

20% 多效唑·甲哌鎓微乳剂防止小麦倒伏和增产机理研究

段留生^{1*}, 李召虎¹, 何钟佩¹, 刁家连¹,
田晓莉¹, 王保民¹, 贾敬业²

(1. 中国农业大学作物化学控制研究中心, 北京 100094; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 冬小麦二棱期喷施植物生长调节剂 20% 多效唑·甲哌鎓微乳剂 375 mL/hm², 可以显著抑制茎秆基部节间伸长, 增加各节间充实度, 其中赤霉素(GA₃)和生长素(IAA)降低, 可显著增强小麦抗倒伏能力和降低田间倒伏率。处理还协调了穗数、穗粒数和粒重的关系, 增产幅度 6.2%~28.6%。增产原因可能在于促进籽粒灌浆强, 增加籽粒中内源 GA₃、IAA、细胞分裂素(CTKs)的水平, 增强了籽粒库活性, 同时促进茎叶中干物质向籽粒运转。

关键词: 小麦; 植物生长调节剂; 倒伏; 产量; 内源激素

中图分类号: S482.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7303(2002)04-0033-07

由于生产条件的不断改善、单产水平的不断提高和气候因素的不利变化, 高产与倒伏的矛盾已成为限制小麦产量持续增长的一个重要因素^[1]。应用多效唑(MET)或矮壮素(CCC)可以有效抑制小麦的株高, 增强抗倒伏能力^[1-3], 但是由于药剂和应用技术等原因, 均未能大面积推广。特别是MET在土壤中残留时间长, 对环境和后茬作物不安全, 容易导致成熟推迟或千粒重降低等问题, 已引起研究者的关注^[2-4]。中国农业大学作物化学控制研究中心研制成功了复合植物生长调节剂 20% 多效唑·甲哌鎓微乳剂(登记证号:L S981418), 并建立了完善的生产应用技术, 在抗倒增产和安全性等方面优于MET和CCC, 已经在生产中大面积推广应用^[4,5]。本文报道该调节剂对小麦倒伏、产量的影响, 并从形态、生理和激素等方面研究了其作用机理, 为生产上稳定应用效果、挖掘增产潜力提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验条件和处理

试验于 1994~1998 年在中国农业大学科学园和北京市农场局生产处试验田进行, 所用冬小麦品种为京冬 6 号、京冬 8 号、京 411、京选偃六等。试验田土质均为壤土。播种、田间管理和收获均按常规进行。

药剂处理: 20% 多效唑·甲哌鎓微乳剂(20% paclobutrazol·mepiquat chloride micro-emulsion, 有效成分为多效唑与甲哌鎓, 配比为 1:5, 以下称 20% P·M ME, 北京北农天风农药有限责任公司生产)用量为 375 mL/hm², 用清水配制成 450 kg/hm² 药液; 喷等量清水为对照(CK)。在春季小麦二棱期(显微镜检查)叶面均匀喷施 1 次。小区面积 24 m², 每处理重复 3 次, 随机排列。

1.2 测定项目和方法

小麦抽穗后, 每小区定期随机取样 20 株, 考查茎秆各节间长度。茎节一部分经液氮固定

作者简介: 段留生(1969-), 男, 山东东明人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事调节剂研制、应用和作用机理研究

基金项目: 国家农业科技成果转化基金(02EFN 216900753)。

后,保存于-40℃低温冰箱中,用于测定内源激素;另一部分烘干称重。

节间干物质转移率(%) = [(节间最大干重 - 收获时节间干重) / 节间最大干重] × 100%

小麦抽穗后到成熟,定期考查产量器官的发育状况和产量构成因素。开花时标记同日开花的麦穗,定期取样,液氮固定后,保存于-40℃低温冰箱中,用于测定内源激素。赤霉素(GA₃)、生长素(IAA)、玉米素(Z+ZR)含量用何钟佩等建立的ELISA法测定^[6]。

小麦单茎致倒力测定:在穗中部挂一小袋,向袋内添加砝码,记载单茎倒至地面时的砝码重量与袋重之和,每小区10株重复测定。田间记载植株倾斜与倒伏程度和面积。

2 结果与分析

2.1 20% P·M ME 对小麦节间长度、干重的影响

20% P·M ME 二棱期处理能显著抑制小麦基部1~3节间伸长,多年试验结果一致。在1994年试验中,处理的基部第1、2、3节间分别较CK缩短9.4%、11.1%、6.0%;1996年处理的,基部第1、2、3节间分别较CK缩短25.0%、7.0%、15.6%。对第4节间和穗下节间抑制作用渐弱,在两年试验中处理的穗下节间都明显比对照提高,茎节总长度与对照差异不显著(表1)。这种效应与多效唑等降低株高的效应显著不同,多效唑在小麦二棱期使用对1~5节间都有显著的抑制效应,总体长度显著降低(数据未列出)。

Table 1 Effects of 20% paclobutrazol·mepiquat chloride ME (P·M ME) on internode length of wheat (cm)

Year	Variety	Treatment	Ordinal number of internode					Total length of internodes
			1	2	3	4	5	
1994	Jingdong 6	CK	7.4	15.3	16.9	22.8	27.2	89.6
		20% P·M ME	6.7*	13.6*	15.9*	22.4	27.6	87.2
		Effect/±%	-9.4	-11.1	-5.9	-1.9	+1.5	-2.7
1996	Jingdong 8	CK	6.0	8.6	11.5	15.0	26.4	67.5
		20% P·M ME	5.5*	8.0*	9.7*	15.7*	27.8*	66.4
		Effect/±%	-25.0	-7.0	-15.6	+4.7	+5.3	-1.6

* Indicates significant difference between treatment and CK. The same as in the following tables

20% P·M ME 处理后小麦各节间单位长度干物质重均显著提高(表2),京冬6号茎基部1~3节间单位长度干物质重分别比对照增加7.5%、10.3%、11.3%,京冬8号分别为30.7%、8.9%、15.5%,与对照比差异均达到显著水平,表明在基部节间缩短的同时充实度显著增加。

2.2 20% P·M ME 对小麦抗倒伏能力的影响

20% P·M ME 处理后,小麦单茎致倒力提高。1996年试验中,京411平均增加1.36g(15.1%),京选偃6平均增加0.86g(8.8%),均达显著水平,表明小麦茎秆抗倒伏能力提高(见表3)。根据在北京多年田间调查情况,20% P·M ME 处理麦田倒伏比例下降60.2%~95.2%,而且植株倾斜的角度较小(见表3),易自然恢复,造成的损失也大幅度降低。

Table 2 Effects of 20% P·M ME on dry weight of wheat internode ($/\text{mg} \cdot \text{cm}^{-1}$)

Year	Variety	Treatment	Ordinal number of internode				
			1	2	3	4	5
1994	Jingdong 6	CK	16.1	12.6	10.6	9.9	6.3
		20% P·M ME	17.3*	13.9*	11.8*	12.3*	7.7*
		Effect/ \pm %	+ 7.5	+ 10.3	+ 11.3	+ 24.2	+ 18.2
1996	Jingdong 8	CK	12.7	11.3	9.7	9.7	6.4
		20% P·M ME	16.6*	12.3*	11.2*	10.2*	6.9*
		Effect/ \pm %	+ 30.7	+ 8.9	+ 15.5	+ 5.2	+ 7.8

Table 3 Effects of 20% P·M ME on force causing lodging per plant and inclination angle

Year	Variety	Treatment	Force causing lodging	Inclination percent	Inclination angle
			$/\text{g}$	$/\%$	$/^\circ$
1995	Jing 411	CK		83.3	
		20% P·M ME		33.3*	
		Effect/ \pm %		- 60.2	
1996	Jing 411	CK	9.01	16.7	20~ 40
		20% P·M ME	10.37*	0.8*	10~ 15
		Effect/ \pm %	+ 15.1	- 95.2	
1996	Jingxuanyan 6	CK	9.77	30.0	
		20% P·M ME	10.63*	8.0*	
		Effect/ \pm %	+ 8.8	- 73.3	

2.3 20% P·M ME 对小麦产量和籽粒发育的影响

2.3.1 20% P·M ME 对小麦产量构成因素的影响 表 4 列出了 1995~ 1996 两年 4 个品种

Table 4 Effects of 20% P·M ME on wheat yield

Year	Variety	Treatment	Ears per hm^2	Grain No.	1 000 G. Wt	Yield
			$/\times 10^4$	per ear	$/\text{g}$	$/\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$
1995	Jing dong 6	CK	558.0	34.0	42.5	6 450.5
		20% P·M ME	597.0*	36.9*	42.9	7 560.5*
		Effect/ \pm %	+ 7.0	+ 8.5	+ 0.94	+ 17.2
1995	Jing 411	CK	550.1	25.6	42.0	5 774.7
		20% P·M ME	572.6	26.8*	42.1	6 453.9*
		Effect/ \pm %	+ 4.1	+ 4.7	+ 0.1	+ 11.8
1996	Jingxuanyan 6	CK	607.5	26.7	38.1	6 498.0
		20% P·M ME	649.5*	27.0	38.5	7 075.0*
		Effect/ \pm %	+ 6.8	+ 1.1	+ 1.1	+ 8.5
1996	Jingdong 8	CK	639.0	26.0	45.5	6 047.5
		20% P·M ME	672.0*	30.2*	47.9*	7 776.8*
		Effect/ \pm %	+ 5.2	+ 16.2	+ 5.0	+ 28.6
1996	Jing 411	CK	694.5	27.3	37.5	7 159.5
		20% P·M ME	669.0	28.8*	38.7*	7 602.0*
		Effect/ \pm %	- 3.7	+ 5.5	+ 3.2	+ 6.2

不倒伏正常收获时的试验结果, 20% P·M ME 处理增产幅度 6.2%~28.6%。除 1996 年京 411 外, 每公顷穗数增加 4.1%~7.0%, 穗粒数增加 1.1%~16.2%, 千粒重增加 0.1%~5.0%, 可见 20% P·M ME 可协调提高小麦穗数、穗粒数、千粒重, 不同品种三因素提高的次序和幅度不同。

2.3.2 20% P·M ME 对籽粒灌浆速度的影响 以每天每穗籽粒干重增加计算, 在花后 0~18 d, 20% P·M ME 处理的穗粒重增长略低于对照, 但差异不显著。18 d 后穗粒灌浆强度加快并显著高于对照, 在开花后 19~27 d、28~31 d, 处理的灌浆强度分别比对照提高 12.44% 和 132.71% (表 5)。

Table 5 Effects of 20% P·M ME on filling intensity of wheat grain (cv. Jingdong 6, 1996) ($\mu\text{g} \cdot \text{ear}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)

Treatment	Days after flowering /d			
	0~10	11~18	19~27	28~31 (Harvest)
CK	31.40	86.75	35.78	26.75
20% P·M ME	30.40*	85.25	48.22*	62.25*
Effect/ \pm %	-3.18	-1.73	+12.44	+132.71

以千粒重增加计算, 20% P·M ME 处理对籽粒灌浆的影响, 与穗籽粒干重增长类似, 也是灌浆初期较对照低, 后期比对照灌浆强度大 (表 6)。

Table 6 Effects of 20% P·M ME on weight of 1 000 grains of wheat (Jing 411, 1996) (g)

Treatment	Date / Month / Day								
	05-24	05-27	05-30	06-02	06-05	06-08	06-11	06-14	06-17
CK	8.5	11.6	20.5	28.2	31.6	40.0	43.2	43.8	43.9
20% P·M ME	8.6	11.2	21.5	29.0	32.8	42.0	44.1	45.6	44.8

2.4 20% P·M ME 对小麦各节间干物质再分配的影响

开花后茎秆积累的非结构性干物质对籽粒产量的贡献约占 10%~25%^[7], 20% P·M ME 处理后, 小麦茎节储存物质向外转移比例较对照显著增加 (见表 7)。京冬 6 号处理的 1~5 节间干物质转移率分别比对照提高 102.8%、169.6%、104.1%、158.3%、368.5%; 京冬 8 号处理的分别比对照提高 52.1%、109.6%、50.8%、72.5%、47.8%, 而且处理茎秆各节间干物质开始转移的时间较 CK 提前了 10 d 左右。

Table 7 Effects of 20% P·M ME on transferring of dry matter of wheat internode (%)

Year	Variety	Treatment	Ordinal number of internode				
			1	2	3	4	5
1994	Jingdong 6	CK	14.1	16.1	21.7	16.8	9.2
		20% P·M ME	28.6*	43.4*	44.3*	43.4*	43.1*
		Effect/ \pm %	+102.8	+169.6	+104.1	+158.3	+368.5
1996	Jingdong 8	CK	23.8*	16.7	26.0	26.9	20.3
		20% P·M ME	36.2*	35.0*	39.2*	46.4*	30.0*
		Effect/ \pm %	52.1	+109.6	+50.8	+72.5	+47.8

2.5 20% P·MME 对茎秆和籽粒中主要激素含量的影响

2.5.1 茎秆 小麦节间的伸长受赤霉素和生长素的促进, 20% P·MME 有效成分多效唑和甲哌鎘均为对赤霉素生物合成有抑制作用^[4,81]的植物生长延缓剂。为深入研究 20% P·MME 的不同节间效应和增产机理, 笔者系统研究了 20% P·MME 对小麦茎节和籽粒中激素的影响。结果(见表 8)显示了第 2 和第 5 节伸长期间赤霉素和生长素含量的变化。在第 2 节间伸长期间, 赤霉素含量和生长素含量均比对照显著降低, 赤霉素下降的幅度为 5%~40%, 生长素下降的幅度为 2.5%~68.7%。而在第 5 节间伸长期间, 处理的赤霉素含量和生长素含量反比对照提高, 这与节间长度缩短或增长是一致的。

2.5.2 籽粒 小麦籽粒灌浆期间库活性和灌浆速率受植物激素的调控, 一般认为 GA_s、IAA、CTKs 都有诱导和促进同化物向籽粒中运输和分配的作用^[8,9]。如表 9 所示, 20% P·MME 处理后, 籽粒发育过程中, GA_s 和 CTKs 含量都大幅度高于对照, IAA 含量在开花后 25~30 d 高于对照, 但是开花后 0~20 d 低于对照。

Table 8 Effects of 20% P·MME on GA_s content and IAA content in 2nd and 5th internode of wheat during their fast-elongation period (cv. Jingdong 6, 1996) ($\mu\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$)

Internode	Homone	Treatment	Days after elongation /d					
			1	4	8	12	16	20
2	GA _s	CK	350	360	400	450	540	780
		20% P·MME	260	320	380	400	410	500
		Effect/±%	- 25.7	- 40.0	- 5.0	- 11.1	- 24.1	- 35.8
	IAA	CK	50	64	71	76	80	80
		20% P·MME	25	20	30	33	55	78
		Effect/±%	- 50.0	- 68.7	- 57.8	- 56.6	- 31.3	- 2.5
5	GA _s	CK	160	180	200	385	465	550
		20% P·MME	180	205	260	400	480	570
		Effect/±%	+ 12.5	+ 13.9	+ 30.0	+ 3.9	+ 3.3	+ 3.7
	IAA	CK	150	160	175	180	200	175
		20% P·MME	160	165	180	200	205	180
		Effect/±%	+ 6.7	+ 3.1	+ 2.9	+ 11.1	+ 2.5	+ 2.9

Table 9 Effects of 20% P·MME on contents of IAA, CTKs, GA_s in wheat grain during filling period (cv. Jingdong 6, 1996) ($\mu\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$)

Homone	Treatment	Days after flowering /d						
		1	5	10	15	20	25	30
GA _s	CK	100	125	150	210	200	125	140
	20% P·MME	310	240	340	350	500	250	250
IAA	CK	130	64	180	220	380	250	80
	20% P·MME	80	60	150	200	350	230	125
CTKs	CK	200	180	210	220	230	180	60
	20% P·MME	700	600	480	550	530	420	300

3 讨论

小麦抗倒伏能力与植株高度、特别是基部节间的长度有关。同时大量小麦育种和栽培生理试验证明,小麦茎秆是产量和品质的重要物质来源,穗下节间长度与产量呈高度正相关^[1,2,7]。以往应用多效唑等延缓剂防止倒伏的研究多是以降低株高为主,虽然可有效防止倒伏,但常对产量无积极作用^[2,3]。本试验适时适量应用 20% P·M ME,显著缩短了小麦基部节间长度并提高充实度,可以增强小麦抗倒伏能力。与多效唑等不同的是,20% P·M ME 处理只抑制基部三节间伸长,但对上部节间(4~5 节间)生长不表现抑制效果,甚至长度比对照还增加了(“反跳”),总体上株高不降低。这样既达到理想防倒效果,同时从形态和生理上都有利于群体光合作用、物质积累和产量形成。

小麦二棱期施用 20% P·M ME,对直接构成小麦产量的单位面积穗数、穗粒数、千粒重都有显著影响。处理增加单位面积穗数,使结实小穗和粒数增加,穗粒重提高,因而不发生倒伏时,也稳定增产。处理后穗粒重和单粒重增加在籽粒发育前期较低,可能是对籽粒库活性(主要是同化产物积累能力)的调节与穗粒数增加不十分协调。而籽粒发育后期,在穗粒数高出对照的条件下,仍表现出较高的灌浆强度。同时茎秆积累物质的再分配效率显著提高,叶片同化物合成输出能力也显著改变(另文发表)。可见 20% P·M ME 对小麦整株生长发育和生理活性,特别是源库器官活性及其协调关系产生了综合影响。

植物激素是植物体内重要的信号系统,本试验应用植物生长调节剂调节植物激素系统,同时结合植物农艺性状形成的生理机制,实现对小麦的定向定量调控,有效解决了生产问题。20% P·M ME 有效成分多效唑和甲哌隆均为植物生长延缓剂,对赤霉素生物合成有抑制作用^[4,8]。在所抑制的基部节间(第 2 节间)伸长期间,赤霉素含量和生长素含量均比对照显著降低,而在上部节间(第 5 节间)伸长期间,处理的赤霉素含量和生长素含量反比对照提高。小麦节间伸长受赤霉素和生长素促进^[8],20% P·M ME 处理后这种激素的变化可能是节间长度变化的重要原因。在上部节间出现的生长“反跳”效应,也可以从激素合成上得到解释。在 1~3 节间伸长期,20% P·M ME 效应较强,有效抑制了赤霉素生物合成,同时造成抑制点以前的中间物的积累。到第 4~5 节间伸长时,20% P·M ME 在植物体内残存量 and 效应减弱,而抑制位点前底物积累会加速赤霉素的合成。

小麦籽粒灌浆期间库活性和灌浆速率受植物激素的调控,一般认为早期 CTKs、GA_s 与籽粒建成密切相关,IAA、CTKs 和 GA_s 都有诱导和促进同化物向籽粒中运输和分配的作用^[9]。20% P·M ME 处理后,在籽粒发育过程中 GA_s 和 CTKs 含量都大幅度高于对照,在籽粒发育后期(开花后 25~30 d) IAA 显著高于对照,可能与此时的快速灌浆有关。

参考文献:

- [1] 山东农学院 作物栽培学(北方本) [M]. 北京: 农业出版社, 1980
- [2] 梁振兴, 梅楠. 多效唑对小麦的形态和生理效应 [J]. 北京农学院学报, 1986, (2): 115-121
- [3] 王熹. 作物化控原理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997
- [4] 何钟佩, 田晓莉, 段留生. 植物激素生理及化学控制 [M]. 北京: 中国农业大学, 1997. 91-134
- [5] 于运华. 北农化控 II 号对小麦茎秆生长和产量器官发育的调节效应 [J]. 西南农业学报, 1995, 8(2):

46-52

- [6] 何钟佩. 作物化学控制实验指导 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993
- [7] Pheoung P C, Siddique K H M. Contribution of stem-dry-matter to grain yield in wheat cultivars [J]. *Austr J Plant Physiol*, 1991, 18: 53-57.
- [8] Davies P J. Plant Hormone: Physiology, Chemistry and Molecular Biology [M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995
- [9] 段留生, 韩碧文, 何钟佩. 小麦籽粒发育期碳氮源库关系的激素调控 [A]. 白克智. 植物生长物质和除草剂研究及应用研究进展 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998. 19-25

Effects of 20% Paclobutrazol · Mepiquat Chloride Micro-emulsion on Lodging Resistance and Yield of Winter Wheat and Its Physiological Mechanism

DUAN Liu-sheng^{1*}, LI Zhao-hu¹, HE Zhong-pei¹, DAO Jia-lian¹,
TIAN Xiao-li¹, WANG Bao-min, JIA Jing-ye²

(1. Center for Crop Chemical Regulation, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Research Center for Eco-environmental Sciences, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: The effects of 20% paclobutrazol · mepiquat chloride micro-emulsion (20% P · M ME), a new plant growth regulator, sprayed at the early double-ridge stage, on lodging resistance and yields of winter wheat were studied. The length and the dry weight per unit length of basal internodes were significantly increased, while both the lodging ratio and inclination angle under field condition were reduced. These effects might be caused by the declining of GA₃ content and IAA content. All the ear number per hm², grain number per ear, grains weight were improved, and the yield was increased by 6.2% ~ 28.6%. It was indicated that 20% P · M ME could accelerate grain filling after the mid-milky stage, and the contents GA₃ and Z+ZR in the whole period of grain development were higher than control. But the content of IAA was lowered in the earlier stage while increased after 18 days after flowering. All the changes of levels of GA₃, CTKs and IAA, promotion of source activity and filling rate, stimulation of assimilates exportation from stalks and leaves might be attributed to the effects of 20% P · M ME on yields.

Key words: winter wheat; plant growth regulator; lodging; yield; plant hormone