

DOI: 10.5846/stxb201505201022

张美微,王晨阳,敬海霞,马耕,谢旭东,卢红芳,郭天财.灌浆期高温对冬小麦籽粒氨基酸含量和组成的影响.生态学报,2016,36(18): - .
Zhang M W, Wang C Y, Jing H X, Ma G, Xie X D, Lu H F, Guo T C. Effects of high temperature during grain filling on the content and composition of amino acids in the grains of two winter wheat cultivars. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): - .

灌浆期高温对冬小麦籽粒氨基酸含量和组成的影响

张美微¹, 王晨阳^{1,2,*}, 敬海霞³, 马耕¹, 谢旭东¹, 卢红芳^{1,2}, 郭天财^{1,2}

1 河南农业大学农学院/国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002

2 河南粮食作物生理生态与遗传改良重点实验室, 郑州 450002

3 重庆市烟草公司/巫溪分公司, 重庆 405800

摘要:以强筋小麦品种郑麦 366 和中筋小麦品种洛早 2 号为材料,采用盆栽和人工气候室模拟的方法,研究了花后不同时段(灌浆前期即花后 5 d,灌浆中期即花后 15 d)和持续时间(处理 2 d 和 4 d)的高温胁迫对籽粒氨基酸含量和积累量(以单粒中氨基酸含量表示)的影响。结果显示:(1) 高温胁迫显著增加了小麦籽粒中必需氨基酸(EAA)、非必需氨基酸(NAA)和总氨基酸(TAA)含量,但降低了其积累量和 EAA/TAA,2 品种表现一致;(2) 灌浆前期高温胁迫对 2 品种籽粒氨基酸含量的影响大于灌浆中期,而对氨基酸积累量的影响则相反;(3) 高温持续时间对籽粒氨基酸含量的影响在 2 品种间存在差异,洛早 2 号籽粒赖氨酸、EAA、NAA 和 TAA 含量均随高温持续时间的延长显著增加,而郑麦 366 籽粒中上述指标仅在高温胁迫 4 d 下较对照增加显著;(4) 从受高温胁迫的影响看,籽粒 EAA/TAA 对高温时段更敏感,而氨基酸含量表现为更易受高温持续时间的影响;(5) 高温时段与持续时间的互作效应体现在:灌浆前期籽粒氨基酸积累量 2 品种均以高温胁迫 4 d 的影响最大,而灌浆中期则均以高温 2 d 的降幅最大。上述结果表明,小麦籽粒氨基酸及其组分对高温胁迫的响应不仅在品种间存在差异,且受高温时段和持续时间的影响。

关键词:小麦;灌浆期;高温胁迫;氨基酸含量

Effects of high temperature during grain filling on the content and composition of amino acids in the grains of two winter wheat cultivars

ZHANG Meiwei¹, WANG Chenyang^{1,2,*}, JING Haixia³, MA Geng¹, XIE Xudong¹, LU Hongfang^{1,2}, Guo Tiancai^{1,2}

1 National Engineering Research Center of Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Key Laboratory of Physiology, Ecology and Genetic Improvement of Food Crops in Henan Province, Zhengzhou 450002, China

3 WuXi Tobacco Branch Company, Chongqing Tobacco Company, Chongqing 405800, China

Abstract: High temperatures (HT) over 30°C occur frequently during the wheat grain filling season in China, and have become an important limiting factor of wheat quality. To evaluate the impact of post-anthesis HT exposure on the amino acid content and composition of wheat grains, two winter wheat cultivars of different gluten strengths, Zhengmai366 (a high-gluten-strength cultivar) and Luohan2 (a medium-gluten-strength cultivar), were investigated via a pot-culture experiment conducted at the experimental farm of Henan Agricultural University in Zhengzhou, China (113°35' E, 34°51' N). The experiment was performed using a split-plot design with two developmental stages and two durations of HT treatment. The plants were exposed to HT (38°C) in a climate-controlled greenhouse from 11:00 to 16:00 at 5 days post-anthesis (DPA),

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(201203033, 201203031);河南省现代农业产业技术体系(S2010-01-G07);国家科技支持计划项目(2013BAD07B07)

收稿日期:2015-05-20; **网络出版日期:**2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xmzxwang@163.com

for 2 d and 4 d, and at 15 DPA for 2 d and 4 d. The control (CK) plants were treated at 28°C in a different greenhouse. After the completion of treatment, the plants were returned to field conditions. The results were as follows: (1) post-anthesis HT significantly increased the lysine, essential amino acids (EAAs), non-essential amino acids (NAAs), and total amino acids (TAAs) content of the grains, whereas the EAA/TAA ratio and amino acid accumulation per kernel declined in both wheat cultivars. High temperatures had a stronger impact on the amino acid content of Luohan2 grains than on those of Zhengmai366. (2) The impact of HT on the amino acid content of grains was greater when HT was applied at an early stage of grain development (5 DPA) than when the treatment was applied at an intermediate stage of grain-filling (15 DPA). However, with respect to the amino acid accumulation per kernel, the effect of HT exposure at the intermediate stage (15 DPA) was greater than when the treatment was applied at the early grain-filling stage (5 DPA). (3) The amino acid content of the grains of the two wheat cultivars responded differently to different durations of HT treatment. The lysine, EAA, NAA, and TAA contents of the grains of Luohan2 significantly increased with prolonged exposure to HT. However, the lysine, EAA, NAA, and TAA contents of Zhengmai366 grains exhibited an initial decline after 2 d of HT, and then showed a significant increase after 4 d of HT. (4) The effects of the developmental stage and duration of HT exposure on the amino acid content of wheat grains differed between the two cultivars. The EAA/TAA ratio of both cultivars was strongly influenced by HT stage. With respect to amino acid content, Zhengmai366 exhibited greater sensitivity to HT duration, whereas Luohan2 exhibited a similar sensitivity to the different stages and durations of HT treatment. (5) Developmental stage and the duration of HT exposure interacted significantly to affect amino acid accumulation. During the early grain-filling stage (5 DPA), 4 d of HT exposure resulted in the lowest amino acid accumulation per kernel, whereas 2 d of treatment at the mid-grain-filling stage (15 DPA) induced the lowest amino acid accumulation per kernel, in both cultivars. In conclusion, the influence of HT stress on the content and composition of amino acids in wheat grains during the early and mid-grain-filling stages depended not only on genotype, but also on the developmental stage at which the treatment was applied, and the duration of the exposure.

Key Words: wheat; grain filling; high temperatures; amino acid

小麦是世界主要的粮食作物之一,也是人类植物性蛋白质的重要来源^[1]。小麦籽粒中必需氨基酸组成的平衡程度和高低决定了蛋白质的营养品质,且直接关系到其营养成分的利用程度。温度控制着作物的发育进程,影响籽粒灌浆过程[2]。在我国黄淮海区,小麦籽粒灌浆期时常出现极端高温天气,对小麦生产造成了恶劣的影响。近年来有研究表明,高温胁迫直接缩短小麦籽粒灌浆期,使小麦籽粒产量下降和品质变劣^[3-4]。灌浆期高温削弱了小麦植株光合性能、降低籽粒淀粉合成酶活性,进而抑制淀粉合成,使籽粒产量下降^[5]。灌浆期高温提高了小麦叶片和茎鞘中游离氨基酸含量,有利于籽粒蛋白质的合成;但降低了弱筋小麦的品质^[6]。然而,在短期高温胁迫下,关于小麦籽粒中氨基酸组成的研究相对缺乏,尤其灌浆期不同时段高温对必需氨基酸组成的影响。因此,本试验选用黄淮海区主栽品种强筋小麦品种郑麦 366 和中筋小麦品种洛旱 2 号,在灌浆期的不同时段设置 2 d 和 4 d 的高温处理;旨在明确高温胁迫对小麦籽粒氨基酸含量和积累量的影响程度,及其受高温影响的敏感时段,为小麦营养品质改良和抗逆调优栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2008—2009 年度在河南郑州(113°38' E, 34°47' N),采用盆栽(25cm×28cm)和人工气候室(宁波市机电工业研究设计院,X192152C-4)模拟温度逆境相结合的方式进行。试验选用河南省大面积推广种植的耐高温品种强筋小麦品种郑麦 366 和中筋小麦品种洛旱 2 号,采用二因素(高温时段和高温持续时间)裂区设计,各处理重复 3 盆。高温处理采用人工气候室模拟方式进行,分别于花后 5 d(S_1)和 15 d(S_2),高温 38°C

处理 2 d (D_1) 和 4 d (D_2); 对照温度为 28℃ (CK)。各处理盆栽内土壤水分含量使用水分测定仪 (TDR300) 每天对各处理进行测定, 使土壤相对含水量保持在 75% 左右。人工气候室内用 100W 高压钠灯模拟自然光, 光照强度约为 1400 $\mu\text{E}/\text{m}^2$; 空气相对湿度控制在 (60±5)%; 每天处理 5 个小时 (11:00—16:00)。每天处理结束后将盆栽移至田间环境条件下。所有处理结束后各处理均移至田间环境下生长至成熟^[7]。

盆栽用土取自大田 0—30cm 耕层, 土壤质地为壤质潮土, 土壤有机质含量 16.9 g/kg, 全氮 1.05 g/kg, 速效磷 65.5 mg/kg, 速效钾 199.8 mg/kg, pH 值为 8.01, 田间持水量为 26.70%。每盆装过筛干土 10 Kg, N、P、K 施用量分别按每盆施 1.1 g N, 1.3 g P_2O_5 和 1.1 g K_2O 作基肥 (拔节期结合浇水按每盆 1.1 g 追施 N 肥), 盆栽埋于大田, 盆内土壤与盆外大田土齐平, 于 10 月 20 日播种; 3 叶期定苗, 每盆留苗 10 株。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 收获和制粉

小麦成熟后每盆手工收获脱粒, 自然晒干, 储存 1 月后用 Cyclotec 1093 旋风式样品磨 (FOSS, Sweden) 制成全粉, 用于氨基酸含量测定。

1.2.2 氨基酸含量测定

小麦全粉使用日本 535-50 型氨基酸自动分析仪, 采用 GB/T 18246-2000 方法测定氨基酸及其组分含量^[8]。必需氨基酸 (EAA, essential amino acid) 为苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和赖氨酸, 共 8 种氨基酸的总和; 非必需氨基酸 (NAA, non-essential amino acid) 为天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、胱氨酸、酪氨酸、精氨酸和脯氨酸, 共 9 种氨基酸的总和。总氨基酸 (TAA, total amino acid) 由必需氨基酸和非必需氨基酸相加而得。单粒中氨基酸积累量由单粒重和氨基酸含量计算而得。

1.3 数据处理

实验数据使用 SPSS 15.0 (Statistical Product and Service Solutions) 进行数据处理和方差分析, 处理间差异显著性分析采用邓肯 (Duncan) 多重比较的方法进行。柱形图由 Excel 2007 软件完成。

2 结果分析

2.1 花后高温处理对 2 个小麦品种粒重的影响

花后高温处理均显著降低 2 品种粒重 (图 1), 但品种间存在差异。郑麦 366 粒重在高温处理时段 S_1 和 S_2 之间差异不显著; 而洛旱 2 号粒重在两个高温处理时段之间差异显著, S_1 和 S_2 分别较对照降低了 16.0% 和 26.9%。郑麦 366 粒重随着高温处理时间的延长而显著降低, D_1 和 D_2 分别较对照降低了 22.7% 和 31.9%, 而洛旱 2 号粒重在不同高温处理持续时间之间差异不显著。

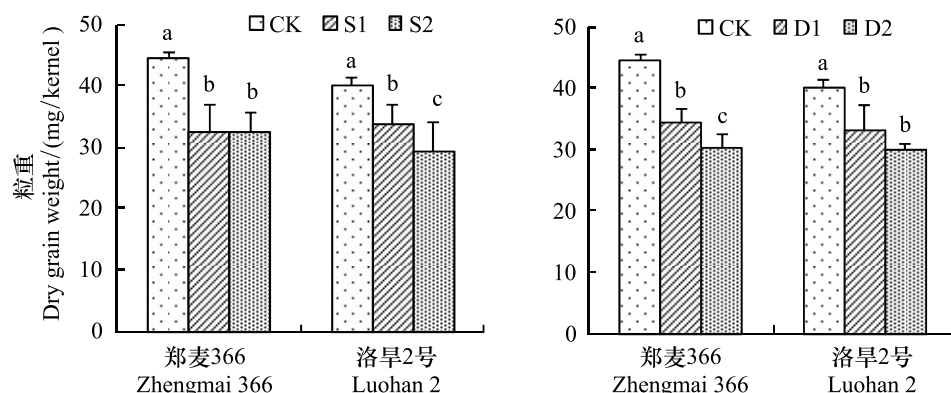


图 1 不同高温时段和持续时间对两种筋力型小麦品种粒重的影响

Fig.1 Effects of post-anthesis high temperatures stages and duration on dry grain weight of two wheat cultivars

数据为平均值±标准偏差, 相同字母表示差异未达到 5% 显著水平

2.2 花后高温胁迫对 2 品种籽粒氨基酸含量的影响

不同时段高温处理对籽粒氨基酸含量的影响不同(表 1)。强筋品种郑麦 366 籽粒赖氨酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量在各高温处理时段间差异均未达显著水平。中筋品种洛早 2 号在高温处理 S_1 时段籽粒赖氨酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量与 CK 差异显著,分别增加 8.9%、14.4%、20.2% 和 18.4%;而 S_2 时段则与 CK 差异不显著。表明前期高温胁迫对籽粒氨基酸含量的影响较大。在 S_1 时段高温处理下,郑麦 366 和洛早 2 号籽粒 EAA/TAA 分别较 CK 降低 2.2% 和 3.6%,差异显著;但在 S_2 时段各高温处理与 CK 间均无显著差异。

高温处理持续时间 D_1 对 2 品种籽粒氨基酸含量的影响均未达显著水平(表 2),而 D_2 使洛早 2 号籽粒赖氨酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量显著增加,分别较 CK 增加 11.3%、14.7%、19.7% 和 18.1%;而对郑麦 366 的影响则未达显著水平。高温处理持续时间 D_1 和 D_2 均降低籽粒中 EAA/TAA,但仅郑麦 366 在 D_2 处理下的降幅(2.1%)达显著水平。

表 1 灌浆期不同时段高温对小麦籽粒中氨基酸含量的影响

Table 1 Effects of post-anthesis high temperature stages on amino acid content in grains of two wheat cultivars

品种 Cultivar	高温时段 Stage	赖氨酸 Lys/(mg/g)	必需氨基酸 EAA/(mg/g)	非必需氨基酸 NAA/(mg/g)	总氨基酸 TAA/(mg/g)	EAA/TAA /%
郑麦 366	CK	4.50±0a	47.60±0.1a	107.70±0.1a	155.30±0a	30.65±0.1a
Zhengmai366	S_1	4.83±0.3a	53.45±6.1a	125.05±16.0a	178.50±22.12a	29.97±0.3b
	S_2	4.38±0.2a	46.68±3.4a	106.90±8.4a	153.55±11.82a	30.41±0.1a
洛早 2 号	CK	4.20±0.1b	42.95±0.1b	93.15±0.2b	136.10±0.3b	31.56±0a
Luohan2	S_1	4.58±0.1a	49.13±1.1a	111.95±3.5a	161.05±4.6a	30.50±0.2b
	S_2	4.50±0.2ab	45.50±3.3ab	99.83±9.6ab	145.32±13.0ab	31.34±0.5a

数据为不同高温持续时间(2d 和 4d)的平均值±标准偏差;CK:对照处理(28℃), S_1 :花后 5 天高温(38℃)处理, S_2 :花后 15 天高温(38℃)处理;EAA:essential amino acid,NAA:non-essential amino acid,TAA:total amino acid;同列内数据后有相同字母的表示差异未达到 5%显著水平

表 2 灌浆期高温处理持续时间对小麦籽粒中氨基酸含量的影响

Table 2 Effects of post-anthesis high temperature duration on amino acid content in grains of two wheat cultivars

品种 Cultivar	高温持续时间 Duration	赖氨酸 Lys/(mg/g)	必需氨基酸 EAA/(mg/g)	非必需氨基酸 NAA/(mg/g)	总氨基酸 TAA/(mg/g)	EAA/TAA /%
郑麦 366	CK	4.50±0.1ab	47.60±0.1ab	107.70±0.1a	155.30±0.1ab	30.65±0.1a
Zhengmai366	D_1	4.28±0.1b	45.98±2.5b	105.53±6.6a	151.50±9.1b	30.36±0.2ab
	D_2	4.93±0.5a	54.15±5.4a	126.40±14.6a	180.55±20.0a	30.02±0.3b
洛早 2 号	CK	4.20±0.1c	42.95±0.1b	93.15±0.2b	136.10±0.3b	31.56±0a
Luohan2	D_1	4.4±0.1b	45.38±3.2ab	100.28±10.1ab	145.63±13.3ab	31.20±0.6a
	D_2	4.7±0.1a	49.25±1.0a	111.50±4.0a	160.75±4.9a	30.64±0.3a

数据为不同高温处理时段(花后 5d 和 15d)的平均值±标准偏差;CK:对照处理(28℃), D_1 :高温(38℃)处理 2 天, D_2 :高温(38℃)处理 4 天;EAA:必需氨基酸 essential amino acid;NAA:非必需氨基酸 non-essential amino acid;TAA:总氨基酸 total amino acid;同列内数据后有相同字母的表示差异未达到 5%显著水平

2.3 花后高温处理时段和持续时间及互作对小麦籽粒中氨基酸含量影响的方差分析

由方差分析结果可以看出(表 3),对 2 品种小麦籽粒的赖氨酸而言,高温处理持续时间引起的变异对总变异的贡献均较大;郑麦 366 的必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量也受高温处理持续时间的影响较大;而高温时段和持续时间对洛早 2 号籽粒中必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量的影响则相当;2 品种籽粒中 EAA/TAA 则更易受高温时段的影响。同时,高温处理时段和持续时间的互作效应也显著影响赖氨酸、必需氨基酸、总氨基酸含量以及 EAA/TAA。

表 3 两品种氨基酸含量的方差分析

Table 3 Variance analysis on amino acid content in grains of two wheat cultivars

品种 Cultivar	处理 Treatment	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	苯丙氨酸 Phe	组氨酸 His	赖氨酸 Lys	EAA	NAA	TAA	EAA/TAA
郑麦 366	高温时段 S	25.5 ***	39.1 ***	18.3 ***	43.6 ***	38.8 ***	39.5 ***	52.9 ***	28.1 ***	38.6 ***	40.6 ***	40.0 ***	57.7 ***
Zhengmai366	高温持续时间 D	65.2 ***	59.9 ***	63.1 ***	48.8 ***	54.4 ***	60.4 ***	25.4 *	58.7 ***	56.2 ***	53.5 ***	54.3 ***	34.2 ***
	高温时段× 高温持续时间 S×D	9.2 ***	0.8 ns	18.3 ***	7.4 ***	6.7 ***	0.1 ns	20.0 *	12.5 ***	4.9 ***	5.7 ***	5.5 ***	7.3 *
洛早 2 号	高温时段 S	28.5 ***	35.4 ***	27.8 *	52.2 ***	47.4 ***	54.0 ***	29.6 ***	5.8 *	41.2 ***	48.8 ***	46.9 ***	64.9 ***
Luohan2	高温持续时间 D	64.1 ***	52.9 ***	62.5 ***	35.7 ***	39.0 ***	35.6 ***	60.5 ***	77.7 ***	47.1 ***	41.8 ***	43.1 ***	27.8 ***
	高温时段× 高温持续时间 S×D	7.1 ***	10.9 *	6.9 ns	11.9 ***	13.6 ***	10.3 ***	9.7 ***	16.0 ***	11.6 ***	9.4 ***	9.9 ***	7.0 ***

数据为各因子及其互作的均方占总均方的比例(%) ; *, **, *** 分别表示差异达到 5%, 1% 和 0.1% 显著水平

2.4 高温胁迫对籽粒氨基酸积累量的影响

进一步分析了高温处理时段和持续时间对两种筋力型小麦品种籽粒氨基酸积累量(以单粒中氨基酸含量表示)的交互效应(图 2),发现高温持续时间在不同处理时段存在差异,且品种间略有不同。在高温处理 S₁时段中,随着处理时间的持续,郑麦 366 赖氨酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸积累量均显著下降; D₁和 D₂处理分别较 CK 下降了 21.5%、17.8%、16.05%、16.57%和 24.8%、20.8%、17.25%、18.34%。洛早 2 号在高温处理 S₁阶段中,赖氨酸积累量随处理时间的持续显著下降,D₁和 D₂处理分别较 CK 降低了 2.4%和 14.5%;而必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸积累量在各处理间差异也均达显著水平,均以 D₁处理最高,而 D₂处理最低。在高温处理 S₂时段中,高温处理持续时间均显著降低了两品种籽粒氨基酸积累量,且以 D₁最低;其中赖氨酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸积累量在 D₁处理分别较 CK 降低了 31.7%、32.5%、32.0% 和 32.2%(郑麦 366),24.9%、27.2%、27.9% 和 27.7%(洛早 2 号)。

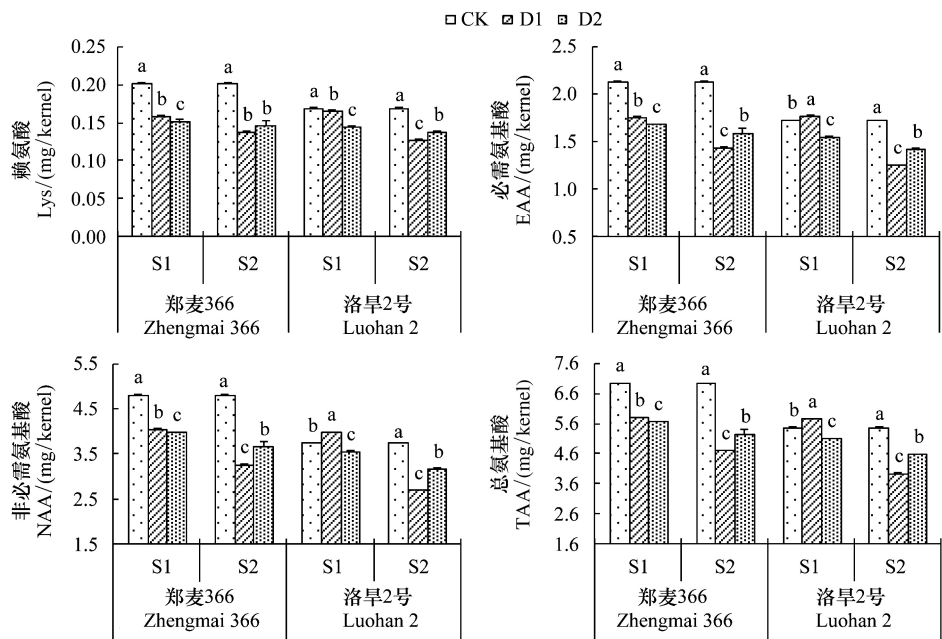


图 2 不同高温时段和持续时间对两种筋力型小麦单粒中氨基酸积累量的影响

Fig.2 Interaction effects of high temperatures stages and duration on amino acid accumulation in per kernel of two wheat cultivars

数据为平均值±标准偏差,相同字母表示差异未达到 5% 显著水平

3 讨论

3.1 不同小麦品种籽粒氨基酸形成对高温胁迫的响应差异

李鸿恩等对我国 20,000 多份小麦种质资源进行调查,发现赖氨酸的变异范围为 2.5—8.0 mg/g,平均值为 4.4 mg/g^[9]。Li et al. 研究发现高蛋白质含量(较普通小麦蛋白质平均值高 19.54%)的黑小麦籽粒中必需氨基酸和总氨基酸含量也较普通小麦高 34.50%和 32.17%^[10]。有研究认为环境变异对小麦籽粒氨基酸含量的影响远大于基因型差异^[11],其中灌浆期温度条件是影响小麦产量和品质的重要环境因素。高温胁迫使籽粒蛋白质含量提高,而导致蛋白质谷/醇比显著降低,并使面团强度和面包烘焙品质变劣^[3]。Blumenthal 将 45 个小麦品种在高温(40℃, 10 hr 每天)条件下连续处理 3 天,发现籽粒蛋白质含量对高温胁迫的响应在品种间存在差异^[12]。

本试验以两个不同筋力型小麦品种为材料,研究发现洛早 2 号(中筋品种)籽粒氨基酸含量较郑麦 366(强筋品种)更易受到高温胁迫的影响,前期高温(S_1)使洛早 2 号籽粒必需氨基酸含量显著增加 14.4%,而郑麦 366 的增加未达显著水平。从氨基酸参数看,EAA/TAA 对高温处理时段较敏感,而必需氨基酸和总氨基酸含量则更易受到高温处理持续时间的影响。这些差异说明小麦籽粒氨基酸组分对高温胁迫的响应较为复杂,既存在基因型差异,又因高温时段和持续时间而有所变化。

3.2 花后高温对小麦籽粒氨基酸组成的影响极其敏感时段

有研究表明,超过 30℃ 的高温缩短小麦籽粒灌浆进程,使粒重和产量下降,品质变劣^[13-14]。然而,小麦后期常因高温发生时段不同而对品质性状的影响也有所不同^[15],籽粒淀粉积累对高温胁迫的敏感性表现为灌浆后期> 中期> 前期^[5,16],而支链淀粉含量则受前期高温胁迫的影响较大^[17]。对于蛋白质品质而言,前期高温增加了谷蛋白/醇溶蛋白比值和 GMP 含量,中期高温则导致两者下降,而后期高温提高了籽粒蛋白质含量^[18],表明不同时段高温胁迫的影响存在着差异。

氨基酸作为蛋白质的重要成分,其含量与灌浆期均温呈显著正相关^[19]。García del Moral^[20] 研究发现,花后高温增加籽粒谷氨酸、苯丙氨酸和脯氨酸含量,而降低苏氨酸、赖氨酸和缬氨酸含量。本研究结果表明,高温胁迫下籽粒赖氨酸、必需氨基酸和总氨基酸含量的显著增加,主要是由粒重下降引起的。如前期高温(S_1)和中期高温(S_2)分别导致洛早 2 号粒重下降 16.0%和 26.9%,而籽粒中必需氨基酸含量仅增加 14.4%和 5.9%。同样的,2 d 高温(D_1)和 4 d 高温(D_2)分别使洛早 2 号粒重降低 17.8%和 25.0%,而籽粒中必需氨基酸含量仅增加 5.7%和 16.7%。由此可见,高温胁迫下籽粒氨基酸含量的相对增加是淀粉合成显著受抑的缘故^[16]。

花后高温处理改变了籽粒中氨基酸组成,造成 EAA/TAA 显著下降。这是由于高温胁迫下 NAA 的增加量显著高于 EAA,2 品种表现一致。如在前期高温下,郑麦 366 和洛早 2 号籽粒中 NAA 的增加量分别为 17.4 和 18.8 mg/g,而 EAA 的增加量仅为 5.9 和 6.2 mg/g,从而导致了籽粒 EAA/TAA 的下降。研究还表明,灌浆前期高温对籽粒氨基酸含量的影响大于中期;但从籽粒氨基酸积累量看,以灌浆中期受高温胁迫的影响较大。这主要是因为灌浆中期高温对粒重的影响大于前期和后期^[21]。

3.3 高温胁迫时段和持续时间对籽粒氨基酸积累量的互作效应

高温对氨基酸积累量的影响由粒重和氨基酸含量共同决定。小麦籽粒氨基酸积累量在灌浆初期迅速增加,花后 12—16 d 达到最大^[22]。高温胁迫导致籽粒干瘪,显著降低了小麦籽粒粒重和蛋白质产量^[23]。Stone 和 Nicolas 研究认为,高温处理时间越长,其对粒重和蛋白质含量的影响越大^[24]。然而,本研究结果发现花后 15 d 高温持续 2 d 对 2 品种籽粒中氨基酸积累量的胁迫作用最大;氨基酸积累量分别较 CK 显著降低了 31.7%—32.5%(郑麦 366)和 24.9%—27.9%(洛早 2 号)。这是因为该处理在造成粒重降低(2 品种降幅均为 26.7%)的同时,减少了氨基酸含量(郑麦 366 为 6.7%—7.5%和洛早 2 号 0.8%—1.7%)。此外,两者还存在显著互作效应,花后 5 d 高温胁迫对郑麦 366 籽粒氨基酸积累量的作用随高温持续时间延长而加重,但花后 15 d

高温则以持续 2 d 作用最显著。因此,高温对籽粒氨基酸影响的复杂性不仅体现在品种和不同氨基酸组分上,还体现在高温发生的时段和持续时间的长短。

4 结论

花后高温胁迫显著增加了 2 品种籽粒中赖氨酸、必需氨基酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量,但降低了 EAA/TAA 和氨基酸积累量;洛旱 2 号较郑麦 366 更易受到高温胁迫的影响。氨基酸含量对高温持续时间较敏感,而 EAA/TAA 则更易受高温时段的影响。花后 5 d 高温胁迫对 2 品种籽粒氨基酸含量的影响大于花后 15 d,其对氨基酸积累量的影响则相反。对于高温处理时段和持续时间的互作效应,花后 15 d 高温处理持续 2 d 对氨基酸积累量的胁迫作用最大。

参考文献(References):

- [1] 蔡艳,郝明德. 长期轮作对黄土高原旱地小麦籽粒蛋白质营养品质的影响. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1354-1360.
- [2] Uhlen A K, Hafskjold R, Kalhovd A H, Sahlström S, Longva Å, Magnus E M. Effects of cultivar and temperature during grain filling on wheat protein content, composition, and dough mixing properties. Cereal Chemistry, 1998, 75(4): 460-465.
- [3] 卢红芳,王晨阳,郭天财,尹云星. 灌浆前期高温和干旱胁迫对小麦籽粒蛋白质含量和氮代谢关键酶活性的影响. 生态学报, 2014, 34(13): 3612-3619.
- [4] Altenbach S B. New insights into the effects of high temperature, drought and post-anthesis fertilizer on wheat grain development. Journal of Cereal Science, 2012, 56(1): 39-50.
- [5] 闫素辉,尹燕桦,李文阳,李勇,梁太波,邬云海,耿庆辉,王振林. 花后高温对不同耐热性小麦品种籽粒淀粉形成的影响. 生态学报, 2008, 28(12): 6138-6147.
- [6] 宋康,朱彦威,李鹏,张凤云. 温度对不同筋型小麦游离氨基酸与籽粒蛋白质含量的影响. 山东农业科学, 2013, 45(12): 24-26, 29-29.
- [7] 王晨阳,苗建利,张美微,马冬云,冯伟,谢迎新,郭天财. 高温、干旱及其互作对两个筋力小麦品种淀粉糊化特性的影响. 生态学报, 2014, 34(17): 4882-4890.
- [8] 郑志松,王晨阳,牛俊义,张美微,张洁,姚宇卿. 水肥耦合对冬小麦籽粒蛋白质及氨基酸含量的影响. 中国生态农业学报, 2011, 19(4): 788-793.
- [9] 李鸿恩,张玉良,吴秀琴,李宗智. 我国小麦种质资源主要品质特性鉴定结果及评价. 中国农业科学, 1995, 28(5): 29-37.
- [10] Li W D, Beta T, Sun S C, Corke H. Protein characteristics of Chinese black-grained wheat. Food Chemistry, 2006, 98(3): 463-472.
- [11] 王绍中,李春喜,罗艳蕊,姜丽娜. 基因型和地域分布对小麦籽粒氨基酸含量影响的研究. 西北植物学报, 2001, 21(3): 437-445.
- [12] Blumenthal C, Bekes F, Gras P W, Barlow E W R, Wrigley C W. Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. Cereal Chemistry, 1995, 72(6): 539-544.
- [13] Farooq M, Bramley H, Palta J A, Siddique K H M. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Critical Reviews in Plant Sciences, 2011, 30(6): 491-507.
- [14] 王晨阳,张艳菲,卢红芳,赵君霞,马耕,马冬云,朱云集,郭天财,马英,姜玉梅. 花后渍水、高温及其复合胁迫对小麦籽粒淀粉组成与糊化特性的影响. 中国农业科学, 2015, 48(4): 813-820.
- [15] 李永庚,于振文,张秀杰,高雷明. 小麦产量与品质对灌浆不同阶段高温胁迫的响应. 植物生态学报, 2005, 29(3): 461-466.
- [16] 刘萍,郭文善,浦汉春,封超年,朱新开,彭永欣. 灌浆期短暂高温对小麦淀粉形成的影响. 作物学报, 2006, 32(2): 182-188.
- [17] 苗建利,王晨阳,郭天财,马冬云,胡吉帮,冯辉. 高温与干旱互作对两种筋力小麦品种籽粒淀粉及其组分含量的影响. 麦类作物学报, 2008, 28(2): 254-259.
- [18] 敬海霞,王晨阳,左学玲,胡吉邦,王永华,郭天财. 花后高温胁迫对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响. 麦类作物学报, 2010, 30(3): 459-463.
- [19] 郭凌汉,靳华芬. 不同生态环境小麦籽粒氨基酸含量的变化. 耕作与栽培, 1991, (4): 63-65.
- [20] García del Moral L F, Rharrabti Y, Martos V, Royo C. Environmentally induced changes in amino acid composition in the grain of durum wheat grown under different water and temperature regimes in a Mediterranean environment. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(20): 8144-8151.
- [21] 封超年,郭文善,施劲松,彭永欣,朱新开. 小麦花后高温对籽粒胚乳细胞发育及粒重的影响. 作物学报, 2000, 26(4): 399-405.
- [22] 张林生,蒋纪云,张保军. 小麦籽粒发育过程中氨基酸的变化. 作物学报, 1997, 23(3): 301-306.
- [23] Castro M, Peterson C J, Rizza M D, Dellavalle PD, Vazquez D, Ibanez V, Ross A. Influence of heat stress on wheat grain characteristics and protein molecular weight distribution // Buck H T, Nisi J E, Salomon N. Wheat Production in Stressed Environments, 2007: 365-371.
- [24] Stone P J, Nicolas M E. The effect of duration of heat stress during grain filling on two wheat varieties differing in heat tolerance: grain growth and fractional protein accumulation. Australian Journal of Plant Physiology, 1998, 25(1): 13-20.