

技术与应用

Technology & Application

玉米田两种阔叶杂草藜及苍耳对草甘膦的敏感性测定

贾芳, 崔海兰, 李香菊, 于惠林*

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 苍耳 *Xanthium strumarium* 和藜 *Chenopodium album* 是常见的两种阔叶杂草,其在玉米田发生严重,影响了玉米的生长和产量。本文利用整株生物测定法对我国东北及黄淮海玉米产区采集到的苍耳及藜种群对草甘膦的敏感性进行了测定。种子室内培养至5~6叶期,喷施草甘膦后14 d称量鲜重,计算抑制杂草种群50%个体生长的草甘膦剂量(GR₅₀)。草甘膦对10个苍耳种群 GR₅₀ 在 54.87~249.75 g/hm²,平均值为(111.53±20.02)g/hm²,均低于450 g/hm²(1/2倍推荐剂量),表明10个苍耳种群均对草甘膦敏感;草甘膦对33个藜种群 GR₅₀ 范围在97.05~920.86 g/hm²,平均值为(313.88±24.70)g/hm²,93%的种群 GR₅₀ 低于450 g/hm²,表明绝大多数藜种群对草甘膦比较敏感,仅发现一个藜种群 GR₅₀ 大于900 g/hm²(田间推荐剂量),表明其对草甘膦具有一定耐受性。

关键词 杂草; 玉米; 草甘膦; 敏感性

中图分类号: S 451.22 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019596

Sensitivity of two broadleaf weeds *Xanthium strumarium* and *Chenopodium album* to glyphosate in corn fields

JIA Fang, CUI Hailan, LI Xiangju, YU Huilin*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract *Xanthium strumarium* and *Chenopodium album* are two common broad-leaf weeds, and their occurrence seriously affected corn growth and reduce yield in corn fields. In our study the whole plant bioassay was used to determine the sensitivity to glyphosate of ten populations of *X. strumarium* and 33 populations of *C. album* collected from two major corn producing areas, Northern China and Huanghuaihai. The seeds of two weeds were sowed in greenhouse, and the glyphosate was applied at the 5-6 leaf stage of the weeds. 14 days after glyphosate application, fresh weight of plants was weighted and GR₅₀ values were calculated, respectively. GR₅₀ values of glyphosate to ten populations of *X. strumarium* ranged from 54.87 to 249.75 g/hm² with the average value of (111.53±20.02)g/hm², which were lower than 450 g/hm² (1/2 recommended dose), showing that all populations of *X. strumarium* were sensitive to glyphosate. Among *C. album* populations, GR₅₀ values ranged from 97.05 to 920.86 g/hm² and its average value was (313.88±24.70)g/hm². The GR₅₀ values of 93% *C. album* populations were less than 450 g/hm², indicated that the vast majority of *C. album* populations were sensitive to glyphosate. And only one population of *C. album* showed a GR₅₀ value of above 900 g/hm² (recommended dose), indicating that it had a certain degree of tolerance to glyphosate.

Key words weed; corn; glyphosate; sensitivity

玉米是重要的粮食、经济和饲料作物,在我国农业生产和国民经济中占据重要地位。杂草的发

生与危害是制约玉米高产的重要因素^[1]。玉米田杂草的防除主要依赖于化学防除,然而近年来越来越

越多的抗除草剂(包括莠去津和乙酰乳酸合成酶抑制剂等)杂草种类被发现^[2],不但降低了除草效果还增加了除草成本^[3]。自1996年美国孟山都公司首次推出转基因抗草甘膦(glyphosate-resistant, GR)大豆以来,使得灭生性除草剂草甘膦应用于作物田,杀死杂草而不伤害作物,除草方式不但变得简单灵活,而且提高了除草效果、降低了除草成本,近年来随着全球转基因技术与产业应用快速发展,种植转基因抗除草剂玉米已成为玉米田杂草防除的一个重要手段。至2018年,全球转基因抗除草剂(包括IR/HT复合性状)玉米种植面积为0.53亿hm²^[4]。

在转基因抗除草剂作物田中由于过度单一地依赖草甘膦的除草方式和少耕免耕的耕作制度,杂草抗药性问题越来越突出。至2019年9月全球已报道对草甘膦产生抗性杂草种类有44种^[2],在转基因抗除草剂作物种植面积最大的国家美国报道有13种抗性杂草发生于抗草甘膦作物(棉花、玉米、大豆)田中。如抗草甘膦长芒苋 *Amaranthus palmeri* 在美国27个州出现、糙果苋 *Amaranthus tuberculatus* 是美国18个州难防治杂草^[5]。另外一些对草甘膦不敏感的天然耐受型杂草种类也被发现,如1976年Gotttrup等首次报道对草甘膦具有耐受性的乳浆大戟 *Euphorbia esula*^[6],之后陆续有打碗花 *Calystegia hedracea*、田旋花 *Convolvulus arvensis*、竹节菜 *Commelina diffusa*、狗肝菜 *Diclipterachinensis*、饭包草 *Commelina benghalensis*、鸭跖草 *Commelina communis*、藜 *Chenopodium album* 等25种杂草^[7-14]。

苍耳 *Xanthium strumarium* L. 为菊科苍耳属一年生草本植物,别名苍耳子、老苍子、野茄子等^[15]。苍耳具有较强的抗逆性和适应性,可以在干旱贫瘠的土壤中萌发,且萌发期很长,从4月初到6月底均可萌发,难以防除^[16]。苍耳在我国分布广泛,多发生于北方秋熟旱作田及南方旱田,主要危害玉米、花生、大豆、高粱、谷子、棉花等作物,也是一些害虫如棉铃虫、玉米螟等的寄主^[17-18]。藜 *Chenopodium album* L. 为苋科藜属植物,别名灰菜、灰藜、灰蓼头草等,是一年生草本植物,其为全世界分布最广的杂草之一^[19]。藜的繁殖力强、结实率高,单株可结72450粒种子^[17],生长速度快,尤其是在短日照、天气较为寒冷时其生长速度更快^[20]。免耕、作物轮

作、施肥过量等都会促进藜的发生^[21]。在农田生态系统中这两种杂草因自身的这些生长特性及一些农事操作都可使其与作物竞争养分、水分、光和空间,严重影响了作物产量^[17-24]。在中国黄淮海及北方玉米产区的玉米田中,藜和苍耳均为常见杂草,早春时期便开始萌发并可持续整个夏天,其发生影响玉米长势,造成玉米产量严重下降^[25-31]。在我国,转基因抗草甘膦玉米尚未商业化种植,目前国内也未见玉米田苍耳和藜对草甘膦耐受性水平测定的报道。本研究采集了我国北方及黄淮海两大玉米主产区的两种杂草种子,采取整株生物测定法检测其对草甘膦的耐受水平,明确我国两大玉米主产区两种杂草对草甘膦的耐受水平,为将来转基因抗草甘膦玉米商业化种植后杂草防除及草甘膦合理施用提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 供试藜及苍耳种群信息

种子于2017年和2018年采自北方玉米产区(黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古)和黄淮海玉米产区(北京、河北、山东、山西、陕西)的玉米田。采集地点详细信息见表1和表2。

表1 苍耳采集地点

Table 1 Collecting site of *Xanthium strumarium*

序号 Number	年份 Year	采集地点 Collecting site	经纬度信息 Longitude and latitude	种群编号 Population number
1	2017	北京市延庆区永宁镇 西山沟村	40°32'N 116°08'E	C-17-1
2	2018	北京市海淀区中国农 业大学上庄实验站	40°08'N 116°11'E	C-18-2
3		河南省南阳市南邵县 陆家庄	33°16'N 112°37'E	C-18-4
4		山西省吕梁市临县大 南塔村	37°46'N 111°00'E	C-18-19
5		山西省吕梁市双塔村	37°46'N 110°57'E	C-18-20
6		山西省太原市阳曲县 莎沟村	38°04'N 112°42'E	C-18-21
7		陕西省西安市长安区 东甘村	34°02'N 108°59'E	C-18-22
8		河北省保定市满城县 杨家佐村	38°57'N 115°17'E	C-18-31
9		河北省廊坊市安次区 后南庄	39°32'N 116°40'E	C-18-32
10		河南省新乡市中国农业 科学院原阳实验基地	35°09'N 113°47'E	C-18-37

表 2 藜种群采集地点

Table 2 Collecting site of *Chenopodium album* population

序号 Number	年份 Year	采集地点 Collecting site	经纬度信息 Longitude and latitude	种群编号 Population number	序号 Number	年份 Year	采集地点 Collecting site	经纬度信息 Longitude and latitude	种群编号 Population number
1	2017	北京市延庆区永宁镇西山沟村	40°32'N 116°08'E	L-17-1	18		吉林省松原市扶余市韩家村	45°03'N 125°52'E	L-18-27
2		北京市海淀区中国农业大学上庄实验站	40°08'N 116°11'E	L-17-2	19		辽宁省沈阳市法库县小岭村	42°07'N 123°26'E	L-18-28
3		内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区榆林镇陶卜齐村	40°53'N 112°05'E	L-17-3	20		辽宁省沈阳市石佛寺朝鲜族锡伯特村	42°08'N 123°23'E	L-18-29
4	2018	北京市延庆区永宁镇西山沟村	40°32'N 116°08'E	L-18-5	21		内蒙古自治区呼和浩特市赛罕区榆林镇陶卜齐村	40°53'N 112°05'E	L-18-31
5		河北省保定市满城县杨家佐村	38°57'N 115°17'E	L-18-6	22		内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗魏家峁镇范家峁村	39°31'N 111°23'E	L-18-32
6		河北省保定市雄县朱各庄镇胡家台村	39°02'N 116°07'E	L-18-7	23		山东省青岛市温泉镇西温泉村	36°03'N 120°22'E	L-18-33
7		河北省衡水市饶阳县东崔村	38°15'N 115°45'E	L-18-8	24		山东省德州市齐河县刘桥镇战庄村	36°43'N 116°39'E	L-18-34
8		黑龙江省哈尔滨市双城区光华村	45°23'N 126°18'E	L-18-10	25		山东省聊城市东昌街区玉洪木村	36°29'N 116°06'E	L-18-36
9		黑龙江省哈尔滨市南岗区振兴村	45°41'N 126°37'E	L-18-12	26		山东省临沂市临沭县大兴镇捞枝街村	34°51'N 118°33'E	L-18-39
10		黑龙江省海伦市鸡纳公路与建设东街交叉口	46°38'N 126°58'E	L-18-13	27		山西省吕梁市临县大南塔村	37°46'N 111°01'E	L-18-40
11		黑龙江省齐齐哈尔市克东县乾丰镇丰收村	47°47'N 126°15'E	L-18-15	28		山西省忻州市岢岚县石窑坪村	38°40'N 111°24'E	L-18-44
12		黑龙江省绥化市兰西县城南村	46°18'N 126°17'E	L-18-18	29		陕西省宝鸡市扶风县城关镇南沟村	35°01'N 106°58'E	L-18-45
13		黑龙江省绥化市明水县义发村	47°10'N 125°54'E	L-18-19	30		陕西省商洛市柞水县下梁村	33°38'N 109°09'E	L-18-46
14		黑龙江省绥化市望奎县莲花镇前二村	46°55'N 126°51'E	L-18-21	31		陕西省铜川市何家坊村	35°14'N 109°00'E	L-18-47
15		吉林省公主岭市朝阳坡镇辽河村	43°35'N 124°42'E	L-18-22	32		陕西省渭南市富平县梅家坪镇米家堡	34°53'N 108°59'E	L-18-48
16		吉林省农业科学院公主岭实验基地	43°31'N 124°48'E	L-18-24	33		陕西省西安市长安区五台街道东甘村	34°02'N 108°59'E	L-18-50
17		吉林省长春市响水镇四合村	44°09'N 125°50'E	L-18-26					

1.2 试验试剂及仪器

41%草甘膦异丙胺盐水剂(AS),商品名称为农达,孟山都公司生产。ASS-4 型行走式喷雾塔(配备 Tee Jet 8002 扇形喷头,喷雾压力 0.275 MPa),由国家农业信息化工程研究中心研制。

1.3 试验方法

苍耳种子浸泡在清水中 24 h,剪去果柄后点播在花盆(直径:8 cm,高:8 cm)中。藜种子在 0.8% 赤霉素中浸泡 24 h 破除休眠后,过纱网去除浸泡液,将其放入塑料盒(长×宽×高:12 cm×12 cm×5 cm)中晾干,播种在花盆(直径:8 cm,高:8 cm)中。

选择未经除草剂处理的表层土壤,放烘箱中 100℃ 烘 2 h,土壤、营养土与蛭石以 3:1:1 的比例混匀使用。种子播种后放置于温室培养,温度为 25~30℃,RH 50%~60%,光照周期 L//D=14 h//10 h。待藜和苍耳生长至 5~6 叶期,每盆留 5~7 株,茎叶喷雾处理。草甘膦田间推荐剂量(有效成分)为 675.00~1 125.00 g/hm²,本文选择 900.00 g/hm² 作为推荐剂量。本试验设置剂量为 0、28.13、56.25、112.50、225.00、450.00、900.00、1 800.00 g/hm²,每处理重复 5 次。喷药后 14 d 称取地上部分鲜重,计算生长抑制率。

生长抑制率=(对照组鲜重-处理组鲜重)/对照组鲜重×100%。

1.4 数据处理

使用统计软件 SigmaPlot12.0 (Systat Software, San Jose, CA.) 软件对药剂剂量与生长抑制率进行回归分析, 得出剂量-反应曲线、相关系数、抑制50%杂草个体生长的草甘膦剂量(GR₅₀)。计算公式为 $Y=C+(D-C)/[1+(X/X_0)^b]$, 公式中 X 代表处理剂量, X₀ 代表 GR₅₀, b 代表曲线在 X₀ 处的斜率, D 代表待测指标上限, C 代表待测指标下限^[32], 采用 F 检测验证回归方程的显著性。

2 结果与分析

2.1 苍耳对草甘膦的敏感性

不同苍耳种群对草甘膦的敏感性如表 3 所示。本文中 10 个苍耳种群都采自黄淮海玉米主产区, 苍耳的 GR₅₀ 范围在 54.87~249.75 g/hm² 平均值为 (111.53±20.02)g/hm² 均低于 450.00 g/hm²。采自河南陆家庄 C-18-4 的苍耳 GR₅₀ 最高, 为 249.75 g/hm²; 采自山西吕梁 C-18-20 的苍耳 GR₅₀ 最低, 为 54.87 g/hm²。在喷施 900.00 g/hm² 的草甘膦后, 所有植株在第

2 天开始表现出受害症状, 叶缘黄化干枯、老叶脱落, 至第 5 d 植株叶片整体褪绿, 植株明显萎蔫, 生长停滞, 至第 7 d 所有植株均死亡。在喷施 450.00 g/hm² 的草甘膦处理的植株在第 1 天、第 2 天均无明显受害症状, 至第 3 天开始逐渐有植株新叶叶缘发黄和老叶脱落, 至第 7 天植株已经明显矮化, 生长停滞, 至第 11 天植株全部死亡。

2.2 藜对草甘膦的敏感性

藜不同种群对草甘膦的耐受水平如表 4 所示, GR₅₀ 的范围在 97.05~920.86 g/hm², GR₅₀ 低于 450.00 g/hm² 的种群占全部种群的 93.94%(图 1), GR₅₀ 平均值为 (313.88±24.70)g/hm²; 黄淮海地区藜种群的 GR₅₀ 均低于 450.00 g/hm² (图 1), 平均值为 (273.46±22.79) g/hm² (图 3); 北方地区藜种群 GR₅₀ 低于 450.00 g/hm² 的种群占北方地区全部种群的 87.50%(图 1), 平均值为 (356.83±30.02) g/hm² (图 3)。内蒙古陶卜齐村连续两年采集到的种群 L-17-3 和 L-18-31 的种群 GR₅₀ 最高, 分别为 545.33 和 920.86 g/hm² (表 4)。在各个省份藜种群 GR₅₀ 平均值中, 内蒙古最高, 为 (596.42±196.32)g/hm²; 山东省最低, 为 (127.61±30.53)g/hm² (图 2)。

表 3 苍耳对草甘膦敏感性

Table 3 Sensitivity of *Xanthium strumarium* to glyphosate

序号 Number	种群编号 Population number	GR ₅₀ / g·(hm ²) ⁻¹	剂量反应方程 Dose-response equation	相关系数 Correlation coefficient
1	C-17-1	181.39	Y=57.51[1+(X/181.39) ^{4.48}]+42.17	0.99
2	C-18-2	69.96	Y=110.73[1+(X/69.96) ^{0.62}]-10.83	0.99
3	C-18-4	249.75	Y=92.73[1+(X/249.75) ^{2.44}]+5.41	0.99
4	C-18-19	81.78	Y=102.61[1+(X/81.78) ^{0.91}]-2.66	0.99
5	C-18-20	54.87	Y=94.28[1+(X/54.87) ^{1.83}]+6.28	0.99
6	C-18-21	151.99	Y=85.86[1+(X/151.99) ^{3.56}]+13.60	0.99
7	C-18-22	67.29	Y=90.41[1+(X/67.30) ^{7.59}]+9.59	0.99
8	C-18-31	108.13	Y=98.87[1+(X/108.13) ^{0.97}]+0.11	0.99
9	C-18-32	75.90	Y=93.79[1+(X/75.9) ^{1.56}]+6.47	0.99
10	C-18-37	74.28	Y=100.58[1+(X/74.28) ^{1.11}]-2.08	0.99

表 4 藜对草甘膦敏感性测定

Table 4 Sensitivity of *Chenopodium album* to glyphosate

玉米产区 Corn producing area	种群编号 Population number	GR ₅₀ / g·(hm ²) ⁻¹	剂量反应方程 Dose-response equation	相关系数 Correlation coefficient
北方玉米产区 Corn producing areas of Northern China	L-17-3	545.33	Y=85.36[1+(X/545.33) ^{5.73}]+3.59	0.99
	L-18-10	369.75	Y=105.30[1+(X/369.75) ^{0.87}]-5.98	0.99
	L-18-12	282.24	Y=82.66[1+(X/282.24) ^{1.11}]+16.66	0.99
	L-18-13	368.32	Y=95.10[1+(X/368.32) ^{1.13}]+5.719	0.99
	L-18-15	445.95	Y=93.77[1+(X/445.95) ^{1.86}]+3.14	0.97
	L-18-18	256.02	Y=91.08[1+(X/256.02) ^{1.63}]+7.98	0.99
	L-18-19	228.98	Y=95.54[1+(X/228.98) ^{2.86}]+2.58	0.99
	L-18-21	252.35	Y=93.18[1+(X/252.35) ^{2.61}]+5.73	0.99
	L-18-22	264.40	Y=104.26[1+(X/264.40) ^{1.27}]-5.35	0.99
	L-18-24	344.38	Y=94.80[1+(X/344.38) ^{2.64}]+0.99	0.99

续表 4 Table 4(Continued)

玉米产区 Corn producing area	种群编号 Population number	GR ₅₀ / g·(hm ²) ⁻¹	剂量反应方程 Dose-response equation	相关系数 Correlation coefficient
	L-18-26	280.88	Y=76.25[1+(X/280.88) ^{1.53}]+24.58	0.99
	L-18-27	247.13	Y=95.13[1+(X/247.13) ^{2.40}]+0.49	0.98
	L-18-28	336.93	Y=91.25[1+(X/336.93) ^{2.19}]+7.98	0.99
	L-18-29	323.65	Y=107.90[1+(X/323.65) ^{1.03}]-8.56	0.98
	L-18-31	920.86	Y=106.43[1+(X/920.86) ^{2.22}]-13.50	0.98
	L-18-32	242.07	Y=94.76[1+(X/242.07) ^{1.95}]+4.24	0.99
黄淮海玉米产区 Producing areas of Huanghuaihai	L-17-1	394.18	Y=94.69[1+(X/394.18) ^{1.77}]+4.08	0.98
	L-17-2	236.12	Y=90.53[1+(X/236.12) ^{3.93}]+11.08	0.99
	L-18-5	292.45	Y=94.72[1+(X/292.45) ^{6.85}]+5.27	0.99
	L-18-6	270.94	Y=96.16[1+(X/270.94) ^{4.60}]+4.08	0.99
	L-18-7	356.09	Y=100.31[1+(X/356.09) ^{2.30}]-1.47	0.99
	L-18-8	370.00	Y=95.23[1+(X/370.00) ^{4.98}]+4.98	0.99
	L-18-33	97.05	Y=96.84[1+(X/97.05) ^{1.67}]-0.43	0.99
	L-18-34	97.11	Y=104.37[1+(X/97.11) ^{1.13}]-4.56	0.98
	L-18-36	188.66	Y=98.46[1+(X/188.66) ^{2.48}]+0.65	0.99
	L-18-39	267.62	Y=91.38[1+(X/267.62) ^{4.93}]+7.89	0.99
	L-18-40	209.95	Y=97.18[1+(X/209.95) ^{2.32}]+0.76	0.99
	L-18-44	360.40	Y=88.61[1+(X/360.40) ^{1.75}]+9.50	0.99
	L-18-45	365.40	Y=93.29[1+(X/365.40) ^{3.16}]+2.96	0.99
	L-18-46	394.83	Y=112.29[1+(X/394.83) ^{0.70}]-12.60	0.99
	L-18-47	276.15	Y=83.59[1+(X/276.15) ^{4.89}]+5.50	0.99
	L-18-48	206.33	Y=95.21[1+(X/206.33) ^{2.92}]+4.68	0.99
	L-18-50	265.61	Y=265.61[1+(X/265.61) ^{3.095}]+3.11	0.99

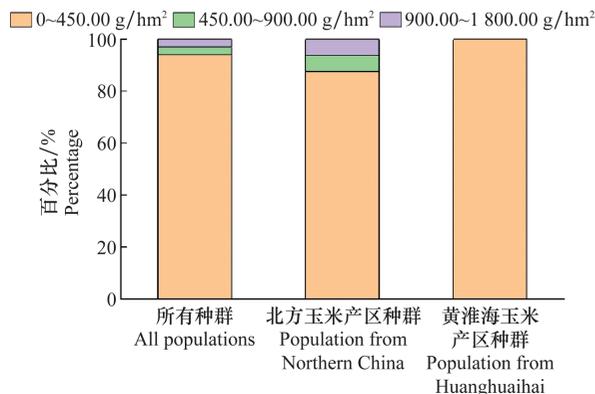


图 1 藜种群 GR₅₀ 占有所有种群的百分比分布情况
Fig. 1 Distribution of percentage of GR₅₀ values in total *Chenopodium album* populations

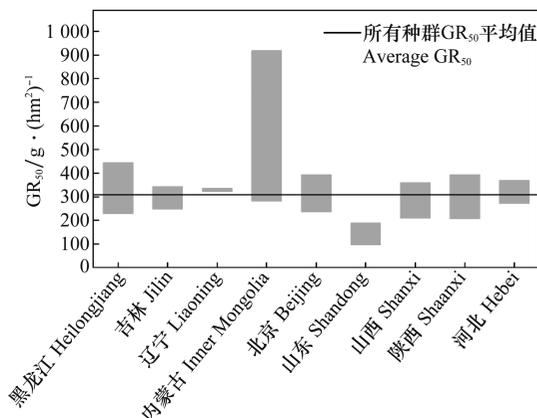


图 2 不同省份藜种群 GR₅₀ 分布
Fig. 2 Distribution of *Chenopodium album*'s GR₅₀ in different provinces

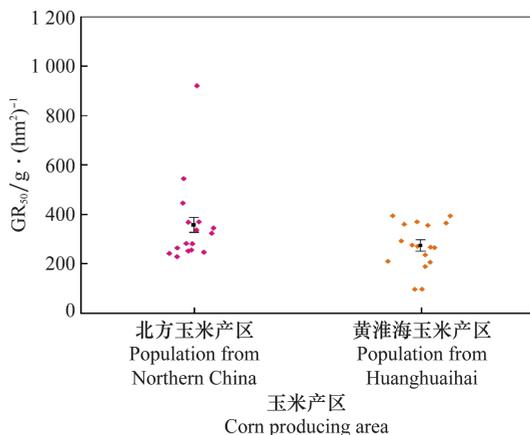


图 3 两玉米产区藜种群 GR₅₀ 分布情况
Fig. 3 Distribution of *Chenopodium album*'s GR₅₀ in two areas

3 讨论

本文从黄淮海玉米产区采集到的 10 个苍耳种群,其 GR₅₀ 均值为 (111.53 ± 20.02) g/hm²,所有种群对草甘膦均敏感;从北方及黄淮海玉米产区采集 33 个藜种群 GR₅₀ 均值为 (313.88 ± 24.70) g/hm²,其中大多数种群很敏感,但个别种群如内蒙古陶卜齐村藜种群 GR₅₀ 为 920.86 g/hm²,对草甘膦有一定的耐受性,需引起密切的关注。

天然对草甘膦具有耐受性的杂草与经过长期筛

选而存活下来的抗性杂草相比,因其天然耐受除草剂的能力可遗传,对转基因抗草甘膦作物的推广和种植危害更大^[17]。随着转基因耐草甘膦作物种植面积日益增长,草甘膦的使用量逐渐增加^[33],越来越多的对草甘膦有天然耐受性的杂草种类被发现^[34],其对草甘膦的耐受机制也被解析。比如杂草有独特的 EPSPS 蛋白结构(如田旋花)、EPSPS 拷贝数及基因表达量增加(如阔叶山麦冬 *Liriope muscari*)、杂草植株有利的形态生理特性(瘤梗番薯 *Ipomoea lacunosa*)和有效的代谢及传导(如苘麻 *Abutilon theophrasti*)等赋予了杂草对草甘膦的天然耐受性,并且一些杂草对草甘膦的耐受性同时存在多种机制^[14]。

在美国,1989 年 Barrentine 和 McWhorter 首次发现在密西西比的大豆田中苍耳对 ALS 类除草剂氯嘧磺隆和咪唑乙烟酸产生抗性^[35],此后越来越多关于苍耳抗 ALS 类除草剂(灭草唑、咪唑烟酸、咪唑乙烟酸、氯酯磺草胺等)的报道^[36-40]。玉米田中常见杂草绿穗苋 *Amaranthus hybridus*、长芒苋 *A. palmeri*、反枝苋 *A. retroflexus*、豚草 *Ambrosia artemisiifolia*、地肤 *Kochia scoparia*、牛筋草 *Eleusine indica* 等对 ALS 类除草剂也产生了抗性,使得 ALS 类除草剂难以在玉米田继续使用^[2]。在我国东北地区玉米田莠去津应用已有十几年历史,在这种用药背景下苍耳已经演替为优势杂草并在局部大发生^[41]。且莠去津在环境中残留期较长,不但对后茬作物造成影响还污染环境^[42]。草甘膦作为低毒、低残留、广谱除草剂,可有效防治苍耳。Clay 等曾报道用 420 g/hm² 的草甘膦喷施处于结实期的苍耳,可以使苍耳种子百粒重减少 69%、单株种子量下降 70%^[43]。草甘膦处理后植物体内莽草酸积累量可作为判断植物是否对草甘膦敏感的一个指标^[44],Mueller 等检测 9 种杂草在喷施 540 g/hm² 草甘膦后的莽草酸积累量,发现苍耳体内莽草酸含量最高,为 2 000 mg/L^[45],本试验中检测到黄淮海地区苍耳的 GR₅₀ 远低于田间推荐剂量,目前也未有苍耳对草甘膦抗性或耐性的报道。

Loux 等发现长期喷施草甘膦的转基因大豆田中,藜对草甘膦的敏感性降低^[46],而在长期施用草甘膦 8 年的转基因抗草甘膦玉米田中,藜已经演变成优势杂草^[47]。长期单一喷施草甘膦,导致农田中藜对草甘膦耐受水平显著提高,当与不施用任何除草剂农田中生长的藜同时喷施草甘膦后,长期单一喷施草甘膦的农田中的藜死亡率显著下降^[48]。

Schuster 等发现当藜植株高度为 2.5 cm,草甘膦对其生长抑制 GR₅₀ 在 430~560 g/hm²;当植株高度为 15 cm,GR₅₀ 在 1 010~2 770 g/hm²^[49],有研究证明,在藜 20 cm 高时喷施草甘膦,草甘膦的 GR₅₀ 会比 10 cm 喷施时高 1.9~3 倍^[50]。刘小龙从无草甘膦用药史的地区采集到藜并通过整株生物测定法测定了草甘膦对藜 5 叶期时的 GR₅₀,为 215.27 g/hm²^[51]。本文研究发现绝大多数藜种群对草甘膦没有耐受性。东北地区的藜种群较黄淮海地区种群对草甘膦的耐受性强,可能是由于地区间植物形态差异造成的,虽所有种群生长时间相同,但东北地区种群与黄淮海地区种群比较,植株普遍偏高,植株生物量增加,因此单位面积的植物组织所接收到的有效成分减少;另外植株生物量增加,使得植物组织中的钙含量也相应增加,而植物组织中的阳离子钙与除草剂阴离子具有拮抗效应^[49,52]。

在 GR 作物田中少耕或免耕的耕作制度和单一依赖草甘膦控制杂草策略在很大程度上影响了杂草群落组成和密度,为特定适应的杂草种类增长提供了生态机会,并导致杂草种群的重大变化,以至于不可避免地发生种群的演替。这种种群演替带来的结果将增加杂草防除难度和成本,限制 GR 作物的可持续应用^[34]。虽然在我国并未商业化种植转基因抗草甘膦玉米,但应借鉴国外长期种植转基因抗除草剂作物的经验,在转基因抗草甘膦作物田防除杂草时,应避免长期、单一地喷施草甘膦,可以使用不同作用模式的除草剂如 2,4-滴、莠去津、硝磺草酮等混用;结合苗前除草和生长期除草,苗前除草可使用甲草胺、乙草胺等,生长期可使用烟嘧磺隆、砒磺隆、莠去津^[53-54]。

参考文献

- [1] 谢树章, 杨小艳, 林清, 等. 抗草甘膦转基因玉米研究进展 [J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(3): 36-41.
- [2] HEAP I. The international survey of herbicide resistant weeds [EB/OL]. [2019-09-16]. <http://www.weedscience.org>.
- [3] 李香菊, 梁帝允, 袁会珠. 除草剂科学使用指南 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2015: 5-8.
- [4] JAMES C. ISAAA brief 54: Global status of commercialized biotech/GM crops in 2018 [DB/OL]. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, Ithaca, NY: 2018. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54>.
- [5] 张翼翻. 全球抗草甘膦杂草的概况 [J]. 世界农药, 2018, 40(3): 38-45.
- [6] GOTTRUP O, O'SULLIVAN P A, SCHRAA R J, et al. Uptake, translocation, metabolism and selectivity of glyphosate in Canada thistle and leafy spurge [J]. Weed Research,

- 1976, 16(3): 197 - 201.
- [7] ULLOA S M, OWEN M D K. Response of Asiatic dayflower (*Commelina communis*) to glyphosate and alternatives in soybean [J]. *Weed Science*, 2009, 57(1): 74 - 80.
- [8] 刘延. 田旋花和打碗花对草甘膦的耐药性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008: 55 - 84.
- [9] SHERRICK S L, HOLT H A, HESS F D. Effects of adjuvants and environment during plant development on glyphosate absorption and translocation in field bindweed (*Convolvulus arvensis*) [J]. *Weed Science*, 1986, 34(6): 811 - 816.
- [10] SANTOS I C, SILVA A A, FERREIRA F A, et al. Efficiency of glyphosate in the control of *Commelina benghalensis* and *Commelina diffusa* [J]. *Planta Daninha*, 2001, 19(1): 135 - 143.
- [11] YUAN C I, CHAING M Y, CHEN Y M. Triple mechanisms of glyphosate-resistance in a naturally occurring glyphosate-resistant plant *Dicliptera chinensis* [J]. *Plant Science (Shannon)*, 2002, 163(3): 543 - 554.
- [12] SANTOS S A D, TUFFISANTOS L D, SANT'ANNASANTOS B F, et al. Influence of shading on the leaf morphology and tolerance to glyphosate in *Commelina benghalensis* L. and *Cyperus rotundus* L. [J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2015, 9(2): 135 - 142.
- [13] GOMEZ J M. Glyphosate-tolerant Asiatic dayflower (*Commelina communis* L.): ecological, biological and physiological factors contributing to its adaptation to Iowa agronomic systems [D]. USA: Iowa State University, 2012: 66 - 99.
- [14] 贾芳, 崔海兰, 李香菊, 等. 耐草甘膦杂草的研究现状[J]. *杂草学报*, 2019, 37(1): 1 - 9.
- [15] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [16] 强科斌, 丁伟, 强小蓉. 野生油脂植物——苍耳的观察研究[J]. *甘肃农业大学学报*, 1992(3): 262 - 265.
- [17] 强胜. 杂草学[M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2009: 216 - 219.
- [18] 马承忠. 图说农田杂草识别及防除[M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 204 - 205.
- [19] 李扬汉. 中国杂草志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [20] OGG A G, DAWSON J H. Time of emergence of eight weed species [J]. *Weed Science*, 1984, 32(3): 327 - 335.
- [21] THARP B E, KELLS J J. Influence of herbicide application rate, timing, and interrow cultivation on weed control and corn (*Zea mays*) yield in glufosinate-resistant and glyphosate-resistant corn [J]. *Weed Technology*, 1999, 13(4): 807 - 813.
- [22] PANDEY H N, MISRA K C, MUKHERJEE K L. Phosphate uptake and its incorporation in some crop plants and their associated weeds [J]. *Annals of Botany*, 1971, 35(2): 367 - 372.
- [23] VENGRIS J, COLBY W G, DRAKE M. Plant nutrient competition between weeds and corn 1 [J]. *Agronomy Journal*, 1955, 47(5): 213 - 216.
- [24] MULUGETA D, STOLTENBERG D E. Influence of cohorts on *Chenopodium album* demography [J]. *Weed Science*, 1998, 46(1): 65 - 70.
- [25] 魏守辉, 张朝贤, 翟国英, 等. 河北省玉米田杂草组成及群落特征[J]. *植物保护学报*, 2006, 33(2): 212 - 218.
- [26] 代伟程, 高兴文, 马成立, 等. 泰安市夏玉米田杂草种类及群落构成研究[J]. *山东农业科学*, 2013, 45(9): 96 - 98.
- [27] 吕跃星, 王权. 吉林省中部地区玉米田杂草种类及其优势种群调查报告[J]. *吉林农业科学*, 2002(S1): 46 - 47.
- [28] 张杰. 周口地区农业耕作模式对田间杂草的影响[D]. 新乡: 河南师范大学, 2014.
- [29] 黄春艳, 郭玉莲, 王宇, 等. 不同耕作模式对玉米大豆轮作区玉米田土壤杂草群落的影响[C]// 植保科技创新与农业精准扶贫——中国植物保护学会 2016 年学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2016: 505.
- [30] 潘思杨. 黑龙江省玉米田主要杂草调查及对除草剂敏感性的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [31] 郑丽敏. 安阳地区夏玉米田杂草发生规律与防治技术研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- [32] STREIBIG J C. Herbicide bioassay [J]. *Weed Research*, 1988, 28(6): 479 - 484.
- [33] 杨益军. 2018 年中国(全球)草甘膦市场分析[J]. *农药市场信息*, 2018(5): 27 - 31.
- [34] OWEN M D. Weed species shifts in glyphosate-resistant crops [J]. *Pest Management Science*, 2008, 64(4): 377 - 387.
- [35] BARRENTINE W L, MCWHORTER C G. Chlorimuron and imazaquin rates for postemergence control of common cocklebur in soybeans [J]. *Research Report*, Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station, 1989, 14(9): 3.
- [36] WESLEY R A, SHAW D R, BARRENTINE W L. Incorporation depths of imazaquin, metribuzin, and chlorimuron for common cocklebur (*Xanthium strumarium*) control in soybeans (*Glycine max*) [J]. *Weed Science*, 1989, 37(4): 596 - 599.
- [37] SPRAGUE C L, STOLLER E W, WAX L M. Common cocklebur (*Xanthium strumarium*) resistance to selected ALS-inhibiting herbicides [J]. *Weed Technology*, 1997, 11(2): 241 - 247.
- [38] OHMES G A, KENDIG J A. Inheritance of an ALS-cross-resistant common cocklebur (*Xanthium strumarium*) biotype [J]. *Weed Technology*, 1999, 13(1): 100 - 103.
- [39] SCHMIDT L A, TALBERT R E, MCCLELLAND M. Management of acetolactate synthase (ALS)-resistant common cocklebur (*Xanthium strumarium*) in soybean [J]. *Weed Technology*, 2004, 18(3): 665 - 674.
- [40] MARIC D, KONSTANTINOVIC B. Resistance study of *Xanthium strumarium* L. species population to the herbicide imazethapyr in the south Banat [J]. *Herbologia*, 2014, 14(1): 71 - 79.
- [41] 孙会杰. 辽宁省玉米田杂草群落调查及反枝苋对莠去津抗性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007.
- [42] 邱罡, 谢凝子. 农药莠去津的危害与非生物降解研究进展[J]. *广东化工*, 2008, 35(1): 73 - 77.
- [43] CLAY P A, GRIFFIN J L. Weed seed production and seedling emergence responses to late-season glyphosate applications [J]. *Weed Science*, 2000, 48(4): 481 - 486.
- [44] 侯晓玉. 龙葵对草甘膦抗性机理的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业

大学, 2016.

- [45] MUELLER T C, ELLIS A T, BEELER J E, et al. Shikimate accumulation in nine weedy species following glyphosate application [J]. *Weed Research*, 2008, 48(5): 455-460.
- [46] LOUX M M, STACHLER J M, MILLER B A, et al. Response of common lambsquarters to glyphosate in the greenhouse and growth chamber [C]//North Central Weed Science Society Proceedings, 2005, 60: 202.
- [47] JESCHKE M R, STOLTENBERG D E. Weed community composition after eight years of continuous glyphosate use in a corn-soybean annual rotation [C]//Milwaukee: North Central Weed Science Society Proceedings, 2006, 58: 59.
- [48] KNISS A R, MILLER S D, WESTRA P H, et al. Glyphosate susceptibility in common lambsquarters (*Chenopodium album*) is influenced by parental exposure [J]. *Weed Science*, 2007, 55(6): 572-577.
- [49] SCHUSTER C L, AL-KHATIB S K. Response of common

lambsquarters (*Chenopodium album*) to glyphosate as affected by growth stage [J]. *Weed Science*, 2007, 55(2): 147-151.

- [50] SIVESIND E C, GASKA J M, JESCHKE M R, et al. Common lambsquarters response to glyphosate across environments [J]. *Weed Technology*, 2011, 25(1): 44-50.
- [51] 刘小龙. 铁苋菜(*Acalypha australis* L.)对草甘膦的耐受性机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016: 29-35.
- [52] HALL G J, HART C A, JONES C A. Plants as sources of cations antagonistic to glyphosate activity [J]. *Pest Management Science*, 2000, 56(4): 351-358.
- [53] WESTHOVEN A M, STACHLER J M, LOUX M M, et al. Management of glyphosate-tolerant common lambsquarters (*Chenopodium album*) in glyphosate-resistant soybean [J]. *Weed Technology*, 2008, 22(4): 628-634.
- [54] 杜丽娟. 玉米田化学除草的药害及方法[J]. *农业科技通讯*, 2015(6): 227-230.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 221 页)

贪夜蛾初孵幼虫孵化后进入心叶为害有关, 具体原因还需要进行更长期细致的监测。

参考文献

- [1] 刘杰, 姜玉英, 刘万才, 等. 亚洲十一国草地贪夜蛾发生防控情况与对策概述[J]. *中国植保导刊*, 2020, 40(2): 86-91.
- [2] 吴孔明. 中国草地贪夜蛾的防控策略[J]. *植物保护*, 2020, 46(2): 1-5.
- [3] 和伟, 赵胜园, 葛世帅, 等. 草地贪夜蛾种群性诱测报方法研究[J]. *植物保护*, 2019, 45(4): 48-53.
- [4] 姜玉英, 刘杰, 杨俊杰, 等. 2019年草地贪夜蛾灯诱监测应用效果[J]. *植物保护*, 2020, 46(3): 118-122.
- [5] 杨俊杰, 郭子平, 罗汉钢, 等. 2019年湖北省草地贪夜蛾发生为害规律和监测技术探索[J]. *植物保护*, 2020, 46(3): 247-253.
- [6] 董子舒, 张玉静, 段文博, 等. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的研究进展[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(5): 837-843.
- [7] 郭培宗, 苗连河, 吕国辉, 等. 豫北地区棉铃虫发生规律研究[J]. *中国棉花*, 1998, 25(5): 15-16.
- [8] 冯成玉. 玉米田玉米螟产卵部位[J]. *植物保护*, 1992, 18(1): 52.
- [9] 李桂亭, 尹楚道, 王祥胜, 等. 淮北棉区棉铃虫田间落卵规律的研究[J]. *安徽农业学报*, 1996, 23(4): 39-44.
- [10] 汪海洋. 豇豆荚螟的产卵行为及其卵期防治药剂筛选[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [11] 王振营, 何康来, 文丽萍, 等. 第四代棉铃虫卵在华北夏玉米田的时空分布[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(2): 153-156.
- [12] 赵龙龙, 张未仲, 胡增丽, 等. 冬型中国梨木虱在梨树不同部位的产卵特点[J]. *植物保护*, 2019, 45(4): 201-204.
- [13] 徐蓬军, 张丹丹, 王杰, 等. 草地贪夜蛾对玉米和烟草的偏好性研究[J]. *植物保护*, 2019, 45(4): 61-64.
- [14] 巴吐西, 张云慧, 张智, 等. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及其种群生命表[J]. *植物保护*, 2020, 46(1): 17-23.

- [15] 汤印, 郭井菲, 太红坤, 等. 草地贪夜蛾在3种麦类作物上的适生性[J]. *植物保护*, 2020, 46(5): 77-83.
- [16] 李国平, 黄建荣, 钟景, 等. 草地贪夜蛾幼虫人工饲料、其制备方法及应用: 中国, 201910155450.0 [P]. 2019-03-01.
- [17] 赵胜园, 罗清明, 孙小旭, 等. 草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的形态特征和生物学习性比较[J]. *中国植保导刊*, 2019, 39(5): 26-35.
- [18] RIBEIRO L P, DEQUECH S T, CAMERA C, et al. Vertical and temporal distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) egg masses, parasitized and non-parasitized, on maize plants [J]. *Maydica*, 2014, 59(4): 315-320.
- [19] PITRE H N, MULROONEY J E, HOGG D B. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1983, 76(3): 463-466.
- [20] BESERRA E B, DIAS C T S, ARRA J R P. Distribution and natural parasitism of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs at different phenological stages of maize [J]. *Florida Entomologist*, 2002, 85: 588-593.
- [21] JOHNSON S J. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere [J]. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1987, 8(4/5/6): 543-549.
- [22] 太红坤, 郭井菲, 张峰, 等. 草地贪夜蛾在云南冬季甜玉米上的生物学学习性及为害状观察[J]. *植物保护*, 2019, 49(5): 91-95.
- [23] 黄建荣, 李国平, 黄博, 等. 田间玉米植株上桃蛀螟卵的空间分布[J]. *植物保护*, 2018, 44(3): 177-181.
- [24] 刘芳, 娄永根, 程家安. 虫害诱导的植物挥发物: 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物[J]. *昆虫知识*, 2003, 40(6): 481-486.

(责任编辑: 杨明丽)