

网络出版日期:2017-08-18

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0938.016.html>

外源多胺和乙烯对小麦籽粒品质的影响

李 佳, 陈 庆, 吕晓康, 刘 杨, 廖允成

(西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 以‘西农 538’和‘周麦 22’为材料,在灌浆期分别喷施亚精胺(Spd)、腐胺(Put)和乙烯(Eth),研究外源多胺和乙烯对小麦籽粒品质的影响。结果表明:灌浆期喷施 Spd,2 个品种籽粒的清蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白和总蛋白相比对照均有所提高,面筋质量分数、沉降值等加工品质指标均有不同程度的上升趋势,直链淀粉质量分数下降但未达显著水平,小麦品质得到改善。而喷施 Put 的效果相反但未达到显著影响。Eth 提高清蛋白和球蛋白质量分数,但显著降低醇溶蛋白和谷蛋白质量分数以及面筋质量分数、沉降值等加工品质指标。说明通过化学调控等途径增加籽粒 Spd 浓度或降低 Put 和 Eth 浓度,可以在一定程度上改善小麦的籽粒品质。

关键词 小麦;多胺;乙烯;籽粒品质

中图分类号 S311

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)08-1156-09

小麦在中国农业生产中具有重要的地位。高产、优质一直是小麦生产的目标,而长期以来中国小麦生产对产量关注多,对品质关注较少,造成中国小麦生产高产不优质等问题^[1]。前人研究表明,小麦品质不仅取决于品种本身的遗传特性,也受到如水分、氮肥、密度等栽培条件 and 环境因素的显著影响^[2-4]。

植物激素对小麦的生长发育有重要的调控作用^[5]。多胺作为一种新型植物激素,广泛存在于植物体内。乙烯被认为是一种抑制型激素,参与植物生长发育的多种生理功能。多胺和乙烯能够有效地调控植物生长发育的诸多进程^[6-8],例如细胞分裂、形态建成、胚胎发育、坐果和果实生长、衰老以及对环境胁迫的响应等^[9-12]。前人关于外源植物生长调节物质多胺和乙烯对小麦生长影响的研究已有很多,刘杨等^[13]研究发现外源喷施亚精胺(Spd)和精胺(Spm)显著提高小麦籽粒灌浆速率及粒质量,但外源喷施腐胺(Put)对小麦籽粒灌浆及粒质量无显著影响。小麦内源多胺质量分数和其抗逆性关系密切,较高的 Spd 或 Spm 质量分数能缓解逆境胁迫对小麦生长的抑制作用^[14-15]。

有报道称,高水平的乙烯和乙烯前体氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)会导致小麦粒质量的降低^[16],对灌浆产生不利影响,降低产量。多胺、乙烯显著影响植物生长,且两者具有相同的生物合成前体—S-腺苷蛋氨酸(SAM),它们的相互作用会显著影响籽粒灌浆过程,进而影响产量。灌浆过程会影响籽粒品质,但前人对多胺和乙烯调控小麦籽粒灌浆的研究主要针对产量,而对两者对品质的影响关注较少,因此,本试验选用多胺和乙烯利 2 类化学调控剂,在田间条件下研究其对小麦籽粒品质的影响,探讨多胺和乙烯对小麦主要品质指标的影响,旨在为小麦优质高产栽培技术中合理运用植物生长调节物质提供理论依据,对促进中国优质小麦生产具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

于 2015—2016 年在西北农林科技大学北校区标本园进行试验。该地属暖温带半湿润气候,东经 108°24′,北纬 34°20′。试验区土壤属于 t 壤土(粘粒质量分数 36.5%,粉粒质量分数 61.1%,砂

收稿日期:2017-01-09 **修回日期:**2017-03-24

基金项目:国家自然科学基金(31301260);陕西省农业科技创新与攻关(2016NY-001);陕西省高校科协青年人才托举计划(20150109);陕西省科技统筹创新工程计划(2015KTZDNY01-02)。

第一作者:李 佳,女,硕士研究生,从事作物生理研究。E-mail:1525453625@qq.com

通信作者:刘 杨,男,副教授,研究方向为作物生理生化、作物高产优质栽培理论与技术。E-mail:liuyang0328@126.com

廖允成,男,教授,研究方向为高效耕作制度、作物栽培生理、农业生态系统。E-mail:yunchengliao@163.com

粒质量分数 2.4%),耕层(0~30 cm)土壤有机质 14.09 g/kg,速效氮 51.22 mg/kg,速效磷 7.61 mg/kg,速效钾 150.06 mg/kg,pH 7.58。供试品种为‘周麦 22’和‘西农 538’,均于 2015-10-12 播种,播种量为 150 kg/hm²,行距为 0.2 m,播前施入尿素[ω(N)=46%]360 kg/hm² 和磷酸二铵 300 kg/hm²。小麦生长期进行常规大田管理。

每品种设 4 个处理,开花后分别向穗部喷施 1 mmol/L Spd、2 mmol/L Put、50 mmol/L Eth。为使激素能更好地附着于叶片,用 φ=0.1% 的酒精和 φ=0.01% 吐温-20 混合于激素溶液中,喷施清水为作对照(CK),喷施量均为 800 mL/m²。各处理于 17:00—18:00 连续喷施 4 d。试验为随机区组排列,重复 3 次,24 个小区,小区面积 9 m²。收获期每处理收获 4 m²,脱粒晒干,取放置 1 个月以上的小麦籽粒,并用磨样机磨粉用于测定小麦品质。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 籽粒蛋白组分质量分数 用连续振荡法顺序提取清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白,分别吸取一定量体积的上述各提取液,采用高分辨自动化学分析仪测定含氮量,含氮量乘以系数 5.7 即为蛋白质质量分数。

1.2.2 小麦加工品质指标 湿面筋、吸水率、沉降值、体积质量、稳定时间、形成时间等均采用近红外谷物分析仪测定。

1.2.3 直链淀粉质量分数 参照文献[17]双波长法测定,根据碘—直链淀粉复合物的吸收光谱,选择直链淀粉的测定波长分别为 λ₁=631 nm 和 λ₂=480 nm,依据回归方程可求出直链淀粉的质量分数。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据统计分析,并绘制图表,通过 SPSS 20.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 外源多胺和乙烯处理对小麦籽粒蛋白质各组分质量分数的影响

由表 1 可见,4 种蛋白组分质量分数在品种和生长调节剂处理间均达到极显著水平,两者的交互作用在清蛋白、球蛋白和总蛋白之间也表现为极显著。外源多胺对清蛋白具有调控作用,但效果因多胺种类而异,2 个品种结果有差异。相比 CK,喷施 Spd 后 2 个小麦品种籽粒的清蛋白质量分数均有所提高,但差异不显著。‘周麦 22’的球蛋白质量分数较对照略有提高,但差异未达到显著水平。与对照相比,Put 显著降低‘西农 538’清蛋白质量分数,对球蛋白影响不显著;Put 对‘周麦 22’的 2 种蛋白组分的处理效果均不显著。Eth 处理显著提高 2 个品种清蛋白和球蛋白的质量分数,处理间差异显著。品种之间,Eth 处理下‘周麦 22’的籽粒清蛋白和球蛋白质量分

表 1 不同处理下小麦籽粒蛋白质各组分与总蛋白质量分数在面粉中所占比例

Table 1 The percentage of protein components and total protein to wheat flour under different treatments

品种 Cultivar	处理 Treatment	清蛋白/% Albumin	球蛋白/% Globulin	醇溶蛋白/% Gliadin	谷蛋白/% Glutenin	总蛋白/% Total protein
周麦 22 Zhoumai 22	CK	2.11c	0.99c	3.54c	3.28c	14.75bc
	Spd	2.14c	1.03c	4.39b	3.98a	15.32a
	Eth	5.16a	3.98a	0.50e	0.98d	11.81e
	Put	2.07cd	1.01c	3.51c	3.26c	14.92b
西农 538 Xinong 538	CK	1.89e	1.09c	4.25b	3.17c	14.08d
	Spd	1.91de	1.02c	4.83a	3.74b	14.44c
	Eth	2.39b	2.70b	0.90d	0.78e	11.90e
	Put	1.64f	1.02c	4.15b	3.20c	13.81d
F 值	品种 Cultivars	512.40**	137.20**	40.95**	12.00**	66.57**
F value	处理 Treatment	510.11**	2057.83**	420.17**	879.59**	302.15**
	品种×处理 Cultivars×Treatment	237.03**	168.14**	0.79	0.82	10.81**

注:同列小写字母表示在 0.05 水平上差异显著;* 在 0.05 水平显著相关;** 在 0.01 水平极显著相关;下同。
Note:Different lowercase letters mean significant difference at 0.05 level;* significant correlation at 0.05 level;** significant correlation at 0.01 level;the same hereinafter.

数均显著高于‘西农 538’。表明花后 Eth 处理有利于小麦清蛋白和球蛋白形成,提高小麦的营养品质。

从表 1 看出,Spd 处理显著提高 2 个品种的醇溶蛋白、谷蛋白以及总蛋白的质量分数,Eth 的处理结果正好相反,处理间达到显著差异。表明花后 Spd 处理有利于促进小麦籽粒总蛋白合成,而 Eth 会抑制籽粒总蛋白形成。与 CK 相比,Put 处理除使‘西农 538’的籽粒谷蛋白质量分数略有提高外,其醇溶蛋白质量分数及‘周麦 22’的 2 种蛋白组分质量分数均表现为下降趋势,但处理效果未达到显著水平。品种之间,‘西农 538’各处理的醇溶蛋白质量分数均显著高于‘周麦 22’,而谷蛋白质量分数变化正好相反;在 CK、Spd 和 Put 处理下,‘周麦 22’的总蛋白质量分数均显著高于‘西农 538’,而 Eth 处理下的总蛋白质量分数在两者之间差异未达到显著水平。

2.2 不同处理对小麦面粉加工品质指标的影响

2.2.1 面筋质量分数和面团流变学特性 面团流变学特性作为小麦品质指标之一,是面粉加水

形成的耐揉性和粘弹性的综合表现^[18]。由表 2 可见,在品种、生长调节剂单因素影响下,面筋质量分数和流变学特性均呈现出显著或极显著差异,两者的交互作用在稳定时间、形成时间上也表现为显著或极显著差异,说明品种、生长调节剂单因素及其互作效应均会对面粉的加工品质产生影响。Spd 和 Eth 处理对小麦面粉品质性状产生不同效果。由表 2 可知,与 CK 相比,喷施 Spd 能显著提高 2 个品种的面筋质量分数、稳定时间以及形成时间。喷施 Put 后面筋质量分数和面团流变学参数的变化均未达到显著水平。这 4 项品质指标在 Eth 处理下均表现为显著低于 CK,两品种结果一致。表明 Put 和 Eth 处理不利于提升小麦面筋质量分数和面团流变学特性。品种之间表现为:各处理下‘西农 538’的吸水率显著高于‘周麦 22’;CK、Spd 和 Put 处理下,‘西农 538’的面筋质量分数、稳定时间和形成时间均显著高于‘周麦 22’,而 Eth 处理下 2 个品种间这 3 项品质指标均无显著性差异。‘西农 538’在这 4 项指标的表现优于‘周麦 22’。

表 2 不同处理下小麦面粉加工品质指标的变化

Table 2 Changes of processing quality of wheat flour under different treatments					
品种 Cultivar	处理 Treatment	面筋质量分数/% Mass fraction of gluten	稳定时间/min Dough develop time	形成时间/min Dough stability time	吸水率/% Water absorption
周麦 22 Zhoumai 22	CK	29.54 c	4.77 d	2.67 d	60.90 b
	Spd	32.37 a	6.83 c	3.33 c	60.30 bc
	Put	29.23 c	4.43 d	2.70 d	61.17 b
	Eth	21.42 d	0.40 e	0.70 e	55.60 d
西农 538 Xinong 538	CK	30.95 b	8.83 b	3.77 ab	64.40 a
	Spd	32.47 a	10.80 a	4.10 a	65.00 a
	Put	31.07 b	9.30 ab	3.53 bc	64.57 a
	Eth	21.10 d	1.53 e	0.63 e	58.47 c
F 值	品种 Cultivars	6.65 *	73.24 **	43.64 **	66.16 **
F value	处理 Treatment	283.89 **	68.60 **	188.20 **	40.97 **
	品种×处理 Cultivars×Treatment	3.06	3.97 *	6.40 **	0.76

2.2.2 体积质量、沉降值和出粉率 由表 3 可以看出,各化控处理间表现出极显著差异,植物生长调节剂对体积质量、沉降值和出粉率有明显的调节效应。与 CK 相比,喷施 Spd 后 2 个品种的体积质量和沉降值均有所提高,其中对沉降值的影响达显著水平,但对体积质量、出粉率影响不显著。Put 显著提高‘西农 538’的体积质量,对其他指标的影响并未达到显著水平。体积质量、沉降值和出粉率对 Eth 处理较为敏感,3 个指标均显

著低于 CK。三者在品种间表现出显著或极显著差异,表现为‘西农 538’显著高于‘周麦 22’。品种和化控的互作效应对 3 个指标的影响都达到显著或极显著水平,体积质量以‘西农 538’结合喷施 Put 的处理组合最高,以‘周麦 22’结合喷施 Eth 的处理组合最低;沉降值以‘西农 538’和喷施 Spd 的组合最高,以‘周麦 22’喷施 Eth 处理组合最低;出粉率以‘周麦 22’和 Eth 组合最低,其他处理组合间均未显著水平。从以上分析可以看

出,喷施 Eth 会对体积质量、沉降值和出粉率造成不利影响,Spd 对沉降值和体积质量有一定的提升,而 Put 对各指标作用均不显著。

表 3 不同处理下小麦籽粒体积质量、沉降值及出粉率的变化

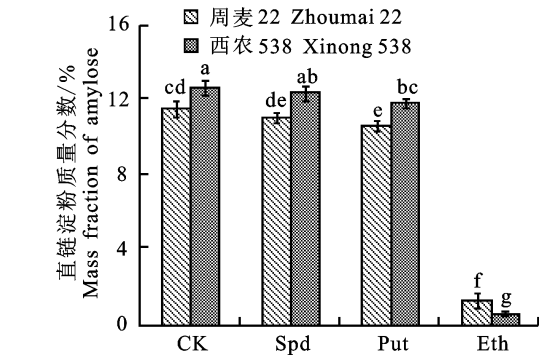
Table 3 Changes of volumic mass, sedimentation value and flour rate under different treatments				
品种 Cultivar	处理 Treatment	体积质量/(g/L) Volumic mass	沉降值/mL Sedimentation value	出粉率/% Flour rate
周麦 22 Zhoumai 22	CK	805.00 ab	26.54 d	68.33 a
	Spd	806.00 ab	30.18 c	68.00 a
	Put	798.00 b	25.93 d	68.33 a
	Eth	731.33 d	9.89 e	31.00 c
西农 538 Xinong 538	CK	802.33 b	34.75 b	68.67 a
	Spd	804.33 ab	39.40 a	69.00 a
	Put	813.67 a	36.61 b	69.00 a
	Eth	745.67 c	10.96 e	36.33 b
F 值 F value	品种 Cultivars	7.55 *	217.52 * *	14.24 * *
	处理 Treatment	202.28 * *	499.86 * *	1 288.86 * *
	品种×处理 Cultivars×Treatment	4.53 *	18.66 * *	5.84 * *

2.3 外源多胺和乙烯处理对小麦直链淀粉质量分数的影响

由图 1 可以看出,不同植物生长调节剂会影响直链淀粉质量分数。2 个品种喷施 Spd、Put 和 Eth 后直链淀粉质量分数均表现为下降趋势,Spd 处理下,2 个品种的直链淀粉质量分数相比 CK 有所降低但差异不显著,Put 处理显著低于 CK。Eth 处理的直链淀粉质量分数表现为最低,极显著低于 CK,2 个品种结果一致。表明施用 Spd、Put 和 Eth 可以降低直链淀粉质量分数,并且 Eth 降低幅度最大。品种之间,‘西农 538’的 CK、Spd 和 Put 处理下直链淀粉质量分数均显著高于‘周麦 22’,说明直链淀粉质量分数有一定的品种稳定性。

3 讨论

各种植物生长调节剂在农业生产中被应用来提高作物产量、增强作物抗逆性和改善作物品质^[19-21]。已有试验表明生长调节剂有的能提升小麦品质,有的会降低小麦品质^[22-23]。关于外源多胺和 Eth 对小麦籽粒品质影响的研究较少,但也取得一些成果。周宪龙^[20]研究发现,植物生长调节剂多胺处理对小麦蛋白质量分数、湿面筋质量分数和体积质量均无显著影响;本研究也发现,多胺对沉降值有一定的作用,但作用因品种而异。王志琴等^[24]在水稻上的研究发现,用化学调控等方法增加籽粒 Spd 浓度或降低 Put 浓



不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。
Different lowercase letters indicated significant difference between treatments(P<0.05).

图 1 不同处理下‘周麦 22’和‘西农 538’中直链淀粉质量分数的变化

Fig. 1 Changes of amylose mass fraction of ‘Zhoumai 22’ and ‘Xinong 538’ under different treatments

度,可以在一定程度上改善该稻米的加工品质和外观品质。本试验表明,外源 Spd 对小麦籽粒品质有显著影响,能够显著提高总蛋白质量分数,这与前人研究结果一致;但 Spd 对小麦籽粒各蛋白组分提高的幅度存在差异,其中 Spd 显著提高小麦籽粒的醇溶蛋白和谷蛋白质量分数,对清蛋白质量分数虽有所提高,但差异并未达到显著水平。说明小麦各蛋白组分变异受 Spd 影响程度不同。王月福等^[25]的研究指出醇溶蛋白和谷蛋白作为面筋的主要组成成分,两者质量分数的提高有利于湿面筋质量分数和沉降值的提高,本研究符合

这一结果。外源 Spd 在提高醇溶蛋白和谷蛋白质量分数的同时,也显著提高面粉的湿面筋质量分数和沉降值。

Sekhon^[26] 试验,在小麦孕穗期喷施 Eth,可以提高小麦籽粒中的淀粉质量分数,降低蛋白质质量分数。但 Webster 等^[27] 的试验施用 Eth 结合氮肥处理的结果表明,Eth 可以提高硬质红粒春小麦的籽粒蛋白质质量分数,增幅为 1.6%~7.4%。秦武发等^[28] 研究指出,小麦灌浆期喷施 Eth 能显著提高籽粒蛋白质质量分数,极显著提高面粉的沉降值,改善加工品质。段留生等^[29] 在冬小麦上的研究发现,在小麦开花后喷施 Eth 处理提高籽粒中的清蛋白、球蛋白以及谷蛋白的质量分数,有利于小麦品质的提升。Eth 还能提高面粉蛋白质质量分数及干、湿面筋质量分数,增加面粉沉降值。本试验得出 Eth 造成醇溶蛋白、谷蛋白质量分数显著下降,虽使清蛋白和球蛋白质量分数略有提高,但未达显著水平,从而降低总蛋白质量分数。同时,Eth 也降低小麦面粉的面筋质量分数和沉降值。这与前人的研究结果有差异,还需要进一步研究。

Spd 对体积质量的提高没有达到显著水平,这与前人的研究结果一致。Put 处理只对‘西农 538’的体积质量产生显著影响,而 Eth 显著降低 2 个小麦品种的体积质量。前人的研究结果表明,体积质量的遗传力较高,受到环境因素影响的变异程度小^[30]。但也有研究表明,小麦体积质量受环境条件变化的影响大于其基因型影响^[31-32]。这种差异也许与选择的样品或调节剂种类有关,有待进一步研究。出粉率是衡量磨粉品质最重要的指标,与面粉企业的经济效益直接相关。高新楼等^[33] 研究表明,小麦的出粉率与体积质量呈极显著正相关;时子亮等^[34] 的研究也指出小麦体积质量和出粉率呈正相关关系,在其他条件都相同的条件下,小麦体积质量越大,出粉率越高。本试验中,出粉率对 Spd、Put 和 Eth 的响应表现出和体积质量相似的结果,说明两者之间的正相关关系,与前人的研究结果一致。

面团的流变学特性是小麦面粉的基本特性,其中面团形成时间、稳定时间和吸水率将直接影响面团的筋力,是研究面粉加工品质的主要流变学指标。关于外源多胺和 Eth 对面团流变学特性的影响还未见报道,但对小麦品质指标与面团流变学特性之间相关性的研究已有很多。阚建全

等^[35] 对面团流变学特性的研究表明,蛋白质和面筋质量分数高的面团,吸水率大,形成时间和稳定时间长。这与要燕杰等^[36] 的研究相一致。这两者的研究表明,蛋白质质量分数与面团流变学特性间存在正相关关系。本试验中 Spd 和 Eth 处理谷蛋白质质量分数、面筋质量分数与面团流变学参数之间也呈现出正相关。Spd 和 Eth 处理提高或降低蛋白质和面筋质量分数,面团的流变学参数也随之升高或降低。而 Put 处理结果与上述结论存在差异,Put 处理下蛋白质和面筋质量分数与面团的流变学参数变化趋势不一致。姜小苓等^[37] 在面粉中添加面筋蛋白后发现,3 种不同筋力面粉的吸水率、形成时间和稳定时间均呈逐渐增加的趋势。这些研究进一步表明蛋白和面筋质量分数与面团流变学特性有很大的相关性。

淀粉是小麦籽粒的主要组成部分,约占小麦籽粒干质量的 65%。小麦淀粉主要由直链淀粉和支链淀粉组成,直链淀粉约占 1/4,支链淀粉约占 3/4^[38]。直链与支链淀粉质量分数及其比例是影响面条质量的主要因素,其中直链淀粉的质量分数是评价优质面条小麦的关键品质指标^[39]。本研究发现,Eth 极显著降低小麦籽粒直链淀粉质量分数,与 Sekhon^[26] 的研究结果不一致,关于外源多胺对小麦直链淀粉质量分数的影响的研究则未见报道。张玉荣等^[40] 的研究表明,直链淀粉质量分数与面粉品质呈负相关关系。也有研究指出,直链淀粉能显著影响面粉品质,直链淀粉质量分数低的小麦粉,具有较高的膨胀势和峰值黏度,良好的面条表现状态、软硬度、弹性、黏性和光滑性综合评分表现较好^[41-43]。因此,本研究中多胺 Spd 可以适度降低直链淀粉质量分数,有利于改善面粉品质,Eth 处理大大降低直链淀粉质量分数,反而不利于品质提升。

对于外源多胺和 Eth 对小麦籽粒品质调控的机理,目前尚不清楚,已有的研究多集中在水稻上。有研究表明,多胺和乙烯的生物合成共享同一个前体:S-腺苷蛋氨酸(SAM),多胺的合成增加会抑制乙烯的合成^[44-45]。王志琴等^[24] 在水稻上喷施多胺(Spd 或 Spm)后发现,多胺可以通过抑制乙烯生物合成,调控胚胎发育,进而促进稻米的充实并有利于形成良好的加工品质和外观品质,而 Put 则与 Spd 和 Spm 作用相反。该研究还发现,多胺通过调节籽粒中蔗糖—淀粉代谢途径的关键酶活性,可以改善籽粒品质,而喷施 Put 或

多胺合成抑制剂甲基乙醛双脒基脞(MGBG)效果相反。同时,王静超^[46]对水稻穗部喷施 Eth 后显著降低籽粒中蔗糖—淀粉代谢途径的关键酶活性,而喷施乙烯合成抑制物氨基乙氧基乙烯甘氨酸(AVG)后关键酶活性显著提高,通过调节酶活性从而影响籽粒品质。这可能是由于多胺提高籽粒碳代谢效率,促进籽粒灌浆,使籽粒充实好,品质改善,而乙烯降低碳代谢效率,抑制灌浆,或者是乙烯释放速率较高使籽粒或同化物向籽粒转运的运输通道老化,因同化物供应受阻而导致籽粒品质降低。由此可以推测,多胺和乙烯之间通过拮抗或竞争作用来调控小麦籽粒发育的生理过程,进而调控籽粒的品质形成。目前,对于 Put 的研究结果不尽相同^[47-49]。Put 对籽粒品质形成有不利影响,可能是由于 Put 对品质形成的作用机理与 Spd 和 Spm 的作用机理相反,对此还有待进一步研究。

4 结 论

不同类型多胺对小麦籽粒品质的调控效果不同,灌浆期对麦穗喷施 Spd 有利于于形成较好的籽粒品质,而喷施 Put 对小麦品质无显著影响,或与 Spd 效果相反。Eth 仅提高籽粒中清蛋白和球蛋白质量分数且显著降低总蛋白质量分数,对其他各项指标均产生不利影响,导致小麦品质变差。因此,可以通过化学调控途径增加小麦籽粒中的 Spd 浓度或降低 Put 和 Eth 浓度,在一定程度上可以改善小麦品质。但对于多胺和乙烯对小麦品质的形成机理,还需要深入研究。

参考文献 Reference:

[1] 张立全,张晓东.我国优质小麦生产现状及其开发对策[J].现代农业科技,2009(22):66-68.
ZHANG L Q,ZHANG X D. Production of high-quality wheat situation and development strategies[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009 (22): 66-68 (in Chinese).

[2] 荆 奇,姜 东,戴廷波,等.基因型与生态环境对小麦籽粒品质与蛋白质组分的影响[J].应用生态学报,2003,14(10):1649-1653.
JING Q,JIANG D,DAI T B,*et al.* Effects of genotype and environment on wheat grain quality and protein components [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14 (10): 1649-1653(in Chinese with English abstract).

[3] 王晓英.灌水与氮肥对强筋小麦籽粒产量和品质的调控效应研究[D].山东泰安:山东农业大学,2008.

WANG X Y. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on grain yield and quality of strong-gluten winter wheat [D]. Tai'an Shandong:Shandong Agricultural University, 2008(in Chinese with English abstract).

[4] 刘 萍,郭文善,徐月明,等.种植密度对中、弱筋小麦籽粒产量和品质的影响[J].麦类作物学报,2006,26(5):117-121.
LIU P,GUO W SH,XU Y M,*et al.* Effect of planting density on grain yield and quality of weak-gluten and medium-gluten wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2006, 26 (5): 117-121(in Chinese with English abstract).

[5] 戴晓琴,李存东,张凤路,等.植物激素对小麦穗粒发育调控机制的研究进展[J].河北农业大学学报,2002,25(S1):32-34.
DAI X Q,LI C D,ZHANG F L,*et al.* Advance on regulation and control of plant hormones in wheat spike and floret development[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2002, 25 (S1): 32-34(in Chinese with English abstract).

[6] 马兴立.不同植物生长调节物质对玉米生长发育的影响[D].郑州:河南农业大学,2010.
MA X L. Effects of different plant growth regulators on the growth and development of maize [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2010 (in Chinese with English abstract).

[7] 翟丙年,郑险峰,杨岩荣,等.植物生长调节物质的研究进展[J].西北植物学报,2003,23(6):1069-1075.
ZHAI B N,ZHENG X F,YANG Y R,*et al.* The research progresses of plant growth substances [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23 (6): 1069-1075 (in Chinese with English abstract).

[8] 陈 娟,陈建萍,蒋莲芬,等.不同生长调节剂对水稻生长发育和产量结构的影响[J].农业装备技术,2015,41(5):27-29.
CHEN J,CHEN J P,JIANG L F,*et al.* Effects of different growth regulators on growth and yield structure of rice[J]. *Agricultural Equipment & Technology*, 2015, 41 (5): 27-29 (in Chinese).

[9] DAVIES P J. The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions[M]//Plant Hormones. Netherlands: Springer, 1995: 1-11.

[10] PAPADAKIS A K,ROUBELAKIS-ANGELAKIS K A. Polyamines inhibit NADPH oxidase-mediated superoxide generation and putrescine prevents programmed cell death induced by polyamine oxidase-generated hydrogen peroxide[J]. *Planta*, 2005, 220 (6): 826-37.

[11] ALCÁZAR R. Involvement of polyamines in plant response to abiotic stress[J]. *Biotechnology Letters*, 2006, 28 (23): 1867-1876.

[12] YANG J. Post-anthesis development of inferior and superior spikelets in rice in relation to abscisic acid and ethylene [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57 (1): 149-160.

- [13] 刘 杨,温晓霞,顾丹丹,等. 多胺对冬小麦籽粒灌浆的影响及其生理机制[J]. 作物学报, 2013, 39(4): 712-719.
LIU Y, WEN X X, GU D D, *et al.* Effect of polyamine on grain filling of winter wheat and its physiological mechanism[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(4): 712-719 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张伟杨,徐云姬,钱希旸,等. 小麦籽粒游离多胺对土壤干旱的响应及其与籽粒灌浆的关系[J]. 作物学报, 2016, 42(6): 860-872.
ZHANG W Y, XU Y J, QIAN X Y, *et al.* Free polyamines in grains in response to soil drought and their relationship with grain filling of wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(6): 860-872 (in Chinese with English abstract).
- [15] 付玉营,马文广,曹栋栋,等. 多胺对种子萌发生长及成熟的影响[J]. 种子, 2016, 35(5): 52-58 (in Chinese).
FU Y Y, MA W G, CAO D D, *et al.* Effects of polyamines on germination, growth and maturation of seeds[J]. *Seed*, 2016, 35(5): 52-58 (in Chinese).
- [16] YANG J, ZHANG J, LIU K, *et al.* Absciscic acid and ethylene interact in wheat grains in response to soil drying during grain filling[J]. *New Phytologist*, 2006, 171(2): 293-303.
- [17] 金玉红,张开利,张兴春,等. 双波长法测定小麦及小麦芽中直链、支链淀粉质量分数[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 137-140.
JIN Y H, ZHANG K L, ZHANG X CH, *et al.* Determination of amylose and amylopectin in wheat and wheat malt by dual-wavelength spectrophotometry[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2009, 24(1): 137-140 (in Chinese with English abstract).
- [18] 游玉明,陈井旺. 面团流变学特性研究进展[J]. 现代面粉工业, 2008(3): 46-48.
YOU Y M, CHEN J W. Research progress of dough rheology properties[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2008(3): 46-48 (in Chinese).
- [19] 张宏纪,张举梅,韩晓艺,等. 植物生长调节剂和根外追肥对小麦品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2003(3): 7-10.
ZHANG H J, ZHANG J M, HAN X Y, *et al.* Effect of plant growth regulator and ex-root nutrition on wheat quality [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2003(3): 7-10 (in Chinese with English abstract).
- [20] 周宪龙. 植物生长调节剂对冬小麦产量和品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
ZHOU X L. Effects of plant growth regulators on yield and quality of winter wheat[D]. Beijing: China Agricultural University, 2002 (in Chinese with English abstract).
- [21] LIU Y, LIANG H, LÜ X, *et al.* Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress[J]. *Plant Physiology & Biochemistry*, 2016, 100(3): 113-129.
- [22] 张 敏,戴廷波,姜 东,等. 6-BA 对小麦花后 C/N 物质运转和籽粒品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(4): 6-10.
ZHANG M, DAI T B, JIANG D, *et al.* Effects of 6-BA on carbon and nitrogen assimilate translocation after anthesis and quality formation in wheat[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2006, 29(4): 6-10 (in Chinese with English abstract).
- [23] 杨桂霞,赵广才,许 轲,等. 灌水和生长调节剂对有色小麦产量和品质的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(5): 1068-1072.
YANG G X, ZHAO G C, XU K, *et al.* Effect of irrigation and growth regulator on yield and quality of different grain color wheats[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2010, 24(5): 1068-1072 (in Chinese with English abstract).
- [24] 王志琴,张 耗,王学明,等. 水稻籽粒多胺浓度与米质的关系[J]. 作物学报, 2007, 33(12): 1922-1927.
WANG ZH Q, ZHANG H, WANG X M, *et al.* Relationship between concentrations of polyamines in filling grains and rice quality [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(12): 1922-1927 (in Chinese with English abstract).
- [25] 王月福,于振文,李尚霞,等. 土壤肥力对小麦籽粒蛋白质组分质量分数及加工品质的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6): 1318-1324.
WANG Y F, YU ZH W, LI SH X, *et al.* Effects of soil fertility on protein components content and processing quality in wheat kernel[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2002, 22(6): 1318-1324 (in Chinese with English abstract).
- [26] SEKHON N K. Effect of growth regulators and date of sowing on grain development in wheat[J]. *Indian Journal of Plant Physiology*, 1994, 37(1): 1-4.
- [27] WEBSTER J R, JACKSON L F. Management practices to reduce lodging and maximize grain yield and protein content of fall-sown irrigated hard red spring wheat[J]. *Field Crops Research*, 1993, 33(3): 249-259.
- [28] 秦武发,董永华,张彩英,等. 开花后喷施植物生长调节物质对小麦籽粒千粒质量、蛋白质质量分数和沉降值的影响[J]. 植物生理学报, 1996, 32(2): 124-125.
QIN W F, DONG Y H, ZHANG C Y, *et al.* Effects of plant growth regulators after spraying on grain weight, protein content and sedimentation value of wheat after anthesis[J]. *Plant Physiology Journal*, 1996, 32(2): 124-125 (in Chinese with English abstract).
- [29] 段留生,韩碧文,何钟佩. 6-苄氨基嘌呤和乙烯利对小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 1998, 3(S4): 1-6.
DUAN L SH, HAN B W, HE ZH P. Effect of 6-Benzylaminopurine and ethephon on grain yield and quality of winter wheat[J]. *Journal of China Agricultural University*, 1998, 3(S4): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- [30] 杨 林,吴青霞,邵 慧,等. 小麦籽粒品质性状的 QTL 分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(8): 1574-1583.
YINAG L, WU Q X, SHAO H, *et al.* QTL mapping for

- grain quality traits in wheat[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2013, 33(8): 1574-1583 (in Chinese with English abstract).
- [31] 孙彩玲,田纪春,彭 波. 不同基因型 and 环境影响小麦主要品质的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(3): 6-10.
SUN C L, TIAN J CH, PENG B. Effects of different genotype and environment on quality traits of wheat[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2010, 25(3): 6-10 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张学林,梅四伟,郭天财,等. 遗传和环境因素对不同冬小麦品种品质性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 249-253.
ZHANG X L, MEI S W, GUO T C, *et al.* Effects of genotype and environment on winter wheat qualities[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(2): 249-253 (in Chinese with English abstract).
- [33] 高新楼,史 芹,陈 华,等. 优质强筋小麦磨粉品质研究[J]. 农业科技通讯, 2014(11): 85-87.
GAO X L, SHI Q, CHEN H, *et al.* Study on flour quality of high quality and strong gluten wheat[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2014(11): 85-87 (in Chinese).
- [34] 时子亮,白玉玲,王新爱,等. 小麦体积质量对出粉率的影响[J]. 粮油食品科技, 2010, 18(3): 12-13.
SHI Z L, BAI Y L, WANG X A, *et al.* Effect of test weight on flour yield of wheat[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2010, 18(3): 12-13 (in Chinese).
- [35] 阚建全,陈宗道. 面团流变学特性研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 1997, 19(4): 363-366.
HAN J Q, CHEN Z D. Studies on rheological properties of dough[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 1997, 19(4): 363-366 (in Chinese with English abstract).
- [36] 要燕杰,高 翔,李晓燕,等. 小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析[J]. 华北农学报, 2013, 28(S1): 147-154.
YAO Y J, GAO X, LI X Y, *et al.* Correlation and multiple regression analysis of wheat quality indexes and dough rheological properties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2013, 28(S1): 147-154 (in Chinese with English abstract).
- [37] 姜小冬,李小军,冯素伟,等. 蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 44-49.
JIANG X L, LI X J, FENG S W, *et al.* Effects of addition of different amounts of gluten and starch on wheat dough rheological properties and starch pasting characteristics[J]. *Food Science*, 2014, 35(1): 44-49 (in Chinese with English abstract).
- [38] 王 展,印兆庆. 面粉中淀粉及其组分的质量分数与馒头品质关系的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2005(3): 13-14.
WANG ZH, YIN ZH Q. Study on the relationship between starch components and the quality of steamed bread[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2005(3): 13-14 (in Chinese with English abstract).
- [39] 刘 锐,魏益民,邢亚楠,等. 小麦淀粉与面条质量关系的研究进展[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(5): 1058-1063.
LIU R, WEI Y M, XING Y N, *et al.* Review on the relationship between starch and noodle quality in wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(5): 1058-1063 (in Chinese with English abstract).
- [40] 张玉荣,郭桢祥,王东华,等. 小麦淀粉的理化特性与面条的品质[J]. 粮油食品科技, 2003, 11(4): 15-17.
ZHANG Y R, GUO ZH X, WANG D H, *et al.* The physicochemical property of wheat starch and noodle quality[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2003, 11(4): 15-17 (in Chinese with English abstract).
- [41] MIURA H, TANII S. Endosperm starch properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodles[J]. *Euphytica*, 1993, 72(3): 171-175.
- [42] NODA T, TOHNOOKA T, TAYA S, *et al.* Relationship between physicochemical properties of starches and white salted noodle quality in Japanese wheat flours. [J]. *Cereal Chemistry*, 2001, 78(4): 395-399.
- [43] 梁 灵,魏益民,师俊玲. 小麦淀粉研究概况[J]. 西部粮油科技, 2003, 28(3): 21-25.
LIANG L, WEI Y M, SHI J L. Survey of wheat starch study[J]. *China Western Cereals & Oils Technology*, 2003, 28(3): 21-25 (in Chinese).
- [44] RAVANEL S, GAKIÈRE B, JOB D, *et al.* The specific features of methionine biosynthesis and metabolism in plants[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95(13): 7805-7812.
- [45] WALDEN R, CORDEIRO A, TIBURCIO A F. Polyamines: small molecules triggering pathways in plant growth and development [J]. *Plant Physiology*, 1997, 113(4): 1009-1013.
- [46] 王静超. 多胺与乙烯对水稻籽粒灌浆的调控作用[D]. 江苏扬州:扬州大学, 2013.
WANG J CH. Regulation of polyamines and ethylene to the grain filling of rice[D]. Yangzhou Jiangsu: Yangzhou University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [47] TIBURCIO A F, ALTABELLA T, BORRELL A, *et al.* Polyamine metabolism and its regulation[J]. *Physiologia Plantarum*, 1997, 100(3): 664-674.
- [48] VERMA S, MISHRA S N. Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense system[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2005, 162(162): 669-677.
- [49] CAPELL T, BASSIE L, CHRISTOU P. Modulation of the polyamine biosynthetic pathway in transgenic rice confers tolerance to drought stress[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(26): 9909-9914.

Effects of Polyamines and Ethylene on Grain Quality of Wheat

LI Jia, CHEN Qing, LÜ Xiaokang, LIU Yang and LIAO Yuncheng

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract In order to investigate effect of spermidine (Spd), putrescine (Put) and ethylene (Eth) on quality of wheat grain, two wheat cultivars of ‘Xinong 538’ and ‘Zhoumai 22’ were used as materials. The results showed that spraying Spd at the early stage of grain filling, the contents of albumin, gliadin, glutenin and total protein of two cultivars were increased compared with the control, gluten content, sedimentation value and other processing quality indicators had different degrees of upward trend, amylose content was decreased but did not reach significant level, the quality of wheat was improved. While the effect of Put was opposite but not significant. Eth increased the content of albumin and globulin, but significantly decreased the content of gliadin and gluten as well as the processing quality index such as gluten content and sedimentation value. The results indicated that the quality of wheat grain would be improved to a certain degree by increasing Spd or reducing Put and Eth concentrations in the filling grains through application of chemical regulators.

Key words Wheat; Polyamines; Ethylene; Grain quality

Received 2017-01-09

Returned 2017-03-24

Foundation item National Natural Science Foundation of China (No. 31301260); Agricultural Key Technologies Innovation and R & D Program of Shaanxi province (No. 2016NY-001); Association for Science and Technology Youth Talent Lifting Project of Shaanxi province (No. 20150109); Science and Technology Co-ordination Innovation Project of Shaanxi province (No. 2015KTZDNY01-02).

First author LI Jia, female, master student. Research area: crop physiology. E-mail: 1525453625@qq.com

Corresponding author LIU Yang, male, associate professor. Research area: crop physiology and biochemistry, theory and technology of high yield and good quality cultivation of crops. E-mail: liuyang0328@126.com

LIAO Yuncheng, male, professor. Research area: efficient farming system, crop physiology, agricultural ecosystem. E-mail: yunchengliao@163.com

(责任编辑: 成 敏 Responsible editor: CHENG Min)