm253.00^{\text{bc}}$	$85.00\pm39.00^{\text{c}}$
	品种	0.44	7.49	9.32 * *	7.31 *
F 值	温度	43.50 * *	56.57 *	69.40 * *	79.89 * *
	品种 $\times$ 温度	1.71	0.59	4.47 *	4.22 *

注:同列不同小写字母表示同类品种差异显著($P<0.05$); * 表示在 0.05 水平差异显著; * * 示在 0.01 水平差异显著。

3 结论与讨论

高温胁迫是造成玉米产量下降的重要非生物胁迫之一,在玉米整个生育阶段都有发生对其生长产生一定的影响,并影响产量形成^[24,25]。杨欢等^[26]研究发现,籽粒建成期高温胁迫致使穗粒数减少,粒重降低。降志兵等^[27]研究表明,高温处理后,有效花粉数目减少,果穗结实率降低。张吉旺等^[28]研究发现,大口期到成熟期高温使玉米的籽粒产量显著降低,本研究表明,玉米单株产量、百粒重、穗粒数、行粒数均在高温胁迫下显著降低,行粒数降低是造成穗粒数减少主要原因,穗粒数和粒重共同作用造成单株产量下降。前人研究表明,玉米开花期前后高温增加了籽粒粗蛋白和粗脂肪含量^[29],本研究表明,灌浆期高温胁迫使玉米籽粒淀粉含量降低,脂肪和蛋白质的含量升高。

张丽等^[30]在研究玉米淀粉粒粒度分布特征中,以 2 μm 和 15 μm 为划分点将淀粉粒分为小、中、大 3 类。本研究发现玉米籽粒淀粉粒径一般在 0.4~30 μm ,参照前人分级方法,本试验取低谷值 3 μm 、峰值 18 μm ,将淀粉粒分为大($D>18 \mu\text{m}$)、中($D3\sim18 \mu\text{m}$)、小($D<3 \mu\text{m}$)3 个类别,其中玉米籽粒小型淀粉粒数目占比为(99%~99.10%),可见小型淀粉粒是玉米籽粒胚乳的主要组成部分。

籽粒胚乳中淀粉以颗粒态存在,其理化特性受淀粉粒大、小分布特征的影响,玉米淀粉粒度分布受自身遗传背景和生长环境的影响^[9-12]。李文阳等^[31]研究发现,小麦花后高温处理,显著降低籽粒 B 型淀粉粒体积、表面积占比,A 型淀粉粒体积、表面积占比显著增加。Kaur 等^[32]研究表明,马铃薯种植环境不同其淀粉粒分布存在显著差异,不同粒径淀粉粒随着灌浆期温度升高而降低。王瑾等^[33]研究发现,随种植密度的增加,玉米胚乳淀粉粒度分布有显著变化。本研究结果表明,灌浆期高温胁迫对玉米籽粒淀粉粒体积、表面积百分比有显著影响;灌浆期高温胁迫下,中、小型淀粉粒体积和表面积占比显著降低,大型淀粉粒和平均粒径则显著增加;高温胁迫对淀粉粒数量分布无显著影响。可见本试验中高温胁迫不利于中、小型淀粉粒体积和表面积的产生。

淀粉黏度是评价淀粉进一步深加工的重要因素。淀粉的黏度参数受到众多因素的影响,如生长环境、种植密度、播期等农艺措施也影响了淀粉的黏度参数。贺江等^[34]在研究玉米时发现,随磷水平的增加,峰值黏度、最终黏度等参数显著增加。本研究表明,灌浆期进行高温胁迫显著降低淀粉峰值黏度、低谷黏度、最终黏度等参数。说明高温胁迫处理降低中、小型淀粉粒体积和表面积比例、增加大型淀粉粒体积和表面积比例,进而降低玉米淀粉峰值黏度等黏度参数。

参 考 文 献

- [1] 崔丽娜,张红,孟佳佳,等.不同胚乳类组玉米籽粒淀粉粒的粒度分布特征[J].作物学报,2012,38(9):1723-1727.
- [2] 阴卫军,王庆成,刘霞,等.高淀粉玉米胚乳淀粉粒度分布特征及其对水分胁迫的响应[J].山东农业科学,2013,45(1):54-59.
- [3] 杨文钰,屠乃美.作物栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [4] 侯汉学,董海洲,宋晓庆,等.不同品种玉米淀粉的理化性质及相关性研究[J].中国粮油学报,2009,24(1):60-64.
- [5] WAN Y J, WHITE P, POLLAK L, et al. Characterization of starch structures of 17 maize endosperm mutant genotypes with Oh43 inbred line background[J]. Cereal Chemistry, 1993, 70: 171-179.
- [6] PATERSON J L, HARDACRE A, LI P. Rheology and granule size distributions of corn starch dispersions from two genotypes and grown in four regions[J]. Food Hydrocolloids, 2001, 15(4/6): 453-459.
- [7] 尹 静,胡尚连,肖佳雷.小麦淀粉与品质的关系[J].东北农业大学学报,2005,36(3):369-372.
- [8] JI Y, WONG K, HASJIM J, et al. Structure and function of starch from advanced generations of new corn lines[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 54(3): 305-319.
- [9] 陆大雷,郭换粉,陆卫平.播期、品种和拔节期追氮量对糯玉米淀粉粒分布的影响[J].中国农业科学,2011,44(2):263-270.
- [10] 石德杨,张海艳,董树亭.补充灌溉和施氮对玉米籽粒淀粉粒粒度分布的影响[J].中国农业科学,2014,47(4):633-643.
- [11] 陆大雷,王德成,赵久然,等.生长季节对糯玉米淀粉晶体结构和糊化特性的影响[J].作物学报,2009,35(3):499-505.

- [12] 张学林,王群,赵亚丽,等.施氮水平和收获时期对夏玉米产量和子粒品质的影响[J].应用生态学报,2010,21(10):2565-2572.
- [13] 唐国利,任国玉.近百年中国地表变化趋势的再分析[J].气候与环境研究,2005(4):791-789.
- [14] EDENHOFER, PICHSMADRUGA R, SOKONA Y. Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [15] GOURDJI S M, SIBLEY A M, LOBELL D B. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections[J]. Environmental Research Letters, 2013, 8(2): 024041.
- [16] 管玥,刘佳鸿,何奇瑾,等.基于信息扩散理论分析华北平原夏玉米花期高温热害的风险概率[J].中国农业气象,2021,42(7):606-615.
- [17] 张萍,陈冠英,王璞,等.子粒灌浆期高温对不同耐热型玉米品种强弱势粒发育的影响[J].中国农业科学,2017,50(11):2061-2070.
- [18] GAMBIN B L, BORRAS L, OTEGUI M E. Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids[J]. Field Crops Research, 2006, 95(2/3): 316-326.
- [19] 赵丽晓,张萍,王若男,等.花后前期高温对玉米强弱势籽粒生长发育的影响[J].作物学报,2014,40(10):1839-1845.
- [20] EDREIRA J, OTEGUI M E. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: differences in crop growth, biomass partitioning and reserves use [J]. Field Crops Research, 2012, 130: 87-98.
- [21] 乔江方,李萍,刘京宝,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.
- [22] PENG M, GAO M, ESM A A, et al. Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm[J]. Cereal Chemistry, 2007, 76(3): 375-379.
- [23] MALOUF R B, HOSENEY R C. Wheat hardness. I. A method to measure endosperm tensile strength using tablets made from wheat flour[J]. Cereal Chemistry, 1992, 69(2): 164-168.
- [24] EDREIR J I R, OTEGUI M E. Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: a novel approach for assessing sources of kernel loss in field conditions[J]. Field Crops Research, 2013, 142: 58-67.
- [25] IANNUCCI A, TERRIBLE M R, MARTINIELLO P. Effects of temperature and photoperiod on flowering time of forage legumes in a Mediterranean environment[J]. Field Crops Research, 2008, 106(2): 156-162.
- [26] 杨欢,陆大雷,陆卫平,等.籽粒建成期高温胁迫持续时间对糯玉米籽粒产量和淀粉品质的影响[J].中国农业科学,2017,50(11):2071-2082.
- [27] 降志兵,陶洪斌,吴拓,等.高温对玉米花粉活力的影响[J].中国农业大学学报,2016,21(3):25-29.
- [28] 张吉旺,董树亭,王空军,等.大田增温对夏玉米光合特性的影响[J].应用生态学报,2008(1):81-86.
- [29] 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.
- [30] 张丽,张吉旺,董树亭,等.不同淀粉含量玉米籽粒淀粉粒度的分布特性[J].中国农业科学,2011,44(8):1596-1602.
- [31] 李文阳,闫素辉,尹燕桦,等.小麦花后弱光引起籽粒淀粉的粒度分布及组分含量的变化[J].生态学报,2009,29(1):298-306.
- [32] KAUR A, SINGH N, EZEKIEL R, et al. Physico chemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations[J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 643-651.
- [33] 王瑾,王长进,李文阳,等.种植密度对玉米籽粒淀粉粒分布及相关酶活性的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2019,45(5):456-460.
- [34] 贺江,付立冬,李文阳.磷肥对玉米籽粒淀粉粒度分布特性与黏度参数的影响[J].玉米科学,2019,27(6):153-159.

(责任编辑:刘庆松)