

玉米骨干自交系对除草剂苯磺隆和甲咪唑烟酸的敏感性差异

刘 才^{1,2},王作平²,杨梦婷^{1,2},张中保²,邹华文¹,吴忠义²

(1.长江大学 农学院,湖北 荆州 434025; 2.北京市农林科学院/北京农业生物技术
研究中心/农业基因资源与生物技术北京市重点实验室,北京 100097)

摘要:为了在培育玉米抗除草剂突变体过程中选择合适的受体材料,以7个玉米骨干自交系C92、京724、京2416、B73、郑58、HZ178、178为材料,研究不同自交系对苯磺隆和甲咪唑烟酸的敏感性差异。测定了不同浓度除草剂处理下各自交系的初生根长抑制率、幼苗生长抑制率和乙酰乳酸合成酶(ALS)活性,结果显示,随着2种除草剂浓度的增加,各自交系的初生根长抑制率和幼苗生长抑制率明显提高,且各自交系的ALS活性存在不同程度下降趋势。7个自交系对2种除草剂的敏感性均为C92>京724>京2416>B73>郑58>HZ178>178,各自交系均对甲咪唑烟酸更敏感。综上所述,自交系C92、京724、京2416相比B73、郑58、178、HZ178对苯磺隆和甲咪唑烟酸更加敏感,适合作为培育抗除草剂突变体的受体材料。

关键词:玉米;骨干自交系;除草剂;苯磺隆;甲咪唑烟酸;敏感性

中图分类号:S513;S482.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2019)03-0077-06

The Sensitivity Differences of Maize Backbone Inbred Lines to the Herbicides, Tribenuron-methyl and Imazapic

LIU Cai^{1,2}, WANG Zuoping², YANG Mengting^{1,2}, ZHANG Zhongbao²,
ZOU Huawen¹, WU Zhongyi²

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China; 2. Beijing Academy of Agriculture
and Forestry Sciences/Beijing Agro-biotechnology Research Center/Beijing Key
Laboratory of Agricultural Gene Resources and Biotechnology, Beijing 100097, China)

Abstract: In order to select the right receptor material during the cultivation of herbicide resistant mutants, the sensitivity of various maize inbred lines to tribenuron-methyl and imazapic was studied using seven maize backbone inbred lines, C92, Jing 724, Jing 2416, B73, Zheng 58, HZ178 and 178. We measured the inhibition rates of primary root length, seedling growth and acetolactate synthase (ALS) activity of each inbred line under different herbicide concentration. The results showed that the inhibition rates of primary root length and seedling growth of each inbred line increased obviously with the increase of the treatment concentration of two herbicides. And the ALS activity of each inbred line decreased to different degrees. The sensitivities of seven inbred lines under two herbicides were: C92 > Jing 724 > Jing 2416 > B73 > Zheng 58 > HZ178 > 178. All the inbred lines were more sensitive to imazapic than tribenuron-methyl. To sum up, compared with B73, Zheng 58, 178 and HZ178, the inbred lines C92, Jing

收稿日期:2018-11-05
基金项目:北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20160301, KJCX20180201);北京市科学技术委员会资助项目(Z171100001517001);国家自然科学基金项目(31471510);湖北省技术创新专项(2017AHB056);北京市博士后工作经费资助项目(2018-ZZ-062)
作者简介:刘 才(1992-),男,湖北孝感人,在读硕士研究生,研究方向:玉米分子生物学。E-mail:liuca921106@163.com。
王作平为同等贡献作者
通信作者:邹华文(1973-),男,江苏邳州人,教授,博士,主要从事植物逆境分子生物学研究。
E-mail:zouhuawen73@hotmail.com
吴忠义(1969-),男,福建德化人,研究员,博士,主要从事植物逆境分子生物学研究。E-mail:zww22@126.com

724 and Jing 2416 are more sensitive to tribenuron-methyl and imazapic, and suitable as receptor materials for cultivation of anti-herbicide mutant.

Key words: Maize; Backbone inbred line; Herbicide; Tribenuron-methyl; Imazapic; Sensitivity

玉米是我国第一大作物,年种植面积超 3 000 万 hm^2 ^[1]。玉米的高产和优质是粮食安全的重要保证。在玉米整个生长过程中,杂草会与其争夺阳光、营养水分及生长空间,严重影响玉米的正常生长,造成玉米产量下降。同时,杂草滋生阻碍了田间通风透光,使得玉米很容易滋生病虫害,严重影响玉米的产量及品质^[2]。为了保证单位面积上的粮食产量,各种除草剂相继被开发,粮食生产率由此得以大幅度提高。除草剂的使用也极大地减小了劳动强度,提高了农业生产水平^[3]。

磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂是具有代表性的乙酰乳酸合成酶(Acetolactate synthase, ALS)抑制剂类除草剂,具有高效、低毒、广谱、选择性强等优良特性。磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂均通过抑制 ALS 活性,阻断支链氨基酸合成而达到杀除杂草的目的,对人和哺乳动物毒性低,在农业生产中得到了广泛的应用^[4]。其中,苯磺隆和甲咪唑烟酸是较为常用的磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂。张金林等^[5]在室内用苯磺隆、甲磺隆和绿磺隆对玉米种子进行抑制试验,根长测定结果表明,玉米胚根是比较敏感的试验材料。苏旺苍等^[6]研究了玉米不同部位对甲咪唑烟酸的敏感性,结果表明,甲咪唑烟酸对玉米根长、株高、侧根及根毛数量均有抑制作用。同时,不同植物对咪唑啉酮类除草剂的耐受能力也有很大差别,耐受植物吸收此类除草剂后能依靠自身防御机制将其迅速代谢降解使其失活;非耐受植物吸收此类除草剂后反而会通过代谢产生有毒物质,对植物的生长产生抑制^[7]。

近年,有关植物 ALS 对磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂的抗性(耐受)机制研究多集中在杂草和少数玉米品种上,对于玉米骨干自交系 ALS 的研究报道较少。我国玉米品种繁多,弄清骨干自交系对不同浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸这 2 类 ALS 抑制剂类除草剂的耐受差异,对于利用基因编辑技术培育抗 ALS 抑制剂类除草剂突变体过程中选择合适的受体材料具有重要指导意义。为此,以 7 个玉米骨干自交系为研究对象,探究这 2 类除草剂不同浓度处理下的玉米初生根长抑制率、苗期生长抑制率和 ALS 活性,评价不同玉米自交系对除草剂的敏感性差异,从而选择较敏感的自交系作为抗除草剂突变体培育过程中的受体材料。

1 材料和方法

1.1 材料

玉米骨干自交系:C92、京 724、京 2416、B73、郑 58、HZ178 和 178。

试剂:98% 苯磺隆(Tribenuron-methyl)和 96% 甲咪唑烟酸(Imazapic)标准品(上海阿拉丁公司);10% 苯磺隆可湿性粉剂(山东胜邦绿野化学有限公司)和 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂(德国巴斯夫股份有限公司)。

设备:Multiskan FC 酶标仪(Thermo Scientific 公司)和 SPX-250 智能生化培养箱(金坛市医疗仪器厂)。

1.2 试验方法

1.2.1 不同质量浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸对各玉米自交系初生根长的抑制试验 参考柴建方等^[8]的滤纸卷直立发芽法。将 10% 苯磺隆可湿性粉剂和 240 g/L 甲咪唑烟酸水剂用蒸馏水分别稀释为 0.05、0.25、0.50、1.00、2.00 $\mu\text{g/L}$ 的溶液。在 1 L 的玻璃烧杯中加入苯磺隆和甲咪唑烟酸不同质量浓度梯度溶液各 500 mL(空白对照加入等量蒸馏水)。精选大小一致的玉米种子,将规格 25 cm \times 15 cm 的 2 张发芽纸重叠,在距上部边缘 3 cm 左右位置处逐层卷入 6 粒玉米种子,之后用橡皮筋固定,放入装有不同质量浓度除草剂溶液的烧杯中,每个处理重复 3 次,于 SPX-250 智能生化培养箱中,温度(28 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 80% 条件下暗培养 72 h。培养结束后小心取出发芽材料,测量主根长,计算不同质量浓度除草剂对根生长的抑制率,并以抑制率概率值(y)和质量浓度值(x)建立回归方程($y = a + bx$),求出抑制中质量浓度(IC_{50})^[9]。抑制率 = (对照根长 - 处理根长)/对照根长 $\times 100\%$ 。

1.2.2 不同质量浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸对各玉米自交系幼苗生长的抑制试验 以田间划分小区的方式,使每个小区内种植玉米苗数相同。根据 2 种除草剂生产推荐浓度及其溶解性差异分别设置 4 个质量浓度梯度,其中苯磺隆可湿性粉剂试验施用质量浓度分别为 166、334、667、1 334 mg/L ,甲咪唑烟酸水剂试验施用质量浓度分别为 120、240、480、960 mg/L 。用 2 L 手持压缩式喷雾器对三叶一心期玉米茎叶均匀喷雾至表面形成液滴,对照喷施等量清水。

施药前后 24 h 内无降雨,药剂处理 15 d 后调查玉米苗生长受抑制情况,植株受抑制表现为叶片枯黄和新叶牛尾状扭曲不能正常抽出。幼苗生长抑制率 = (死亡株数 + 受抑制株数) / 小区总株数 × 100%。

1.2.3 不同浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸对各玉米自交系胚芽鞘 ALS 活性的影响试验 ALS 的提取:参照范志金等^[10]的方法。取暗培养 3 d 的玉米胚芽鞘 0.5 g,剪碎后放入 4 ℃ 预冷的研钵中,加入 1.8 mL 酶提取液(含 1 mmol/L 丙酮酸钠、0.5 mmol/L MgCl₂、0.5 mmol/L TPP、10 μmol/L FAD 的 0.1 mol/L pH 值 7.0 的磷酸缓冲液)和适量石英砂,冰浴条件下快速研磨匀浆,置于装有 18 mg PVPP 的 2 mL 离心管中,迅速旋涡混匀后置于冰上,于 4 ℃、20 000 g 离心 15 min。取上清液 1.5 mL 转入干净的 2 mL 离心管中,冰置备用。

标准曲线制作:分别在 1.5 mL 离心管中加入 100 μL 的 100、80、60、40、20、10、5、1 nmol/mL 乙偶姻溶液(以 5 μL 蒸馏水为空白,用于调零),加入 0.5% 肌酸 50 μL 和 5% 1-萘酚 50 μL,60 ℃ 金属浴显色 15 min,迅速置于冰浴中冷却 1 min 后,12 000 r/min 离心 2 min,取上清于 520 nm 比色。以 OD₅₂₀ 为横坐标、乙偶姻浓度为纵坐标制作标准曲线。

离体条件下 ALS 活性测定:在 96 孔酶标板中用排枪先加入 50 μL 酶液,然后加入苯磺隆和甲咪唑烟酸溶液至终浓度分别为 0.05、0.5、5、50、500 nmol/L(以磷酸钾缓冲液为对照),再加入 45 μL 酶反应液(含 1 mmol/L 氯化镁、0.1 mmol/L TPP、10 μmol/L FAD - Na₂、40 mmol/L 丙酮酸钠的 20 mmol/L pH 值 7.5 的磷酸钾缓冲液),吸打混匀后在酶标仪上 35 ℃ 温育 1 h。然后加入 3 mol/L 硫酸 10 μL 终止反应,吸打混匀后在酶标仪上 60 ℃ 脱羧 15 min。最后,加入 0.5% 肌酸 50 μL 和 5% 1-萘酚 50 μL,吸打混匀后在酶标仪上 60 ℃ 温育显色 15 min,迅速置于冰浴中冷却 1 min 后,2 700 g 离心 2 min,取上清 200 μL 转入新酶标板中于 520 nm 比色(样品溶液 A)。每份酶液设置 1 个灭活样(空白样品 A₀,50 μL 酶液中先加入 3 mol/L 硫酸 10 μL,再加 45 μL 酶反应液和 5 μL 磷酸钾缓冲液,不进行 35 ℃ 温育,后续同步脱羧和显色)。用样品实测吸光值(A - A₀)代入乙偶姻标准曲线进行线性回归分析,计算出样品鲜质量的酶活性(U/mg,以每小时生成 1 nmol 乙酰乳酸为 1 个活性单位,以乙酰乳酸脱羧生成的乙偶姻进行显色反应)。

1.3 数据统计与处理

试验原始数据均录入 Excel 软件后进行统计和

计算分析。

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸对各玉米自交系初生根长抑制率的影响

不同质量浓度的苯磺隆和甲咪唑烟酸对 7 种玉米骨干自交系的初生根长均有抑制作用,抑制效果均随着除草剂质量浓度的增加明显增强(图 1 和图 2)。在苯磺隆最高质量浓度 2.00 μg/L 下,自交系 C92 的根长抑制率最高(66.4%),自交系 178 的根长抑制率最低(19.5%);在甲咪唑烟酸最高质量浓度 2.00 μg/L 下,自交系 C92 的根长抑制率最高(80.6%),自交系 178 的根长抑制率最低(32.4%)。由此可知,在相同质量浓度下,甲咪唑烟酸对各玉米自交系的抑制效果强于苯磺隆。

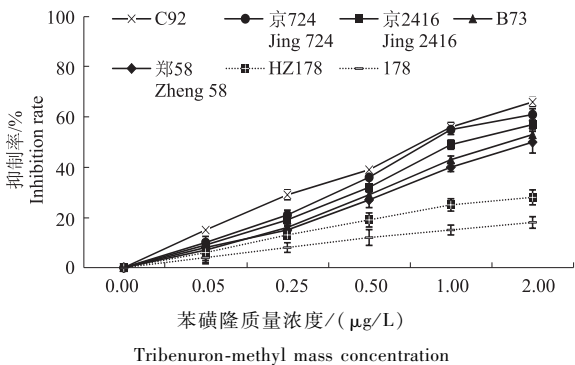


图 1 不同质量浓度苯磺隆对各玉米自交系初生根长抑制率的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of tribenuron-methyl on the inhibition rate of primary root length of mazie inbred lines

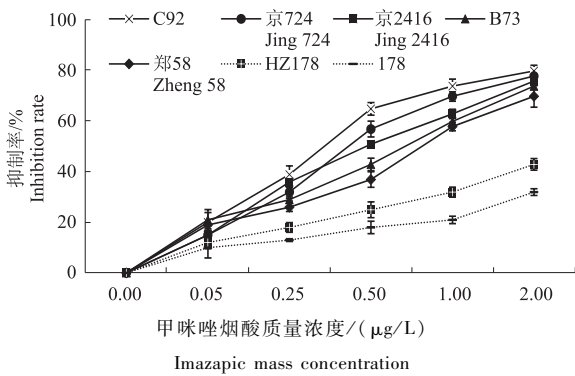


图 2 不同质量浓度甲咪唑烟酸对各玉米自交系初生根长抑制率的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of imazapic on the inhibition rate of primary root length of mazie inbred lines

不同玉米自交系初生根长对苯磺隆和甲咪唑烟酸的敏感性差异如表 1 和表 2 所示,在苯磺隆抑制

下各自交系的 IC_{50} 值为 4.70 ~ 14.19 $\mu\text{g/L}$, 甲咪唑烟酸抑制下各自交系的 IC_{50} 值为 3.70 ~ 9.57 $\mu\text{g/L}$, C92 最为敏感, 178 耐受能力最强。根据 IC_{50} 值, 各自交系对 2 种除草剂的敏感性均为: C92 > 京 724 > 京 2416 > B73 > 郑 58 > HZ178 > 178。

表 1 各玉米自交系初生根长对苯磺隆的敏感性
Tab.1 Sensitivity of the primary root length of maize inbred lines to tribenuron-methyl

玉米自交系 Maize inbred line	回归方程 Regression equation	r^2	$IC_{50}/(\mu\text{g/L})$
C92	$y = 13.229x - 12.133$	0.996 0	4.70
京 724 Jing 724	$y = 12.914x - 14.867$	0.988 2	5.02
京 2416 Jing 2416	$y = 11.943x - 14.133$	0.989 2	5.37
B73	$y = 11.029x - 13.933$	0.988 5	5.79
郑 58 Zheng 58	$y = 10.229x - 12.467$	0.989 0	6.11
HZ178	$y = 5.943x - 5.466$	0.994 7	9.33
178	$y = 3.771x - 3.533$	0.998 3	14.19

表 2 各玉米自交系初生根长对甲咪唑烟酸的敏感性
Tab.2 Sensitivity of the primary root length of maize inbred lines to imazapic

玉米自交系 Maize inbred line	回归方程 Regression equation	r^2	$IC_{50}/(\mu\text{g/L})$
C92	$y = 16.629x - 11.533$	0.960 2	3.70
京 724 Jing 724	$y = 16.486x - 15.533$	0.981 7	3.97
京 2416 Jing 2416	$y = 15.571x - 15.333$	0.994 5	4.19
B73	$y = 14.314x - 12.267$	0.990 9	4.35
郑 58 Zheng 58	$y = 13.743x - 12.933$	0.981 7	4.58
HZ178	$y = 8.057x - 6.533$	0.988 4	7.02
178	$y = 5.657x - 4.133$	0.956 8	9.57

2.2 不同质量浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸对各玉米自交系幼苗生长抑制率的影响

如图 3 所示, 各自交系幼苗的生长抑制率随着苯磺隆质量浓度的提高而升高, 但是各质量浓度梯度的苯磺隆对自交系 178 和 HZ178 的抑制率明显低于其他 5 个自交系。当苯磺隆质量浓度为 334 mg/L 时, 自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 表现较为敏感, 抑制率达到 60.7% 以上; 178 和 HZ178 的抑制率在 11.2% ~ 21.1%, 敏感性较低。当苯磺隆质量浓度达到 667 mg/L 时, 178 和 HZ178 的抑制率在 21.2% ~ 32.3%, 其他 5 个自交系的抑制率均超过 83.3%。当苯磺隆质量浓度提高到 1 334 mg/L 时, 178 和 HZ178 的抑制率在 30.8% ~ 45.0%, 而其他 5 种自交系的抑制率均达到 100%。由此可见, 自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 相比 178 和 HZ178 对除草剂苯磺隆较敏感。

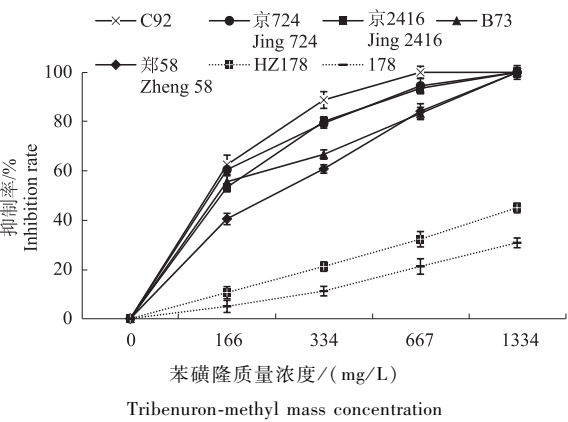


图 3 不同质量浓度苯磺隆对各玉米自交系幼苗生长抑制率的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of tribenuron-methyl on growth inhibition rate of seedlings of maize inbred lines

如图 4 所示, 随着甲咪唑烟酸质量浓度的升高, 各自交系幼苗的生长抑制率逐渐增大。在甲咪唑烟酸质量浓度为 120 mg/L 下, C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 的抑制率均在 50.5% 以上; 而 178 和 HZ178 的抑制率在 30.5% ~ 40.0%, 敏感性略低。当甲咪唑烟酸质量浓度达到 240 mg/L 时, 178 和 HZ178 的抑制率在 50.5% ~ 61.9%, 其他 5 个自交系的抑制率均大于 80.5%。当甲咪唑烟酸质量浓度为 480 mg/L 时, 178 和 HZ178 的抑制率约为 80%, 而其他 5 种自交系的抑制率均达到 100%。在甲咪唑烟酸质量浓度提高至 960 mg/L 时, 7 种自交系全部死亡, 抑制率均达到 100%。

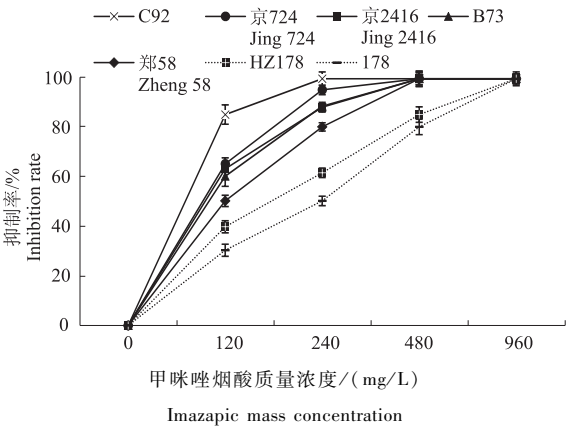


图 4 不同质量浓度甲咪唑烟酸对各玉米自交系幼苗生长抑制率的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of imazapic on growth inhibition rate of seedlings of maize inbred lines

综合 2 种除草剂在相同质量浓度下各自交系幼苗生长的抑制率, 可以推断出不同自交系对 2 种除草剂的敏感性均为: C92 > 京 724 > 京 2416 > B73 >

郑 58 > HZ178 > 178。

2.3 不同浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸对各玉米自交系胚芽鞘 ALS 活性的影响

随着苯磺隆浓度升高,自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 的 ALS 活性均呈现下降趋势;178 和 HZ178 在苯磺隆浓度达到 0.05 nmol/L 之后,ALS 活性相对稳定,其 ALS 活性受苯磺隆影响不明显(图 5)。由此可见,自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 的 ALS 活性相比 178 和 HZ178 对苯磺隆更敏感。

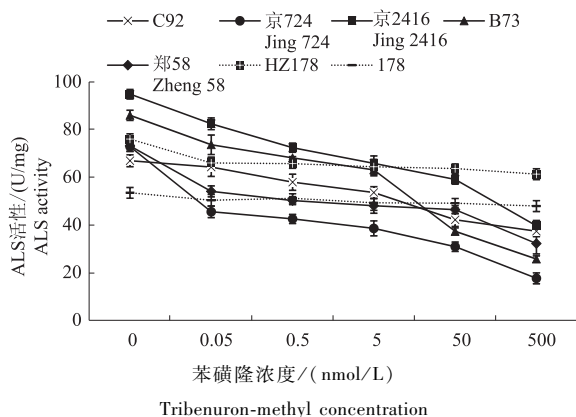


图 5 不同浓度苯磺隆对各玉米自交系 ALS 活性的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of tribenuron-methyl on the ALS activity of maize inbred lines

如图 6 所示,在甲咪唑烟酸浓度为 0.05 nmol/L 时,各玉米自交系胚芽鞘的 ALS 活性都表现出下降的趋势;随后在甲咪唑烟酸浓度升高至 5 nmol/L 期间,各自交系酶活性曲线波动幅度较小;当甲咪唑烟酸浓度从 5 nmol/L 升高至 500 nmol/L 期间,自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 的 ALS 活性曲线显著下降,而 178 和 HZ178 两者酶活性曲线无明显下降趋势。由此推断,在甲咪唑烟酸作为抑制剂的

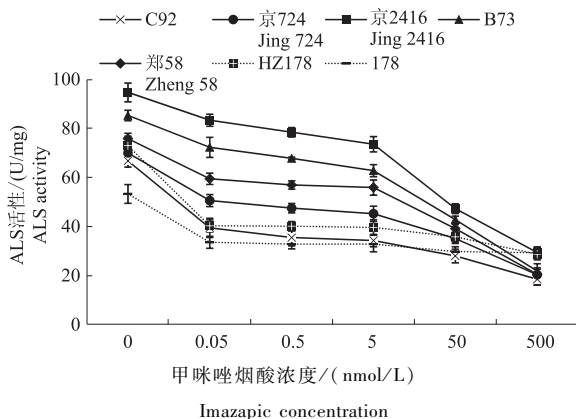


图 6 不同浓度甲咪唑烟酸对各玉米自交系 ALS 活性的影响

Fig. 6 Effects of different concentrations of imazapic on the ALS activity of maize inbred lines

条件下,自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 的 ALS 活性相比 178 和 HZ178 更敏感。

综合图 5 和图 6,2 种除草剂在浓度达到 500 nmol/L 时,甲咪唑烟酸比苯磺隆对玉米胚芽鞘内的 ALS 活性抑制作用更强,由此推断,7 种玉米骨干自交系对甲咪唑烟酸比苯磺隆敏感。

3 结论与讨论

ALS 抑制剂类除草剂在玉米田中主要用于防除禾本科杂草和某些阔叶杂草。目前已经开发的 ALS 抑制剂类除草剂约有 13 类 50 种之多,包括磺酰脲类 (Sulfonylureas, SU)、咪唑啉酮类 (Imidazolinones, IMI)、嘧啶水杨酸类 (Pyrimidinylthiobenzoates, PTB)、三唑并嘧啶类 (Triazolopyrimidines, TP) 等^[11]。磺酰脲类除草剂在玉米生产中应用最多的主要是烟嘧磺隆和砒嘧磺隆,而苯磺隆的应用多集中在小麦上^[12]。咪唑啉酮类除草剂的应用主要在大豆和花生上^[12],在玉米上的应用未见报道。本研究应用 2 种 ALS 抑制剂类除草剂苯磺隆和甲咪唑烟酸探讨 7 种玉米骨干自交系的敏感性差异。初生根长抑制试验结果表明,在苯磺隆和甲咪唑烟酸抑制下各自交系的 IC_{50} 值分别在 4.70 ~ 14.19 $\mu\text{g/L}$ 和 3.70 ~ 9.57 $\mu\text{g/L}$,其中 C92 最为敏感,178 耐受能力最强;幼苗生长抑制试验结果显示,各自交系幼苗的生长抑制率随着苯磺隆和甲咪唑烟酸质量浓度的提高而升高,但苯磺隆对自交系 178 和 HZ178 的抑制率明显低于其他 5 个自交系;ALS 活性试验反映出自交系 C92、京 724、京 2416、B73 和郑 58 的 ALS 活性相比 178 和 HZ178,对抑制剂苯磺隆和甲咪唑烟酸更敏感。以上试验结果表明,7 个自交系对 2 种除草剂的敏感性均为 C92 > 京 724 > 京 2416 > B73 > 郑 58 > HZ178 > 178,各自交系均对甲咪唑烟酸更敏感;自交系 C92、京 724 和京 2416 相比 B73、郑 58、178 和 HZ178 均对苯磺隆及甲咪唑烟酸更加敏感,是利用基因编辑技术筛选培育抗 ALS 抑制剂类除草剂突变体的优良受体材料。

自 20 世纪 70 年代以来,国内开发出一系列超高效磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂,针对这类除草剂在实际应用中对一些敏感作物产生药害等问题,国内外专家学者进行了大量研究。陈锡岭等^[13]发现,苄嘧磺隆对玉米不同品种根的生长有不同的抑制作用。谢娜等^[14]发现,不同玉米品种对氯吡嘧磺隆的耐药性有较大差异,其中甜玉米耐药性最差。已有研究表明,玉米不同类型品种对烟嘧磺隆耐药性的差异是作物的遗传特性和所处的环境条件等因

素共同作用的结果,其中作物的遗传特性是其产生耐药性的主要因素^[15]。本研究通过对试验结果的平行比较和趋势分析发现,自交系对苯磺隆和甲咪唑烟酸的敏感性均依次为 C92 > 京 724 > 京 2416 > B73 > 郑 58 > HZ178 > 178,同时这些材料对甲咪唑烟酸比苯磺隆更为敏感。对于 C92 等对 ALS 抑制剂类除草剂较敏感的材料,应在生产中选择合适剂量以避免发生药害。

王焕民^[16]通过研究表明,由于磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂的水溶性不同,外界条件中土壤 pH 值对于两者的活性和安全性影响较大。KOEPE 等^[17]指出,不同植物对磺酰脲类除草剂的耐药性差异主要与其代谢降解速度有关。另有 YOON 等^[18]指出,Lys255F 和 Lys255Q 突变可以导致植物对磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂产生很强的抗性。对 ALS 抑制剂类除草剂的抗性机制可概括为:(1)除草剂在作物体内的代谢功能提升;(2)作用靶标发生变异使除草剂毒力降低;(3)作物不同的吸收和传导作用使到达作用部位的药量下降^[19]。本研究在生理和形态指标上初步探索了玉米不同骨干自交系对不同浓度苯磺隆和甲咪唑烟酸的耐药性差异,对于各自交系间产生这些差异的原因,有待于从代谢降解途径和 ALS 作用靶标等生化机制方面开展进一步的研究。

参考文献:

- [1] 刘天金,王玉玺,宁明宇,等.我国玉米种业转型升级的路径与策略探讨[J].中国种业,2018(2):1-7.
- [2] 赵国顺,陈素省,宋丽娜.新型玉米除草剂的防效与评价研究[J].华北农学报,2006,21(S2):203-205.
- [3] 降磊,韩文清,尹蓉,等.玉米田除草剂的对比试验[J].山西农业科学,2017,45(7):1146-1148,1152.
- [4] 柴超,叶非.安全剂减轻磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂药害的作用机制[J].农药科学与管理,2001,22(6):34-36.
- [5] 张金林,石键,李川,等.磺酰脲除草剂对不同作物的敏感度测定[J].河北农业大学学报,1997,20(4):42-46.
- [6] 苏旺苍,孙兰兰,吴仁海,等.甲咪唑烟酸模拟残留对后茬作物的敏感性[J].农药,2014,53(4):260-262.
- [7] 赵爽,叶非.咪唑啉酮类除草剂的应用及降解[J].植物保护,2009,35(2):15-19.
- [8] 柴建方,杜义英,李灵芝,等.一种改进的滤纸卷直立发芽法[J].种子,1997(1):71-72.
- [9] 刘伟,王金信,杨广玲,等.不同小麦品种对苯磺隆耐药性差异及其机理[J].植物保护学报,2005,32(3):300-304.
- [10] 范志金,陈俊鹏,党宏斌,等.单嘧磺隆对靶标乙酰乳酸合成酶活性的影响[J].现代农药,2003,2(2):15-17.
- [11] MALLORY-SMITH C A, RETZINGER E J. Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies[J]. Weed Technology, 2003,17(3):605-619.
- [12] 郑培忠,沈健英.乙酰乳酸合成酶抑制剂的种类及其耐药性研究进展[J].杂草科学,2009(2):4-8.
- [13] 陈锡岭,周增莲.磺酰脲类除草剂对玉米敏感性研究[J].河南职业技术学院学报,2000,28(2):14-17.
- [14] 谢娜,毕亚玲,李凌绪,等.不同玉米品种对氯吡嘧磺隆的耐药性差异及其机制[J].植物保护学报,2012,39(6):567-572.
- [15] 王健,钟雪梅,吕香玲,等.不同品种玉米对烟嘧磺隆的耐药性研究进展[J].农药学报,2016,18(3):282-290.
- [16] 王焕民.磺酰脲类及咪唑啉酮类除草剂的特性及其应用问题[J].农药科学与管理,1995,16(1):18-21.
- [17] KOEPE M K, BAREFOOT A C, COTTERMAN C D, *et al.* Basis of selectivity of the herbicide flupyr-sulfuron-methyl in wheat[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1997,59(2):105-117.
- [18] YOON T Y, CHUNG S M, CHANG S I, *et al.* Roles of lysine 219 and 255 residues in tobacco acetolactate synthase[J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 2002,293(1):433-439.
- [19] 吴明根,曹凤秋,刘亮.磺酰脲类除草剂对抗、感性雨久花乙酰乳酸合成酶活性的影响[J].植物保护学报,2007,34(5):545-548.