

常乐, 王丽霞, 郭二虎, 等. 几种植物生长调节剂对春谷生长发育及产量的影响 [J]. 福建农业学报, 2020, 35 (12): 1296–1303.

CHANG L, WANG L X, GUO E H, et al. Effect of Plant Growth Regulators on Growth and Yield of Spring Foxtail Millet [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 35 (12): 1296–1303.

几种植物生长调节剂对春谷生长发育及产量的影响

常 乐¹, 王丽霞^{2*}, 郭二虎², 张艾英²

(1. 长治职业技术学院, 山西 长治 046000; 2. 山西农业大学山西省农业科学院
谷子研究所, 山西 长治 046000)

摘 要:【目的】筛选出能有效降低春谷株高, 提高其抗倒伏能力的植物生长调节剂及其最佳喷施期, 并探讨不同药剂对春谷生长发育和产量的影响。【方法】分别于苗期、拔节期, 对中晚熟区春谷 (长生 07) 喷施 5 种植物生长调节剂 (缩节胺、多效唑、赤霉素、矮壮素、乙烯利), 并设置清水对照 (CK)。于灌浆期、成熟期测定各处理谷子叶绿素、光合速率、干物质积累量, 以及主要农艺性状、产量等指标。【结果】(1) 在春谷苗期和拔节期喷施矮壮素、多效唑、缩节胺 3 种药剂, 都能不同程度地矮化植株, 增加茎粗, 调节次生根数和根重; 提高叶片的叶绿素含量, 增强光合效率。其中: 苗期施用效果优于拔节期, 并以矮壮素的效果最佳, 与 CK 相比, 苗期施用矮壮素处理的株高显著降低 (-8.16%), 茎粗 (+6.67%)、次生根数量 (+18.18%) 和净光合效率 (+16.07%) 均显著增加 ($P < 0.05$), 产量也有所增加 (2016 年 +5.58%, 2017 年 +5.67%)。多效唑的效果次之, 与 CK 相比, 在苗期、拔节期喷施多效唑, 株高分别降低 4.19%、2.24%, 茎粗分别增加 5.00%、3.21%, 根重分别增加 34.3%、30.4% ($P < 0.05$)。缩节胺对株高和茎粗影响效果较为有限。(2) 拔节期喷施乙烯利也能达到矮化和增产的效果, 与 CK 相比, 茎粗增加 5.38%, 次生根数增加 21.21%, 根重增加 39.6%, 穗干重和地上部干重均增加 8.54%, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$), 但叶绿素含量和净光合速率均降低。【结论】中晚熟区春谷可通过在苗期喷施多效唑、矮壮素, 或于拔节期喷施乙烯利等措施, 使现有品种株高降低、茎粗增加, 从而适合机械栽培, 并达到增强抗倒伏能力和增产目的。

关键词: 植物生长调节剂; 春谷; 生长发育; 干物质; 产量

中图分类号: S 515

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2020) 12-1296-08

Effect of Plant Growth Regulators on Growth and Yield of Spring Foxtail Millet

CHANG Le¹, WANG Lixia^{2*}, GUO Erhu², ZHANG Aiyang²

(1. Changzhi Professional Technique Academy, Changzhi, Shanxi 046000, China; 2. Shanxi Agricultural University/Shanxi Academy of Agricultural Sciences. Millet Research Institute, Changzhi 046000, Shanxi, China)

Abstract: 【Objective】 Various plant growth regulators (PGRs) capable of reducing plant height and improve lodging resistance without affecting crop yield were tested on the spring foxtail millet. Optimal spraying time of the selected agents were determined based on the effects on growth, development, and yield of the plants after the treatments. 【Method】 On the spring foxtail millet, Changsheng 07, at the seedling or jointing stage, 5 PGRs for the treatment, as well as water as control, were sprayed separately. At booting and maturity stages, chlorophyll, photosynthetic rate, dry matters accumulation, major agronomic traits, and yield of the plants were measured for comparison. 【Result】 Among PGRs applied, chlormequat, paclobutrazol, and mepiquat chloride were found to dwarf the plants in varying degrees. The treatments increased the stem diameter, altered the secondary root number and weight, improved the lodging resistance, and increased the chlorophyll content and photosynthetic rate of the plants over control. Even the crop yield rose under the treatments as the plant tissues continued to propagate and accumulate at the booting stage. Spraying of the PGRs at seedling stage produced greater effects than at jointing stage, and the chlormequat application was more effective than the other PGRs. Compared to control, the treated plants were significantly shorter on height (decreased by 8.16%), larger in stem diameter (increased by 6.67%), more secondary roots with

收稿日期: 2020-04-03 初稿; 2020-08-29 修改稿

作者简介: 常乐 (1981-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事生物技术及作物栽培研究 (E-mail: 80296068@qq.com)

* 通信作者: 王丽霞 (1983-), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事谷子育种栽培及植物保护研究 (E-mail: gzswlx1983@163.com)

基金项目: 国家现代产业技术体系建设专项 (CARS-06-13.5-A21); 华北丘陵区谷子优质高效轻简栽培技术集成与示范 (2020YFD1000803-2); 山西省农业科学院农业创新研究课题特色产业重点研发专项 (YCX2019T05)

count increased (rose by 18.18%), greater net photosynthetic efficiency (higher by 16.07%) ($P<0.05$), and higher yield with 5.58% increase in 2016 and 5.67% in 2017. Less effective than chlormequat, paclobutrazol sprayed at seedling stage caused a plant height reduction of 4.19%, a stem girth enlargement of 5.00%, and a root weight increase of 34.3%, while at the jointing stages, those of 2.24%, 3.21%, and 30.4%, respectively, in comparison to those of control. Among the three agents, mepiquat chloride was least effective in dwarfing the plant. After spraying at the seedling and jointing stages, the plant height decreased merely by 2.31% and 0.79%, respectively, while the stem thickness increased by 4.1% and 1.67%, respectively, over control. The application of ethephon at jointing stage also significantly dwarfed the plant with a 5.38% increase on stem thickness, 21.21% increase on secondary root count, 39.6% increase on root weight, 8.54% increases on dry matters and aboveground plant weights, but significant decreases on chlorophyll content and net photosynthetic rate, over control. 【Conclusion】 The plant height and stem girth of the existing mid-and-late-maturing spring foxtail millet cultivars could be altered by spraying chlormequat or paclobutrazol at seedling stage or ethephon at jointing stage to facilitate mechanical cultivation, increase lodging resistance, and improve yield of the hay stock.

Key words: plant growth regulator; spring foxtail millet; growth and development; dry matters; yield

0 引言

【研究意义】谷子 *Setaria italica* (L.) Beauv. 起源于中国, 具有高效利用水分、营养丰富且成分均衡、粮饲兼用等特征, 是水资源匮乏时的战略储备作物, 同时也是膳食结构调整、平衡营养的特色杂粮作物之一^[1-5]。随着农业产业结构调整和人民生活水平的提高, 谷子需求量不断增加, 近年来种植面积逐渐扩大^[6-10], 规模种植效益凸显^[11]。与玉米、小麦等大宗作物相比, 谷子生产过程机械化程度还不高, 离农机一体化、全程机械化等目标还有较大差距^[12-15]。因此, 降低谷子主栽品种株高且不减产是实现谷子生产农机一体化、全程机械化首先要克服的难题, 而应用化控手段是降低作物株高的重要方法。因此, 研究植物生长调节剂在谷子生产上的应用及调控机理, 对提高谷子机械化程度具有重要意义。【前人研究进展】前人对植物生长调节剂在水稻、玉米、小麦等作物上的应用进行了大量研究, 在提高作物品质、产量, 以及在矮化植株、生根壮苗、增强抗倒伏能力、调节开花结实时间等方面取得了诸多成果^[16-22]。目前, 植物生长调节剂在谷子的应用研究主要集中在杂交谷和夏谷。麻慧芳等^[23]研究表明, 植物生长调节剂和叶面肥可以解决谷子生产上遇到的早衰问题, 特别是对现在大面积推广的杂交谷子效果更好。夏雪岩等^[24]筛选了适合谷子杂交种防早衰的植物生长调节剂和叶面肥。【本研究切入点】春谷株高较夏谷高, 抗倒伏能力弱, 农机农艺配套集成的难度相对更高; 有关植物生长调节剂在春谷上的应用研究少见报道, 特别是在山西长治地区谷子上的相关研究还未见报道。【拟解决的关键问题】探讨 5 种植物生长调节剂对春谷生长发育和产量的影响, 筛选适当的植物生长调节剂及

喷施时期, 旨在为谷子生产中农机农艺配套集成技术提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试春谷品种为长生 07。试验地点在山西省长治市壶关县西庄村, 前茬玉米。供试药剂、成分和生产厂家见表 1。

1.2 试验方法

分别于 2016 年、2017 年的 5 月中旬播种。间苗定苗后, 分别于拔节前 (苗期) 和拔节初期 (拔节期) 喷施各药剂和清水对照。随机区组设计, 各小区 7 行、行长 3.5 m、行距 0.4 m, 面积 9.8 m², 3 次重复。药剂使用剂量按生产厂家推荐配比。田间管理同常规。

1.3 测定项目

1.3.1 农艺性状调查与小区测产 在春谷灌浆期、成熟期, 各小区在中间行约 1 m 长中取均匀一致的 5 个单株, 调查农艺性状, 将各营养器官分开, 称量鲜重; 于烘箱 105 ℃ 杀青 30 min 后调至 80 ℃ 烘干, 至恒重后称量干重。于成熟期, 去边行后取中间 6 m² (3 m×2 m) 的谷穗, 测小区产量, 折算每公顷产量。

1.3.2 SPAD 值和光合速率测定 春谷抽穗后, 各处理选长势均匀的 5 株挂标签。用叶绿素测定仪 SPAD-502 测倒二叶叶绿素含量 (SPAD 值), 各叶取 10 个点测定, 取平均值。开花后, 取倒二叶用美国产 CIRAS-2 型光合速率仪测定净光合速率 (net photosynthetic rate, Pn), 取平均值。

1.4 数据分析

数据处理用 SPSS19.0 统计分析软件进行方差分析和差异显著性检验, 采用 Excel 2003 作图。

表 1 试验用药剂
Table 1 PGRs used in experimentation

处理 Treat-ment	药剂 Plant Growth Regulator	有效成分含量及剂型 Component	生产厂家 Manufacturer
A	缩节胺 Mepiquat chloride	98%粉剂 98% Powder	山东聊城亿丰农用化工有限公司 Shandong Liaocheng Yifeng Agricultural Chemical Co., Ltd.
B	多效唑 Paclobutrazol	15%可湿性粉剂 15% Wettable powder	江苏剑牌农化股份有限公司 Jiangsu Jianpai Agrochemical Co., Ltd.
C	赤霉酸 Gibberellic acid	75%结晶粉 75% Crystalline powder	上海同瑞生物科技有限公司 Shanghai Tongrui Biotechnology Co., Ltd.
D	矮壮素 Chlormequat chloride	50%水剂 50% Water Aqua	安阳全丰生物科技有限公司 Anyang Quanfeng Biotechnology Co., Ltd.
E	乙烯利 Ethephon	30%水剂 30% Water Aqua	福建浩伦生物工程技术有限公司 Fujian Haolun Bioengineering Technology Co., Ltd.
CK	清水对照 Water control		

2 结果与分析

2.1 植物生长调节剂对春谷主要农艺性状的影响

对株高的影响：由表 2 可见，除 C 处理能使植株略增加株高外，其他处理均不同程度使植株矮化。其中：除 E 处理外，其他药剂处理在苗期施药

对植株矮化的效果均优于在拔节期施药。D 处理矮化效果最显著，在苗期和拔节期施用矮壮素的处理，株高分别降低 8.16% 和 5.34%，均比 CK 显著变矮 ($P<0.05$)。

表 2 不同处理施药后春谷植株农艺性状比较
Table 2 Agronomic characteristics of plants sprayed by PGRs

处理 Treatment	株高 Plant height/cm		茎粗 stem diameter/cm		次生根数 Secondary roots		根干重 Dry weight of root/g	
	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage
A	135.3 b	137.4 b	8.12 ab	7.93 b	34 bc	30 d	2.77 b	2.60 bc
B	132.7 bc	135.4 bc	8.19 ab	8.05 ab	40 a	32 cd	3.36 a	3.26 a
C	140.0 a	142.6 a	7.55 bc	7.52 c	35 b	32 cd	3.27 a	3.13 b
D	127.2 c	131.1 c	8.32 a	8.16 ab	39 a	36 b	2.86 b	2.49 c
E	138.2 ab	134.7 bc	8.02 ab	8.22 a	34 bc	40 a	2.68 bc	3.49 a
CK	138.5 ab	138.5 ab	7.80 b	7.80 bc	33 bc	33 c	2.50 c	2.50 c

注：(1) 表中同列数据后无相同小写字母表示差异达显著水平 ($P<0.05$)，表 3-5 同；(2) 表中数据为 2016 年和 2017 年两年平均值，表 3 同。
Note: (1) The absence of the same lowercase letter after data in the same column indicates significant differences at $P<0.05$ level. The same as Table 3-5. (2) The data in the table is the two-year average of 2016 and 2017. The same as Table 3.

对茎粗的影响：与 CK 相比，除 C 处理外，其余药剂处理的鞘茎均有不同程度增粗。E 处理于拔节期施药的茎粗比 CK 增加 5.38% ($P<0.05$)，效果好于苗期施药 (+2.82%)；其余药剂处理均为苗期施药比拔节期施药效果更佳，其中：苗期喷施矮壮素 (D 处理) 的效果最好，茎粗为 8.32 cm，比 CK 处理增加 6.67%，差异显著 ($P<0.05$)，其余药剂处理的茎粗与 CK 处理差异均不显著。

对次生根数的影响：与 CK 相比，B 处理和 D 处

理苗期施药的次生根数显著增多 ($P<0.05$)，其余各药剂处理苗期施药的次生根数也有不同程度增多，但差异不显著；E 处理和 D 处理拔节期施药的次生根数显著增多 ($P<0.05$)，其余药剂处理拔节期施药的次生根数有所减少，其中 A 处理与 CK 相比显著减少 ($P<0.05$)，其他处理差异不显著。

对根干重的影响：苗期施药的各药剂处理，根干重均有不同程度增加，B 处理、C 处理、D 处理、A 处理的根干重均比 CK 显著增加 ($P<0.05$)；拔

节期喷药的各药剂处理，除 D 处理（差异不显著）外，其余药剂处理的根干重均不同程度增加，其中 E 处理、B 处理、C 处理与 CK 差异均达显著水平（ $P<0.05$ ）。

综上结果，苗期施用缩节胺（A）、多效唑（B）、矮壮素（D）对植株矮化、鞘茎增粗效果均优于拔节期施药。其中矮壮素（D）矮化效果最好。乙烯利（E）于拔节期施用，鞘茎增粗效果优于苗期施药。苗期施用多效唑（B）、矮壮素（D），次生根数显著增多。拔节期施用矮壮素（D）和乙烯利（E），次数根数显著增多。无论是苗期还是拔节期施用多效唑（B）、矮壮素（D）、乙烯利（E），都能使根干重显著增加，缩节胺（A）仅在苗期施用使根干重显著增加。

2.2 不同处理对春谷干物质积累的影响

由表 3 可见，苗期施药，不同处理地上部干物质积累量高低顺序为：B、A、D、C、CK、E。其中，A 处理和 B 处理地上部干物质总量相近，分别为 52.57 g 和 52.84 g，分别较 CK 增加 4.70% 和 5.24%。其中，A 处理和 B 处理的穗干重分别为 28.50 g 和 28.21 g，分别较 CK 增加 8.12% 和 7.02%，有显著差异（ $P<0.05$ ）。B 处理的叶干重为 9.47 g，较 CK 增加 22.04%，B 处理的叶干重与其他处理均有显著差异（ $P<0.05$ ）。B 处理的鞘干重为 4.51 g，较 CK 增加 14.18%，有显著性差异（ $P<0.05$ ）。各处理的茎干重与 CK 均无显著差异。

表 3 不同处理对春谷干物质积累的影响
Table 3 Effect of spraying PGRs on dry matter accumulation in millet plants

处理 Treat-ment	穗 Plant height/g		叶 Thick stem/g		鞘 Secondary roots/g		茎 dry weight of root/g		地上部 over ground part/g	
	苗期	拔节期	苗期	拔节期	苗期	拔节期	苗期	拔节期	苗期	拔节期
	Seedling stage	Jointing stage	Seedling stage	Jointing stage	Seedling stage	Jointing stage	Seedling stage	Jointing stage	Seedling stage	Jointing stage
A	28.50 a	28.29 a	8.01 b	7.12 bc	3.96 b	4.06 ab	12.10 ab	11.90 b	52.57 a	51.37 ab
B	28.21 a	27.66 ab	9.47 a	7.93 b	4.51 a	4.07 ab	10.65 ab	12.95 a	52.84 a	52.61 ab
C	27.40 ab	24.20 c	7.85 bc	7.06 bc	4.16 ab	3.83 bc	11.17 ab	11.33 b	50.58 b	46.42 c
D	26.98 ab	26.38 b	7.72 bc	8.02 b	4.09 ab	3.98 b	11.85 ab	11.19 b	50.63 b	49.57 bc
E	24.43 c	28.61 a	7.48 bc	8.73 a	3.81 bc	4.25 a	11.95 ab	12.91 a	47.67 c	54.50 a
CK	26.36 b	26.36 bc	7.76 bc	7.76 bc	3.95 b	3.95 b	12.14 a	12.14 ab	50.21 bc	50.21 b

拔节期施药，不同处理地上部干物质积累量高低顺序为：E、B、A、CK、D、C。其中，E 处理的地上部干物质总量为 54.50 g，较 CK 增加 8.54%，差异显著（ $P<0.05$ ）。E 处理和 A 处理的穗干重相近，分别为 28.61 g 和 28.29 g，分别较 CK 增加 8.54% 和 7.32%，有显著差异（ $P<0.05$ ）。E 处理的叶干重为 8.73 g，较 CK 增加 12.5%，有显著差异（ $P<0.05$ ）；鞘干重为 4.25 g，较 CK 增加 7.59%，差异显著（ $P<0.05$ ）。各处理茎干重均无显著差异。

综上结果，苗期施用缩节胺（A）、多效唑（B），能显著提高植株穗干重和地上部干物质积累量。苗期施用多效唑（B）能显著提高叶干重，苗期施用各药剂对茎干重影响不大。拔节期施用乙烯利（E），植株穗干重、叶干重、鞘干重及地上部干物质积累量均显著提高；施用缩节胺（A）亦可显著提高穗干重；拔节期施用各药剂对茎干重影响不大。

2.3 不同处理对春谷产量及产量构成因素的影响

对产量的影响：由表 4、5 可知，2016 年和 2017 年两年的产量略有差别，但规律一致，苗期施

药比拔节期施药对春谷产量的影响更大。苗期施药，2016 年各处理春谷产量依次为 A、B、D、C、CK、E，除 E 处理产量略有降低但未至显著水平外，其余处理均增产，其中：A 处理和 B 处理分别较 CK 增产 13.46% 和 10.38%，差异均达显著水平（ $P<0.05$ ）。2017 年各药剂处理均较 CK 增产，产量依次为 B、A、D、C、E、CK，其中：B 处理、A 处理和 D 处理分别较 CK 增产 10.71%、5.93% 和 5.67%，差异均达显著水平（ $P<0.05$ ）。拔节期施药，两年各处理春谷产量顺序表现不完全一致，但均以 E 处理最高、C 处理最低，2016 年和 2017 年 E 处理分别较 CK 增产 8.76% 和 7.59%，C 处理分别较 CK 减产 7.98% 和 6.19%，差异均达显著水平（ $P<0.05$ ）。综上结果，苗期喷施不同的植物生长调节剂，除乙烯利（E）外，其余各药剂均能起到增产作用，其中多效唑（B）和缩节胺（A）增产效果最佳；而拔节期喷施乙烯利（E）增产效果最佳。

苗期施药对穗重、穗粒重的影响：2016 年除 E 处理的穗重、穗粒重较 CK 有所降低（ $P>0.05$ ）

表 4 2016 年不同处理对春谷产量及产量构成因素的影响
Table 4 Effects of spraying PGRs on millet yield and yield factors in 2016

处理 Treat-ment	穗重 Ear weight/g		穗粒重 Ear grain weight/g		产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)		出谷率 Milled milletpercentage/%	
	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage
A	27.40 a	25.28 ab	23.18 a	21.64 ab	5 215.50 a	4 869.00 ab	84.60 ab	85.60 a
B	26.04 a	25.31 ab	22.55 a	21.57 ab	5 073.75 a	4 853.25 ab	86.60 a	85.22 a
C	24.82 b	21.69 c	21.32 ab	18.80 bc	4 797.00 b	4 230.00 c	85.90 ab	86.68 a
D	25.31 ab	23.26 bc	21.57 ab	19.59 bc	4 853.25 b	4 407.75 bc	85.22 ab	84.22 ab
E	23.45 bc	26.16 a	20.20 b	22.22 a	4 545.00 bc	4 999.50 a	86.14 a	84.94 ab
CK	24.29 b	24.29 b	20.43 b	20.43 b	4 596.75 bc	4 596.75 b	84.11 b	84.11 ab

表 5 2017 年不同处理对春谷产量及产量构成因素的影响
Table 5 Effects of spraying PGRs on millet yield and yield factors in 2017

处理 Treat-ment	穗重 Ear weight/g		穗粒重 Ear grain weight/g		产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)		出谷率 Milled milletpercentage/%	
	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage
A	28.83 ab	27.72 b	20.37 ab	19.41 ab	4 583.25 b	4 367.25 b	70.66 ab	70.02 ab
B	29.95 a	27.89 b	21.29 a	19.46 ab	4 790.25 a	4 378.50 b	71.09 ab	69.77 ab
C	27.60 b	24.89 c	19.78 b	18.04 bc	4 450.50 bc	4 059.00 c	71.67 ab	72.48 a
D	29.15 a	26.76 bc	20.32 ab	18.69 bc	4 572.00 b	4 205.25 bc	69.71 ab	69.84 ab
E	26.51 bc	29.02 a	19.66 b	20.69 a	4 423.50 bc	4 655.25 a	74.16 a	71.30 ab
CK	26.93 bc	26.93 bc	19.23 b	19.23 b	4 326.75 c	4 326.75 b	71.41 ab	71.41 ab

外，其余各药剂处理的穗重、穗粒重均有增加，其中：A 处理和 B 处理的穗重分别较 CK 增加 12.8% 和 7.82%，差异显著 ($P<0.05$)；穗粒重分别较 CK 增加 13.46% 和 10.38%，差异显著 ($P<0.05$)。2017 年施药，除 E 处理的穗重较 CK 略降低外，其余药剂处理的穗重、穗粒重均有增加，其中：B 处理的穗重、穗粒重分别较 CK 增加 11.21%、10.71%，差异显著 ($P<0.05$)；D 处理的穗重较 CK 增加 8.24%，差异显著 ($P<0.05$)。

拔节期施药对穗重、穗粒重的影响：除 C 处理和 D 处理的穗重、穗粒重均有所降低外，其余药剂处理均有增加，其中：2016 年，E 处理的穗重、穗粒重分别较 CK 增加 7.7%、8.76%，差异显著 ($P<0.05$)；2017 年，E 处理的穗重、穗粒重分别较 CK 增加 7.76%、7.59%，差异显著 ($P<0.05$)。

对出谷率的影响：不同时期喷施不同药剂后出谷率略有增减，但均未达显著水平。2016 年的出谷率 (84.11%~86.68%) 与 2017 年 (69.71%~74.16%) 相差较大。这与 2017 年灌浆后期雨水较多影响灌

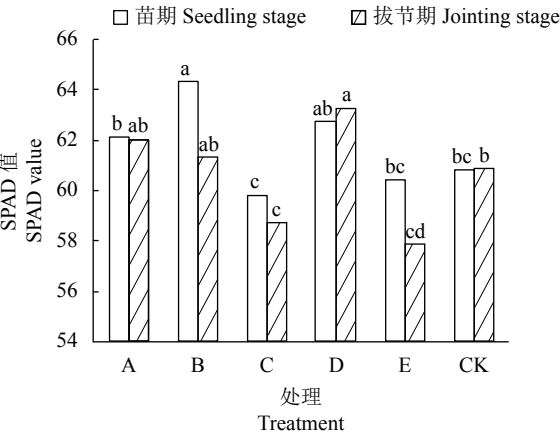
浆，导致秕籽较多有关。

2.4 不同处理对春谷灌浆期叶绿素 SPAD 值的影响

由图 1 可见，与 CK 相比，除 C 处理和 E 处理有所降低外，其他药剂处理的叶绿素含量均有不同程度提高。其中：苗期施药，B 处理的 SPAD 值最高，为 64.3，较 CK 增加 5.76%，差异显著 ($P<0.05$)；D 处理 (62.7) 和 A 处理 (62.1) 分别较 CK 增加 3.13% 和 2.14%，差异不显著。拔节期施药，D 处理的 SPAD 值最高，为 63.2，较对照增加 3.95%，差异显著 ($P<0.05$)；A 处理 (62.0) 和 B 处理 (61.3) 分别较 CK 增加 1.97% 和 0.82%，差异均不显著。综上结果，无论是苗期还是拔节期施用多效唑 (B)、矮壮素 (D)、缩节胺 (A)，都有增加春谷叶片叶绿素含量的作用。

2.5 不同处理对春谷光合作用的影响

由图 2 可见，与 CK 相比，除 C 处理和 E 处理的叶片净光合速率 (P_n) 降低外，其他药剂处理不同程度提高。其中：苗期施药，D 处理和 A 处理的净光合速率分别为 $18.20\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $17.46\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，分



注：(1) 相同生育期不同处理间无相同小写字母表示差异达显著水平 ($P<0.05$)；(2) 图中数据为 2016 年和 2017 年两年平均值。图 2 同。

Note: (1) Data with different lowercase letters for same growth period indicate significant difference at $P<0.05$. (2) The data in the figure is the two-year average of 2016 and 2017. The same as figure 2.

图 1 不同处理对春谷叶绿素 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of spraying PGRs on chlorophyll SPAD of millet leaves

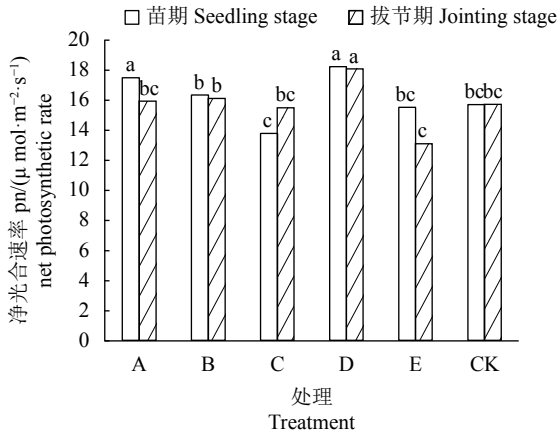


图 2 不同处理对春谷净光合速率的影响

Fig. 2 Effects of spraying PGRs on net photosynthetic rate of millet plants

别比 CK 提高 16.07% 和 11.35%，差异显著 ($P<0.05$)；B 处理 ($16.32\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 较 CK 提高 4.08%，C 处理 ($13.76\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 较 CK 降低 12.24%，差异显著 ($P<0.05$)；其他药剂处理与 CK 差异不显著。拔节期施药，D 处理的净光合速率最高，为 $18.04\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，较 CK 增加 15.05%，差异显著 ($P<0.05$)；其他药剂处理与 CK 差异均不显著。从本试验结果来看，无论是苗期还是拔节期，施用多效唑 (B)、矮壮素 (D)、缩节胺 (A)，对春谷叶片光合作用都有促进作用。

3 讨论与结论

植物生长调节剂对植株生长发育的每个环节，

如光合作用、呼吸作用、物质吸收与运转等都有影响，且药剂用量小、见效快、效益高、残毒少^[25-26]。本研究分析了在春谷发育不同时期，喷施缩节胺、多效唑、矮壮素、乙烯利、赤霉素等 5 种植物生长调节剂后，对其叶绿素、光合速率、干物质积累、农艺性状、产量等指标的影响，探讨不同植物生长调节剂应用于春谷生产的效果。

苗期喷施矮壮素可显著降低株高 (−8.16%)，增加茎粗 (+6.67%)、次生根数 (+18.18%)，提高抗倒伏能力；亦能增加叶片叶绿素含量 (+3.13%)，提高净光合效率 (+16.07%)，为植株提供更多的同化物，达到增产效果。这与夏雪岩^[24]的研究结果一致。对于春谷而言，在苗期喷施矮壮素比在拔节期效果更好。这与夏雪岩^[27]等在夏谷拔节初期喷施效果更好的研究结果正好相反。究其原因可能是春谷与夏谷播种时间不同，药剂作用于生长锥的时间不同。春谷播种早，苗期持续时间长，小苗时喷药对生长锥的作用时间长。而夏谷的播种期正值夏季高温高湿时节，谷苗生长快、苗期短，因此在拔节期喷施药剂作用于生长锥的时间长于苗期。春谷在拔节期喷施矮壮素，虽对一些农艺性状、光合特性指标有提高作用，但穗重、穗粒重明显减少，影响穗发育，造成减产。

从多效唑对植株生长的抑制作用看，苗期、拔节期喷施多效唑后，株高分别比对照降低 4.19%、2.24%；茎粗分别比对照增加 5.00%、3.21%，具有提高抗倒伏能力的作用。这与聂荫恩^[28]结论一致。苗期喷药能显著增加 21.21% 的次生根数，苗期、拔节期喷施显著增加 34.3%、30.4% 的根重。苗期喷施亦可显著增加地上部干重 5.24%，显著增加叶、鞘干重 (22.04%、14.08%)。从各项结果来看，苗期喷施多效唑的影响均比拔节期更大。

缩节胺也能起到降低株高增加茎粗的作用，但相比多效唑来说效果更弱。苗期、拔节期喷施缩节胺后，株高仅比对照降低 2.31%、0.79%；苗期处理茎粗增加 4.1%，拔节期处理仅增加 1.67%。这与庄云等^[29]、雒景吾^[30]的研究结果一致。

拔节期喷施乙烯利相比苗期施用，植株矮化效果更好，茎粗较对照显著增加 (5.38%)，次生根数显著增加 (21.21%)，根重显著增加 (39.6%)，穗干重和地上部干重均显著增加 8.54%，但叶绿素含量和净光合速率均降低。说明乙烯利有促进叶片衰老和籽粒催熟作用。针对目前谷子机械化收割，存在收获时叶片未黄衰易缠绕，造成收获损失、杂质较多等问题，可考虑在成熟末期喷施乙烯利，使叶片

早失绿,促进籽粒成熟,以利于机械化收获。

赤霉素能使植株株高增加,但不能增加叶片的叶绿素含量和光合速率,这与麻慧芳^[23]研究结果一致。从其苗期喷施可使穗重、穗粒重增加,从而达到增产作用看,可考虑将其用于提高杂交种的结实率方向。

本研究仅限于在中晚熟春谷区的试验,某些方面与对夏谷的研究结果差异很大,这可能与春谷和夏谷播种季节不同且属于不同生态区,对药剂的敏感性存在差异有关。本试验仅按推荐量进行,且受试验地安排影响,面积偏小,今后尚须进一步扩大试验面积进行后续试验验证,并期待深入探讨使用时期和剂量的实际效果,以及从 SOD、MDA、ROS 和可溶性蛋白等生理生化指标的角度进行深入研究。

试验结果表明,中晚熟区春谷可通过在苗期喷施多效唑、矮壮素,或拔节期喷施乙烯利的措施,使现有品种降低株高,增加茎粗,增强抗倒伏能力,实现春谷农艺农机配套,最终实现从种到收全程机械化栽培。

参考文献:

- [1] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
- [2] 刁现民. 中国谷子生产与发展方向[M] // 柴岩, 万富世. 中国小杂粮产业发展报告. 北京: 中国农业出版社, 2007: 32-43.
- [3] DIAO X M. Production and genetic improvement of minor cereals in China [J]. *The Crop Journal*, 2017, 5: 103-114.
- [4] 李瑜辉, 郭二虎, 范惠萍, 等. 山西谷子产业发展十年(2009—2019年)变迁 [J]. *中国种业*, 2019 (11): 22-24.
LI Y H, GUO E H, FAN H P, et al. Changes of Shanxi millet industry development in ten years (2009—2019) [J]. *China Seed Industry*, 2019 (11): 22-24. (in Chinese)
- [5] 李顺国, 夏雪岩, 刘猛, 等. 我国谷子轻简高效生产技术研究进展 [J]. *中国农业科技导报*, 2016, 18 (2): 19-24.
LI S G, XIA X Y, LIU M, et al. Research Progress on Light Simple and Efficient Production Technology of Foxtail Millet in China [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2016, 18 (2): 19-24. (in Chinese)
- [6] 刁现民, 程汝宏. 十五年区试数据分析展示谷子糜子育种现状 [J]. *中国农业科学*, 2017, 50 (23): 4469-4474.
DIAO X M, CHENG R H. Current breeding situation of foxtail millet and common millet in China as revealed by exploitation of 15 years regional adaptation test data [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (23): 4469-4474. (in Chinese)
- [7] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 新时期中国谷子产业发展技术需求与展望 [J]. *农学学报*, 2018, 8 (6): 96-100.
LI S G, LIU F, LIU M, et al. Technology need and prospect of foxtail millet industry development in China in the new era [J]. *Journal of Agriculture*, 2018, 8 (6): 96-100. (in Chinese)
- [8] LIU H Y, ZHANG J P, LIU K B, et al. Earliest domestication of common millet in East Asia extended to 10000 years ago [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106 (18): 7367-7372.
- [9] 李顺国, 刘斐, 刘猛, 等. 我国谷子产业现状、发展趋势及对策建议 [J]. *农业现代化研究*, 2014, 35 (5): 531-535.
LI S G, LIU F, LIU M, et al. The current industry situation, development trend, and suggestions for the future of foxtail millet in China [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2014, 35 (5): 531-535. (in Chinese)
- [10] 张海金. 谷子在旱作农业中的地位和作用 [J]. *安徽农学通报*, 2007, 13 (10): 169-170.
ZHANG H J. The status and role of millet in dry farming [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2007, 13 (10): 169-170. (in Chinese)
- [11] 李瑜辉, 郭二虎, 刘鑫, 等. 从我国特色农业现代化进程看谷子产业发展 [J]. *中国种业*, 2019 (12): 20-22.
LI Y H, GUO E H, LIU X, et al. Viewing the Development of Millet Industry from the Process of Agricultural Modernization with Chinese Characteristics [J]. *China Seed Industry*, 2019 (12): 20-22. (in Chinese)
- [12] 张世杰. 2BG-6型精少量谷子播种机及关键部件的设计 [J]. *农业机械*, 2014 (1): 134-138.
ZHANG S J. Design of 2BG-6 fine millet seeder and key components [J]. *Farm Machinery*, 2014 (1): 134-138. (in Chinese)
- [13] 杨志杰, 刘焕新, 吴海岩, 等. 谷子收获机械化发展方向及配套机具 [J]. *河北农业科学*, 2013, 17 (3): 6-8.
YANG Z J, LIU H X, WU H Y, et al. Developing direction of millet harvesting mechanization and the associated machines [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2013, 17 (3): 6-8. (in Chinese)
- [14] 任全军, 奚玉银, 傅永斌, 等. 2BMG-6型小颗粒谷物旱地精播机的研制 [J]. *农业技术与装备*, 2014 (12): 4-8.
REN Q J, XI Y Y, FU Y B, et al. Development of 2BMG-6 type small grain cereal dryland precision sowing machine [J]. *Agricultural technology and equipment*, 2014 (12): 4-8. (in Chinese)
- [15] 杜文娟, 李萍, 张喜文, 等. 山西谷子播种技术与装备的研究进展与发展方向 [J]. *农机化研究*, 2015, 37 (7): 6-17.
DU W J, LI P, ZHANG X W, et al. Research progress and development direction of Shanxi millet seeding technology and Equipment [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2015, 37 (7): 6-17. (in Chinese)
- [16] 闻祥成, 田华, 潘圣刚, 等. 叶面喷施植物生长调节剂对水稻产量及叶片保护酶活性的影响 [J]. *西南农业学报*, 2015, 28 (2): 550-555.
WEN X C, TIAN H, PAN S G, et al. Effects of foliar plant growth regulator application on rice yield and protective enzyme activities [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28 (2): 550-555. (in Chinese)
- [17] 冒宇翔, 薛林, 陈国清, 等. 生长调节剂对玉米苏玉30生长的调控效果 [J]. *浙江农业科学*, 2017, 58 (8): 1322-1323, 1327.

- MAO Y X, XUE L, CHEN G Q, et al. Regulation effect of growth regulator on growth of corn Suyu 30 [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2017, 58 (8) : 1322-1323, 1327. (in Chinese)
- [18] 王汝娟, 窦百君, 张铭浩, 等. 多效唑和缩节胺对食用甘薯产量和品质的影响 [J]. *山东农业科学*, 2018, 50 (10) : 65-68.
- WANG R J, DOU B J, ZHANG M H, et al. Effects of MET and DPC on yield and quality of sweet potato [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50 (10) : 65-68. (in Chinese)
- [19] 刘丽英, 戴茂华, 吴振良. 缩节胺对黄河流域采棉农艺性状、产量和品质的影响及化控技术研究 [J]. *中国农学通报*, 2018, 34 (33) : 38-42.
- LIU L Y, DAI M H, WU Z L. Effects of DPC on agronomic characters, yield, fiber quality of machine picked cotton in the Yellow River valley and chemical treatment technical research [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34 (33) : 38-42. (in Chinese)
- [20] 董学会, 段留生, 孟繁林, 等. 30%己·乙水剂对玉米产量和茎秆质量的影响 [J]. *玉米科学*, 2006, 14 (1) : 138-140, 143.
- DONG X H, DUAN L S, MENG F L, et al. Effects of spraying 30% DTA-6. ethephon solution on yield and straw quality of maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14 (1) : 138-140, 143. (in Chinese)
- [21] 卫晓铁, 张明才, 李召虎, 等. 不同基因型玉米对乙烯利调控反应敏感性的差异 [J]. *作物学报*, 2011, 37 (10) : 1819-1827.
- WEI X Y, ZHANG M C, LI Z H, et al. Differences in responding sensitivity to ethephon among different maize genotypes [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37 (10) : 1819-1827. (in Chinese)
- [22] 华智锐, 李小玲. 矮壮素对小麦抗倒伏性能的诱导效应研究 [J]. *河北农业科学*, 2017, 21 (2) : 47-51, 71.
- HUA Z R, LI X L. Researches of CCC in induction lodging resistance of wheat [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21 (2) : 47-51, 71. (in Chinese)
- [23] 麻慧芳, 杨成元, 史关燕, 等. 植物生长调节剂叶面肥对常规谷和杂交谷的防早衰效应比较 [J]. *农学学报*, 2016, 6 (11) : 8-13.
- MA H F, YANG C Y, SHI G Y, et al. Plant growth regulators and foliar fertilizer: Premature senescence resistance effects on conventional millet and hybrid millet [J]. *Journal of Agriculture*, 2016, 6 (11) : 8-13. (in Chinese)
- [24] 夏雪岩, 程汝宏, 陈媛, 等. 植物生长调节剂和叶面肥对谷子杂交种的防早衰效应分析 [J]. *中国农业科技导报*, 2014, 16 (1) : 104-110.
- XIA X Y, CHENG R H, CHEN Y, et al. Effect of Plant growth regulator and foliar fertilizer on preventing premature aging of foxtail millet hybrid [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2014, 16 (1) : 104-110. (in Chinese)
- [25] 易书佳, 孔祥清, 徐宁, 等. 植物生长调节剂混用对水稻同化物及三种保护酶的影响 [J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2014, 26 (6) : 11-15.
- YI S J, KONG X Q, XU N, et al. Effects on the mixture of plant growth regulators on assimilate and three kinds of protective enzyme of rice [J]. *Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University*, 2014, 26 (6) : 11-15. (in Chinese)
- [26] 陈峰, 吴玮, 王军, 等. 3种植物生长调节剂对水稻产量和品质的影响 [J]. *福建农业学报*, 2016, 31 (1) : 12-15.
- CHEN F, WU W, WANG J, et al. Effect of plant growth regulators on yield and quality of *Oryza sativa* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2016, 31 (1) : 12-15. (in Chinese)
- [27] 夏雪岩, 师志刚, 刘猛, 等. 矮壮素和缩节胺对谷子杂交种生长发育和产量的调控效应 [J]. *河北农业科学*, 2015, 19 (3) : 8-11.
- XIA X Y, SHI Z G, LIU M, et al. Regulation effects of CCC and DPC to growth and yield of millet hybrid [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2015, 19 (3) : 8-11. (in Chinese)
- [28] 聂荫恩, 柳青山, 白文斌, 等. 喷施多效唑对谷子农艺性状及抗倒伏力的影响 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35 (33) : 35-41.
- NIE Y E, LIU Q S, BAI W B, et al. Effects on Agronomic Characters and Lodging Resistance of Foxtail Millet by Spraying Paclobutrazol [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (33) : 35-41. (in Chinese)
- [29] 庄云, 马尧, 牟金明. 植物生长延缓剂对谷子生长及产量性状的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35 (33) : 10641, 10644.
- ZHUANG Y, MA Y, MOU J M. Effects of Plant Growth Retardants On the Growth and Yield Traits of *Setaria italica* L [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35 (33) : 10641, 10644. (in Chinese)
- [30] 雒景吾, 李宏海, 崔军涛, 等. 几种调节剂对小麦茎秆、产量及品质的影响 [J]. *西安文理学院学报(自然科学版)*, 2013, 16 (3) : 22-25.
- LUO J W, LI H H, CUI J T, et al. The Effects of a Few Growth Regulators on the Stalks, Yield and Quality of Wheat [J]. *Journal of Xi'an University of Arts & Science (Natural Science Edition)*, 2013, 16 (3) : 22-25. (in Chinese)

(责任编辑：杨小萍)