

乙烯利不同施用方式对玉米农艺性状和产量的影响

戚艺军, 耿延琢, 罗松彪, 刘政群, 丁翔, 张二朋,
王利民, 杨焰华, 齐伟, 余宁安, 史文娟, 王浩波
(合肥丰乐种业股份有限公司, 合肥 230031)

摘要: 采用乙烯利对玉米进行涂叶试验和顶冠层喷雾试验, 以每个处理的节间长度相对于对照的降低百分率衡量各主要节间的短缩程度。结果表明, 乙烯利对正在伸长的节间或其以上节间具有累加的抑制伸长效应和级联效应。在 n 片展开叶期对顶冠层喷药, 伸长受抑制节间为从第 $n-2$ 节开始的以上若干节间, 尤以第 $n-1 \sim n+4$ 个节间伸长最易受到抑制, 且通常以第 n 或第 $n-1$ 个节间短缩程度最大; 伴随节位的递升, 大体上, 自第 $n+4$ 节以上的各个节间长度的降幅明显减小, 但对雄穗节间例外。对于浚单 20, 叶龄指数为 55 到 70 之间是最佳施药期, 可以显著提高抗倒伏能力; 合理用量应以能够获得不低于对照 95% 的穗粒数和叶面积作为判断依据。

关键词: 乙烯利; 玉米; 展开叶; 节间伸长; 农艺性状; 产量

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)03-0416-08

Effects of different ethephon applications on agronomic traits and grain yield of maize

QI Yijun, GENG Yanzhuo, LUO Songbiao, LIU Zhengqun, DING Xiang, ZHANG Erpeng,
WANG Liming, YANG Yanhua, QI Wei, SHE Ning'an, SHI Wenjuan, WANG Haobo
(Hefei Fengle Seed Co., Ltd, Hefei 230031)

Abstract: Two field experiments of ethephon-brushed leaves of Zhengdan 958 and ethephon-sprayed top-most canopy of Xundan 20 were carried out, and the percentage decline of each main internode length relative to respective check was employed to the measurement of the shortened degree. The results revealed that ethephon had internode-cascaded and additive inhibition elongation effects on the elongating internodes or several ones above them. When ethephon solution was sprayed on the topmost canopy of maize at the stage of “ n ” expanded leaves, which showed that the elongation-inhibited internodes were the several ones above the $(n-2)$ th node, especially, the length between the $(n-1)$ th and the $(n+4)$ th internode was shortened obviously, and the length of the $(n-1)$ th or the (n) th internode was usually shortened most; on the whole, percentage decline of respective internode length above the $(n+4)$ th internode was obviously decreased with its step-up node, but except the tassel internode. Leaf age index between 55 and 70 is the best ethephon-sprayed stage for Xundan 20, which increase the ability of lodging and breaking resistance significantly; and the appropriate dosage should be decided by achieving no less than 95% kernels and leaf area of the check.

Key words: ethephon; maize; expanded leaf; elongation of internode; agronomic traits; grain yield

玉米每年均有程度不同的倒伏、倒折发生。据统计, 玉米因倒伏导致的减产幅度可达 15% 至 25%, 倒伏率每增加 1%, 大约减产 $108 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[1]。我国每年因为倒伏造成玉米产量损失近 100 万 t, 倒伏已经成为玉米高产、稳产的主要限制因子^[2]。其中, 造成减产幅度最大的倒伏种类是根倒或倒折造成的植株平铺^[3], 严重阻碍机械化摘穗或导致漏摘, 大幅

增加了收获成本^[4]。

为防止倒伏, 解决密植高产与倒伏之间的矛盾, 以乙烯利为主要化学成分的植物生长调控剂亦或复配剂得到较广泛研究和应用^[5-13], 它的重要效应为降低株高和穗位, 但对产量影响试验结果不一^[6-13]。

本研究通过两组田间试验, 在玉米 6 片到 14 片展开叶期, 施用 $0.4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乙烯利溶液, 观测它

对玉米的农艺性状及产量等性状的影响,旨在探索乙烯利的作用规律、最佳施用期及施用方法,为该技术在生产实践中精准应用以及开展进一步深入研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地安排和概况

本试验分为两组,顶冠层喷药试验于 2011 年在河南新乡丰乐种业玉米试验站进行,土壤为沙壤土,前茬为小麦;涂叶试验于 2012 年在丰乐种业合肥双墩综合试验站进行,土壤为偏壤土,前茬为水稻。两地肥力均中等。

1.2 试验设计与方案

顶冠层喷药试验供试品种为浚单 20,全株叶片总数的众数值为 $20^{[14]}$;包括对照共 5 个处理,分别记作 E6、E9、E11、E14 和 CK,即在众数值分别为 6、9、11 和 14 片展开叶期喷施 1 次药液,对应的叶龄指数分别是 30、45、55 和 70;施药方法为:手持喷雾杆、喷头向下对准冠层的顶部平行移动喷雾。E6 和 E9 两处理乙烯利的施用量为 $360 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$,E11 施用量为 $180 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$,E14 施药量为 $240 \text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$,各个处理的对照同期同法喷施等量清水。试验采用随机区组设计,4 次重复,每小区面积 12.45 m^2 ,种植 4 行,共 84 株;株距 24.7 cm,行距 60 cm,密度为 $67500 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。每公顷基肥施用量为: N 67.5 kg, P_2O_5 11.25 kg, K_2O 11.25 kg,在 9~10 片展开叶期每公顷追肥量为: N 360 kg, P_2O_5 168.8 kg, K_2O 168.8 kg,开沟条施,随后漫灌。

涂叶试验的供试材料为郑单 958,共设 5 个涂叶处理和 1 个对照;涂药期均为 12 片展开叶期,对应的叶龄指数为 60;施药方法为,以质量浓度为 $0.6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙烯利水溶液,用毛刷蘸取药液,在被选择玉米叶片的上表面均匀涂刷,直至全部湿润为止。各个处理涂药的叶片分别是: A 处理,仅对第 12 片新展开叶; B 处理,仅对第 11 片已展开叶; C 处理,仅对第 11 片展开叶和第 12 片新展开叶; D 处理,仅对第 12 片新展开叶和第 13 片叶片; E 处理,仅对第 12 片新展开叶以及第 13 片、第 14 片共 3 片叶片,CK 涂刷清水。其中, A 和 E 两处理的第 12 片新展开叶的两叶耳的展开程度相当,但较其余 3 个处理及对照的两叶耳的分开程度要大些,时间上约相当于提前 1 d 达到后者展度大小。种植方法为:株距 31 cm,行距 70 cm,密度 $46000 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$;每公顷基肥用量为: N 160 kg, P_2O_5 160 kg, K_2O 160 kg,撒施;小喇叭口期每公顷追施尿素折合纯氮量为

$135 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,条施。

1.3 试验执行情况和试验期间的气候概况

顶冠层喷药试验于 6 月 20 日播种,6 月 26 日出苗,穗位的众数值在第 15 节,10 月 13 日收获。苗期、穗期和花粒期前期,墒情和天气情况适合玉米生长发育。9 月 3 日至 9 月 17 日持续阴雨,其中 9 月 17 日的大风雨,导致部分小区玉米植株发生严重倒折和少量倒伏,随后展开了调查。9 月下旬对株高、穗位和棒三叶及其以上叶片的叶面积进行了逐区测量。

涂叶试验于 7 月 5 日播种,7 月 10 日出苗。7 月上中旬多阴雨天气,7 月中下旬及 8 月 9 日以前天气晴热,但底墒充足。8 月 22 日吐丝,结实正常,绝大多数为双穗,第 14 节位为上穗位。自 9 月下旬起对株高、穗位和节间长度等数据进行了测量。

1.4 观测标准、田间调查内容和方法

本文定义的“始展开叶”是指:该叶片的叶枕刚从下一片已展开叶的叶鞘中露出不久,且两叶耳刚去包叠、相对而出,其外边缘刚去重叠而平行。本文定义的“新展开叶”是指:紧邻其上的第一个叶片的两叶耳仍处于包叠状态的已展开叶。叶龄指数=已展开叶片数/总叶片数 $\times 100$ 。本文提及的“粒叶组叶面积”是指棒三叶以上各叶片的叶面积的和,叶面积=叶环至叶尖的长度 \times 叶片最宽处的宽度 $\times 0.7$ 。在顶冠层喷药试验中,株高、穗位和叶面积等指标,在每小区相同位置连续量取 10 株有代表性的植株;全区收获测产,小区籽粒产量和百粒重均为折合成 14% 含水量的产量;收获后,每处理随机选取生长一致且未倒伏、有代表性的植株各 10 株,逐节测量节间长度;每处理各选两个重复各 10 穗测量穗行数、行粒数。涂叶试验每处理选取 6 株,逐株测量株高、穗位,逐节测量节间长度。

为了方便分析和总结,将顶冠层喷药试验中各处理施药期对应的已展开叶片数记作“n”,将涂叶试验中各处理的涂药叶片中位于最下方的叶片序数亦记作“n”。

1.5 数据分析

顶冠层喷药试验中的 4 个对照的各个数量性状,取算术平均值作为统一对照值。统计分析主要采用 Excel 和 DPS 数据分析软件分析处理。多重比较以方差分析至少达到显著水平为保证。

2 结果与分析

2.1 乙烯利抑制节间伸长规律

2.1.1 不同叶面涂刷乙烯利对节间长度的影响 在

涂叶试验中, 不同处理同一节间长度多重比较以及降幅百分率比较数据列于表 1, 以各涂药处理节间长度相对于对照的降幅百分率衡量相关节间的短缩程度。从表 1 可以看出, 对于 A 和 B 这 2 个处理, 节间长短缩幅度最大的是第 n+1 个节间, 分别较对照相应节间缩短 49%和 47%, 其次才是第 n+2 个节间, 分别较对照相应节间缩短 35%和 37%, 再次才是第 n+3 个节间和第 n 个节间, 对第 n-1 个、第 n+5

个节间及其以上节间长度的降低作用明显减小, 且对第 n-2 个节间伸长基本无影响; C、D、E 这 3 个处理的试验结果表明, 对新展开叶 n 及其以上叶片涂刷乙烯利, 长度缩短幅度最大的节间仍为新展开叶的上一个节间, 即第 n+1 个节间; 且伴随涂药叶片的增多, 原 A 和 B 处理能够抑制到的各节间长度变得更短, 尤以 B 与 C、A 与 D、E 对比明显, 表现出累加的抑制伸长作用 (表 1 和图 1)。

表 1 5 个涂叶处理对各自节间伸长的抑制程度

Table 1 The inhibited degrees of respective internode elongation with 5 ethephon-brushed foliar treatments

节间序 Node order	节间平均长度/cm Average length of internode						较对照降幅 ±CK% Percentage decline compared with the control				
	CK	B	A	C	D	E	B	A	C	D	E
9	10.1 ^{a①}	9.2 ^a	9.9 ^a	10.2 ^a	9.6 ^a	10.1 ^a	-8.3	-1.5	1.3	-4.5	0.7
10	10.9 ^a	10.6 ^a	10.8 ^a	10.7 ^a	10.5 ^a	10.9 ^a	-3.2	-0.9	-2.3	-4.3	-0.6
11	11.8 ^{aA}	9.3 ^{cdC}	10.8 ^{bAB}	8.6 ^{dC}	9.8 ^{cBC}	10.7 ^{bAB}	-21.5	-8.5	-27.3	-17.1	-9.3
12	13.6 ^{aA}	7.3 ^{cdD}	9.0 ^{bB}	6.0 ^{dD}	7.1 ^{cCD}	8.0 ^{cBC}	-46.8	-34.4	-56.0	-48.2	-41.3
13	15.8 ^{aA}	9.9 ^{bB}	8.0 ^{cC}	7.5 ^{cdCD}	6.6 ^{deCD}	5.9 ^{eD}	-37.2	-49.0	-52.4	-57.9	-62.5
14	15.4 ^{aA}	12.0 ^{bB}	10.0 ^{cC}	9.9 ^{cC}	8.2 ^{dCD}	6.3 ^{eD}	-22.2	-35.2	-35.9	-46.8	-58.9
15	15.4 ^{aA}	12.9 ^{bB}	11.2 ^{cC}	10.4 ^{cdC}	9.8 ^{dCD}	8.5 ^{eD}	-16.7	-27.2	-32.6	-36.5	-45.0
16	14.9 ^{aA}	13.8 ^{aAB}	12.4 ^{bBC}	10.7 ^{cC}	10.8 ^{cC}	8.9 ^{dD}	-7.9	-17.0	-28.1	-27.7	-40.6
17	14.0 ^{aA}	14.1 ^{aA}	12.8 ^{bAB}	12.2 ^{bB}	12.0 ^{bB}	10.5 ^{cC}	0.6	-8.5	-12.8	-14.2	-24.8
18	14.6 ^{abA}	14.9 ^{aA}	13.7 ^{bcAB}	13.3 ^{cAB}	12.7 ^B	12.8 ^{cB}	2.4	-6.3	-8.6	-12.6	-12.6
19	15.3	16.0	15.2	15.6	13.9	12.7	4.9	-0.7	2.2	-9.0	-16.6
20 ^②	20.7	17.9	19.3	15.5	17.6	17.4	-13.4	-6.6	-25.0	-14.9	-15.9

注: ①同行数据右上角具有不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著, 具有不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著; 下同。②“20”表示雄穗节间。下同。

Note: ①The data in the same row followed with different small letters mean significant difference at the 0.05 level, and those with different capital letters mean significant difference at the 0.01 level. The same below. ②“20”represents for the tassel internode. The same below.



图中序号为节间序, 小括号内的编号为处理号, 即: 12=A; 120-1=B; 120-2=C; 123=E; CK=对照

The numbers on every stalk mean internode order, the codes in Parentheses on every stalk mean treatment names, namely: 12=A; 120-1=B; 120-2=C; 123=E.

图 1 由涂叶试验表现出的累加抑制伸长效应和节间级联效应

Figure 1 The photo of the additive inhibiting elongation effect and the internode-cascaded effect by ethephon-brushed foliar experiment

本组试验还表明 (表 1 和图 1), 单对第 12 片新展开叶的上表面涂药, 对节间长度的显著抑制作

用可达第 17 个节间, 增加处理相邻的叶片, 抑制伸长作用可以达到雄穗节, 但对第 n-3 个节间及其以

下各节间长度基本无影响。此外, 各涂药处理, 伴随节位的递升, 对相应节间伸长的抑制程度总体上表现为跃变式的减弱, 除 E 以外的其余涂叶处理还对雄穗节间较其下一个节间产生了明显增强的跃变式的抑制伸长作用, 但均能说明该期施用乙烯利已能抑制顶端优势。

2.1.2 不同叶龄期喷施乙烯利对节间长度影响 对于顶冠层喷药试验, 仍然以各施药处理的节间长度相对于对照相应节间长度的降幅百分率衡量各节间的短缩程度, 并将同一节间不同处理相对于对照缩短的长度和降幅百分率列于表 2。结果表明(表 2), E6、E11 和 E14 这 3 个处理, 缩短程度最大的节间分别是第 6 个、第 11 个和第 14 个节间, 其次才为其下一个节间或上一个节间; E9 处理降幅最大的为第 8 个节间, 其次才为第 9 和第 10 个节间。这与涂叶试验相比, 缩短程度最大的节间相对于新展开叶的位置下移了, 其中 E9 下移了 2 个节位, 其余 3 个处理下移了 1 个节位。出现这种现象的原因在于: 手工对玉米的顶冠层喷药时, 在该施药期的新展开

叶片以下的 2 至 3 片已展开叶片, 也会同时接收到较多的药液, 而且叶片之间重叠程度越小, 这些叶片接受到的药量就越大, 对正处于伸长阶段的节间的抑制伸长作用就越强; 综合的调控结果, 使得短缩程度最大的节间下移, 这种现象在涂叶试验中的 B 和 C 处理有了充分的体现(表 1, 图 1)。同样地, E9、E11、E14 这 3 个处理, 和涂叶试验中各个处理一样, 对新展开叶以下节间伸长的抑制作用不超过 2 个节间距(表 2)。本组试验还表明(表 2), E6 处理, 主要降低雌穗位以下若干节间的长度; E9 处理, 已经能够极显著地降低穗位高直至雄穗节的长度, 表现出节间级联抑制效应, 即: 伴随施药叶龄的增加, 缩短程度最大的节间以及伸长受抑制的节段也整体上移, 其中第 n-1 至第 n+4 个节间乃至雄穗节间的伸长更易受到显著缩短, 对第 n-3 个节间及其以下各节间长度基本无影响。这种效应在涂叶试验中有着类似的体现, 如 B、A、E 这 3 个处理相应节段各节间长度呈现出的规律性变化(表 1 和图 1)。

表 2 4 个顶冠层喷药处理对各自节间长度的影响

Table 2 The effects of the 4 treatments of ethephon-sprayed topmost canopy on respective internode length

节间序 Internode order	对照节间平均长度/cm The average length of CK's internode	±CK/cm				±CK %			
		E6	E9	E11	E14	E6	E9	E11	E14
株高 Plant height	213.3	-11.1	-37.3	-32.0	-39.8	-5.2	-17.5	-15.0	-18.7
雌穗位高 Ear height	114.4	-16.6	-27.3	-26.0	-16.6	-14.5	-23.9	-22.7	-14.5
20	17.3	1.7	-0.8	-2.1	-6.0	10.0	-4.8	-12.0	-34.6
19	15.7	1.0	-2.7	-1.0	-3.2	6.1	-17.0	-6.2	-20.6
18	16.2	0.9	-1.9	-0.8	-2.6	5.4	-11.7	-4.9	-16.3
17	16.5	1.0	-1.4	-0.3	-2.3	6.1	-8.6	-1.9	-13.7
16	16.4	0.7	-1.1	-0.4	-3.0	4.4	-6.9	-2.7	-18.1
15	16.8	0.2	-2.0	-1.4	-6.2	1.3	-12.1	-8.4	-36.8
14	18.9	-1.3	-3.3	-2.8	-8.2	-6.8	-17.2	-14.9	-43.4
13	17.9	-2.0	-3.3	-3.2	-7.3	-11.2	-18.4	-17.7	-40.8
12	17.2	-2.1	-3.7	-4.8	-3.4	-12.0	-21.4	-27.8	-19.8
11	16.4	-2.0	-4.0	-7.7	0.6	-12.0	-24.3	-46.9	3.7
10	14.1	-3.0	-4.5	-6.0	1.1	-21.5	-32.3	-42.9	8.0
9	10.2	-1.8	-3.6	-0.9	0.3	-18.1	-35.2	-8.7	2.6
8	8.8	-1.4	-3.9	-0.1	-0.4	-15.7	-43.7	-0.7	-4.4
7	6.6	-1.7	-1.5	-0.5	0.5	-25.1	-22.8	-7.9	7.1
6	4.5	-1.4	0.4	-0.1	0.2	-31.2	8.1	-1.3	5.1

注: 本表中的株高不包括雄穗长度。Note: The plant height does not include the length of tassel in table 2.

此外, 由表 2 还可知, 各施药处理, 伴随节位的升高, 对相应节间伸长的抑制程度总体上表现为跃变式的减弱, 例如, 在节间伸长受抑制程度最大且最易受到抑制的节间序为 n-1 到 n+4 之间的节段

内, 产生的株高降幅, 对于 E11 和 E14 俩处理, 分别占到株高总降幅的 81% 和 74%, 而在节间序为 n-1 和 n+2 之间的节段内, 产生的株高降幅也分别占到 60% 以上; E11 和 E14 俩处理还对雄穗节间较其下

一个节间产生了明显增强的跃变式的抑制伸长作用,表现出与涂叶试验相同的趋势。由此可见,可

以根据目标节段需要降低的程度来决定乙烯利的施用量。

表 3 4个顶冠层喷药处理对各自3个节段长度的影响

Table 3 The effects of the 4 treatments of ethephon-sprayed topmost canopy on respective 3 segmental lengths

节段种类 Segmental length type	指标 Index	CK	E6	E9	E11	E14
株高/cm Plant height	平均 Average	243.9 ^A	233.9 ^A	209.1 ^B	203.9 ^B	199.3 ^B
	CV/%	1.4	4.4	4.8	5.2	2.9
	±CK	0.0	-10.0	-34.9	-40.0	-44.6
	±CK%	0.0	-4.1	-14.3	-16.4	-18.3
雌穗位高/cm Ear height	平均 Average	113.9 ^{aA}	98.0 ^{bB}	89.7 ^{bcB}	87.5 ^{cB}	97.9 ^{bB}
	CV/%	2.2	5.8	5.9	7.2	5.2
	±CK	0.0	-15.9	-24.2	-26.4	-16.0
	±CK%	0.0	-13.9	-21.2	-23.2	-14.1
雌穗位以上节段长度/cm The segmental length above ear	平均 Average	130.0 ^A	135.9 ^A	119.3 ^B	116.4 ^B	101.5 ^C
	CV/%	1.1	3.8	5.1	4.0	1.1
	±CK	0.0	5.9	-10.7	-13.6	-28.6
	±CK%	0.0	4.5	-8.2	-10.5	-22.0

表 4 4个顶冠层喷药处理对各自3个叶组叶面积的影响

Table 4 The effects of the 4 treatments of ethephon-sprayed topmost canopy on respective leaf area of 3 leaf groups

叶面积种类 Leaf area type	指标 Index	E14	CK	E11	E6	E9
棒三叶叶面积/cm ² Leaf area of three-ear-leaves	平均 Average	1500.4 ^A	1456.9 ^A	1432.4 ^A	1079.7 ^B	1062.0 ^B
	CV/%	5.7	3.0	7.0	5.5	7.6
	±CK	43.4	0.0	-24.6	-377.2	-394.9
	±CK%	3.0	0.0	-1.7	-25.9	-27.1
粒叶组叶面积/cm ² Leaf area of grain-leaves group	平均 Average	853.0 ^A	810.9 ^A	786.0 ^A	750.5 ^A	538.9 ^B
	CV/%	9.2	3.8	11.3	18.0	10.7
	±CK	42.2	0.0	-24.9	-60.4	-272.0
	±CK%	5.2	0.0	-3.1	-7.5	-33.5
叶面积和/cm ² The sum of leaf area	平均 Average	2353.4 ^{aA}	2267.8 ^{aA}	2182.8 ^{aA}	1865.7 ^{bB}	1600.9 ^{cB}
	CV/%	6.9	3.2	10.8	7.8	8.2
	±CK	85.6	0.0	-85.0	-402.1	-666.9
	±CK%	3.8	0.0	-3.7	-17.7	-29.4

表 5 4个顶冠层喷药处理对各自产量、雌穗性状和倒折倒伏的影响

Table 5 The effects of the 4 treatments of ethephon-sprayed topmost canopy on respective grain yield, ear character, lodging rate and breaking rate

处理 Treatment	产量 Grain yield			雌穗性状 Ear character				倒折率/% Breaking rate	倒伏率/% Lodging rate
	小区平均/kg Plot average	CV/%	±CK%	穗行数 Kernel row	行粒数 Row grain	穗粒数 Ear kernel	百粒重/g 100-grain weight		
CK	9.68 ^{aA}	1.3		16.2	27.5	444.1	29.6	20.5	5.1
E14	9.30 ^{aAB}	1.4	-3.9	16.1	26.0	418.6	28.3	1.8	0.0
E11	9.26 ^{aAB}	1.5	-4.4	16.1	26.4	424.3	28.9	0.3	0.0
E9	8.56 ^{bBC}	0.6	-11.5	15.7	26.0	407.5	29.1	4.8	0.6
E6	8.25 ^{bC}	2.1	-14.7	16.0	25.1	401.8	28.2	10.7	1.2

2.2 不同叶龄期喷施乙烯利对穗位高和株高影响
分别将3个节段长度在不同处理间的多重比

较、变异系数、与对照的差值及相应百分率等数据列于表3。顶冠层喷药试验结果表明(表3),在6

至 14 片展开叶期施药, 均可极显著地降低穗位, 降低幅度可达 16~26 cm, 尤以 E11 处理对穗位的降幅最大; 在 9 至 14 片展开叶期施药, 还极显著地降低了雌穗位以上节段的长度, 且降幅伴随施药叶龄的增大而增加, 为 11~29 cm, 其中以 E14 处理对雌穗位以上节段降幅最大。此外, 本组试验的 E6 处理, 其雌穗位以上节段的长度较对照增长了 5.9 cm, 外观上表现为起初生长受到明显抑制的植株后来株高得到很大程度的恢复, 即“反弹现象”, 这与李少昆等人^[6]的研究结果类似。

2.3 不同叶龄期喷施乙烯利对叶面积的影响

分别将 3 个叶组的叶面积在不同处理间的多重比较、变异系数、与对照的差值及相应百分率等数据列于表 4。顶冠层喷药试验结果表明(表 4), E6 和 E9 处理可以极显著地降低棒三叶的叶面积; 其中 E9 处理还可以极显著地降低粒叶组叶面积, 也极显著地低于其余 3 个施药处理的粒叶组叶面积; E6 处理虽然对粒叶组叶面积降低作用不显著, 但降幅已达 7.5%。E11 和 E14 俩处理, 每个处理两组叶面积之和相对于对照的变幅不超出±3.8%; 方差分析表明, 对棒三叶和粒叶组的叶面积均未产生显著影响。对于同一基因型, 由于叶面积是决定干物质产量的主要因素^[15], 结合表 3 和表 5, 不难得出 E11 和 E14 个处理更适合在生产上应用。

2.4 不同叶龄期喷施乙烯利对产量以及产量构成性状的影响

将不同处理产量的多重比较、变异系数、相对于对照的减产百分率、雌穗性状以及倒伏倒折等数据列于表 5。5 个处理中(表 5), 4 个施药处理均减产, 但减产幅度相差较大; 与对照相比, E6 和 E9 处理, 均造成极显著减产, 相应地二者的穗粒数也减少了约 10%; E11 和 E14 俩处理减产 4% 左右, 减产不显著, 但相应地二者的穗粒数和百粒重也分别平均减少了 5% 和 4% 上下。因此, 4 个施药处理的减产幅度同穗粒数与百粒重两者降幅之和密切相关。鉴于 E11 和 E14 俩处理对株高和穗位的降幅很大, 还导致了减产, 因此, 在生产中乙烯利的用量应低于 180 g·hm⁻²。

2.5 不同叶龄期喷施乙烯利对倒伏折程度的影响

田间调查表明, 5 个处理结实率相当, 均接近 100%。从表 5 结合表 3 可以看出, 伴随株高的升高, 倒折率和倒伏率依次升高, 即均以对照的倒伏、倒折率最高, 其次为 E6, 再次为 E9 和 E11。E14 穗位高虽然与 E6 几乎相同, 但株高极显著低于 E6 达 34.6 cm, 也略低于 E11, 是 5 个处理中株高最低的,

因而倒伏折率仅为 1.8%, 明显低于 E6。因此, 雌穗位到雄穗的高度对倒伏折程度具有重要的内在决定作用, 原因在于该节段明显增高时, 将会明显提高整个植株重心的高度, 从而明显增加发生倒伏倒折的潜在风险。因此, 结合产量因素, 对于需要严防风灾地区, 11 至 14 片展开叶期是首选的施药期。

3 讨论

3.1 叶面积、产量和株高对倒伏折程度的影响

E6 和 E9 的籽粒产量以及叶面积均至少显著低于 E14, 但二者的倒伏折率却明显高于 E14, 且 E14 的倒伏折程度仅是对照倒伏折的 7%。由此看来, 大体上, 和株高相比, 产量和叶面积的双重降低幅度不足以抵消以相近幅度增高的株高对倒伏折潜在风险的增加程度。本组试验已表明, 在一般性的风灾发生时, E11 和 E14 俩处理通过既降低穗位又降低雌穗位到雄穗的高度从而降低倒伏折程度实现了较 E6 和 E9 俩处理显著提高的产量。

3.2 乙烯利调控的农艺性状对产量的综合作用及其大田用途

比较 E9 和 E11 俩处理(表 3、表 5), 前者株高和穗位分别较后者仅高出 5.2cm 和 2.2cm, 但前者较后者显著减产 7.6%, 即使将因倒伏折导致的减产幅度设定为 50%, 扣除 E9 中因较 E11 倒伏折增加部分而引起的籽粒产量减产部分, 前者较后者减产幅度仍达 5% 左右。分析二者的叶面积数据(表 4), 发现前者较后者棒三叶和粒叶组叶面积之和减少了 27%。因此, 这 5% 左右的产量降低量主要是由于叶面积的降低引起的。

以同样的方法分析 CK 不同 E14 和 E11 这 2 个处理相关指标的平均值(表 4、表 5), 两组棒三叶和粒叶组的叶面积相差无几, 即便 CK 发生了严重的倒折倒伏, 仍较俩施药处理平均增产 4% 以上。由此可见, 对照是通过比 E14 和 E11 更高的株高和穗位从而具备更优的光合空间, 实现了穗粒数和百粒重的双增, 不仅抵消了因严重倒折带来的减产, 还最终实现了增产。

比较 E6 和 E14 这 2 个处理(表 3、表 4 和表 5), 根据前文的分析结果, 可知 E6 较 E14 的减产部分主要是由于高出的占总叶面积 21% 的叶面积降低量和占总株数 10% 的倒伏折共同作用的结果; 并且可以进一步推断, 即使 E6 和 E9 不发生倒折, 其产量也不会超过 E11 和 E14。

王世济等人^[12]的研究也表明, 16 片可见叶期施用金得乐, 不但显著降低了株高和穗位, 而且棒

三叶的叶长和对照十分接近,连续两年的产量与对照差异不显著,其中2011年的产量和对照相差不足0.5%;18片可见叶期施药,除穗位降低不显著外,其余3个指标亦较理想;而16至18片可见叶期约相当于浚单20的11至14片展开叶期。浚单20和弘大8号这两个品种均能在该期化控条件下既能获得穗位高和雌穗位以上节段的长度的显著降低,又能保持正常的叶面积,一方面说明自第11片展开叶起的各叶片对乙烯利抑制生长作用的解除能力可能明显增强,另一方面说明保持正常的叶面积是获得稳产而不大幅减产的关键内因之一。

因此,大田施用乙烯利调控玉米的主要用途在于:在风灾常发区,当玉米的株高和穗位表现出偏高趋势时,如何既能预防株高和穗位高的超高蹿升又能最大限度地减小叶面积的降低,营造相对合理的光合空间,防范严重倒伏折的频繁发生,保持正常的产量,获得综合效益最大化。

3.3 乙烯利的适宜喷施期

李少昆等人^[6]研究表明,以 $270\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$ (根据文献换算而得)的乙烯利兑成水溶液,均匀喷雾于玉米品种sc704和石单3号植株上部叶片上,从喷药时期看,叶龄指数为35的处理,株高和对照无明显差异,并且雌穗以上节段的长度增加,出现了反弹现象;叶龄指数为50的处理,可明显改善株型,但对雌穗抑制重;在叶龄指数为65的处理,对雌穗影响小,又可改善株型,利于增大密度,因而群体生产力高,应用价值大。程文瑞等人^[8]研究表明,在玉米第10至12片展开叶期使用10%乙烯利可溶性粉剂600、700和 $800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,亩用药液30L喷雾,可使玉米植株明显矮化;施用不同浓度的乙烯利均对玉米有一定增产作用。刘强等人^[9]以5个品种为试材,用 $450\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 金得乐兑成水溶液在7至11片可见叶(相当于叶龄指数为20至35)均匀喷施叶面1次,研究表明,均能不同程度地降低玉米的株高和穗位,提高各品种的抗倒伏折能力,但各品种的产量均有不同程度的降低。王世济等人^[12]的研究表明,以 $450\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的金得乐兑成水溶液,在弘大8号的6、7、8、16和18片可见叶期(对应的叶龄指数分别约为:15、20、25、60、65)喷施,籽粒产量与对照无显著差异,但8片可见叶期施药处理的株高显著高出16片和18片可见叶处理分别达34 cm和48 cm。职雨地等人^[10]的研究表明,以 $450\text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 金得乐分别在迪卡一号的6、8、10片展开叶期喷施,伴随施药时期的延后,对株高和穗位的降低作用越强,即对金得乐的反应敏感性增强。

从表1和表2可以看出,对照自第10节以后的各节间长度才明显增长,后9~10节才是决定株高和穗位高度的主要节段。因此,从第10节节间开始快速伸长到雄穗抽出的阶段既是植株快速生长增高期,又是对乙烯利化控敏感期^[6,10,12]。再者,自11片展开叶期开始,便于直观上判断株高和穗位高的未来趋势,综合考虑产量和抗倒伏性能等指标,对于需要严防风灾的地区,11至14片展开叶期是浚单20类品种首选的化控施药期。

3.4 乙烯利的合理施用剂量

卫晓轶等人^[16]的研究表明,杂交种对乙烯利调控的敏感性具有基因型差异,说明不同类型品种要达到同样的化控效果,所需剂量不同。李少昆等人^[6]的研究表明,生产上采用乙烯利化控,亩用药液量为30 kg时,浓度不宜超过 $2400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,建议施用浓度为 $600\sim 800\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。程文瑞等人^[8]研究表明,在玉米第10至12片展开叶期使用10%乙烯利可溶性粉剂 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,亩用药液30L,较对照减产49.6%,茎秆细小,明显抑制生长。因此,乙烯利具有较明显的剂量效应。李少昆等人^[6]研究表明,叶龄指数为65的处理,可以对雌穗的穗行数、行粒数以及由此决定的穗粒数均无明显影响;王世济等人^[12]的研究表明,分别在16片和18片可见叶期施药,可以对穗行数和行粒数均无明显影响。又据张养利等人^[17]、史梅等人^[18]研究,对于郑单958、浚单20、先玉335等品种,雌小穗分化期的平均叶龄指数为54.1,雌蕊分化期的平均叶龄指数为69.3。结合本研究结果(表5),可以看出,11和14片展开叶期是决定雌穗穗行数和行粒数的关键时期,因而是决定穗粒数关键时期。源流的发挥也依赖于库容的强大,因此,该期施药,应当严格控制乙烯利的绝对施用量,尽量保证棒三叶和粒叶组正常生长发育,确保正常叶面积,从而为保持正常的穗粒数提供营养保障。

综合上述研究结果,结合本研究中E11处理实际取得的控高效果、减产程度以及对产量构成性状的影响,认为在新乡地区采用顶冠层喷施法,乙烯利的用量应低于 $180\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$,可以用能够获得不低于对照95%的穗粒数和叶面积作为判断依据。

4 结论

乙烯利对玉米植株具有明显的剂量效应,表现出累加的抑制伸长效应和节间级联效应。在n片展开叶期对顶冠层喷药,则节间伸长受抑制的主要节段为自第n-2节起始的以上由受药叶片供养生长的

相关节间, 尤以第 $n-1 \sim n+4$ 个节间伸长最易受到抑制, 且通常以第 $n-1$ 或第 n 个节间短缩程度最大; 伴随节位的递升, 大体上, 自第 $n+4$ 节以上的各个节间长度的降幅明显减小; 对于浚单 20, 在 11 至 14 片展开叶期间进行顶冠层喷药, 对雄穗节间产生了较其下一个节间明显增强的跃变式的抑制伸长作用。对于需要严防风灾的地区, 当玉米的株高和穗位表现出偏高趋势时, 可以根据目标节段需要降低的程度来决定乙烯利的施用量; 综合考虑产量和抗倒伏性能等指标, 对于浚单 20 类品种, 11 至 14 片展开叶期是最佳的化控施药期, 可以显著提高抗倒伏能力; 在新乡地区采用顶冠层喷施法, 每公顷用量应低于 180 g; 而且, 在该阶段内施药期越早, 乙烯利的绝对用量就应越低, 应以能够获得不低于未施药对照 95% 的穗粒数和叶面积作为判断依据; 注意喷药均匀一致。

参考文献:

- [1] 孙世贤, 戴俊英, 顾慰连, 等. 密度对玉米倒伏产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1989, 20(4): 413-416.
- [2] 丰光, 黄长铃, 邢锦丰. 玉米抗倒伏的研究进展[J]. 作物杂志, 2008(4): 12-14.
- [3] 吕鹏, 董国豪, 杨秀凤, 等. 不同倒伏形态对夏玉米穗部性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44(8): 59-60.
- [4] 李必富. 辽宁省玉米收获机械化现状及发展对策[J]. 现代农业科技, 2013(1): 198-199.
- [5] 涂玉华. 玉米化学控制研究综述[J]. 石河子农学院学报, 1989, 20(2): 84-89.
- [6] 李少昆, 涂华玉, 张旺峰. 乙烯利对玉米株型和产量的影响及其在生产上的应用[J]. 耕作与栽培, 1991(5): 25-28.
- [7] 袁宝玉, 韩向杨, 付国占. 乙烯利在玉米高产栽培中的应用研究[J]. 洛阳农业高等专科学校学报, 2000, 20(1): 11-12.
- [8] 陈文瑞, 张武军. 乙烯利对玉米生长和产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 129-130.
- [9] 刘强, 刘铁山, 姜东元, 等. 喷施“金得乐”对玉米生长发育及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2009(7): 93-94.
- [10] 职雨地, 李文举, 李继平, 等. 玉米喷洒“金得乐”生长调节剂增产效应的研究[J]. 河南科技学院学报, 2010, 38(3): 20-24, 32.
- [11] 秦小龙, 贺飞. 化控剂在夏玉米施用效果研究[J]. 陕西农业科学, 2009(6): 15-17.
- [12] 王世济, 阮龙, 王俊, 等. 沿淮地区夏玉米喷施“金得乐”的安全叶龄研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(30): 28-31.
- [13] 赵宝路, 秦连保, 赵玉兰. 玉黄金和金得乐对玉米产量及其性状的影响[J]. 山西农业科学, 2010, 38(7): 53-55.
- [14] 程相文, 张学林, 程立新, 等. 高产广适玉米杂交种浚单 20 的选育及栽培技术要点[J]. 河南农业科学, 2008(7): 31.
- [15] 陈国平. 玉米的干物质生产与分配(综述)[J]. 玉米科学, 1994(1): 48-53.
- [16] 卫晓轶, 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.
- [17] 张养利, 李进仓, 张德仓. 16 个玉米新品种叶龄指数与穗分化关系的试验初报[J]. 陕西农业科学, 2009(5): 14-16.
- [18] 史梅, 曹彬, 张德仓. 12 个玉米新品种叶龄指数与穗分化关系的试验报告[J]. 安徽农学通报, 2009, 15(17): 54-55.