

转 *Cry1Ab-ma* 基因玉米 CM8101 对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的抗性

武奉慈¹ 翁建峰² 李新海² 尹俊琦^{1*} 宋新元^{1*}

(1. 吉林省农业科学院农业生物技术研究所, 长春 130033; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 为明确转 Bt 基因玉米对草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 的抗性, 采用室内玉米离体组织生测法测定取食转 *Cry1Ab-ma* 基因抗虫玉米 CM8101 心叶、花丝和籽粒后草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫存活数量、存活幼虫的体重、蛹重、化蛹和羽化等参数, 分析转 *Cry1Ab-ma* 基因抗虫玉米 CM8101 三种组织对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的抗性。结果显示, 转 *Cry1Ab-ma* 基因玉米 CM8101 心叶可完全杀死草地贪夜蛾 1 龄幼虫, 2 龄幼虫有存活, 存活率为 10.0%, 但不能化蛹与羽化; 花丝可杀死大部分草地贪夜蛾 1 龄幼虫, 存活率为 3.3%, 并阻断其生活史, 但对 2 龄幼虫杀伤力弱, 存活率为 73.3%, 存活幼虫化蛹率和羽化率分别为 20.0% 和 13.3%; 籽粒可完全杀死草地贪夜蛾 1 龄幼虫, 2 龄幼虫有存活, 存活率为 13.3%, 有少量可化蛹, 化蛹率为 3.3%、有少量羽化, 羽化率为 3.3%。表明转 *Cry1Ab-ma* 基因玉米 CM8101 在短期内对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫有良好的控制作用。

关键词: 草地贪夜蛾; 转 *Cry1Ab-ma* 基因玉米 CM8101; 抗性; 室内生测

Resistance of transgenic maize CM8101 with *Cry1Ab-ma* gene against the 1st and 2nd instar larvae of fall armyworm *Spodoptera frugiperda*

WU Fengci¹ WENG Jianfeng² LI Xinhai² YIN Junqi^{1*} SONG Xinyuan^{1*}

(1. Institute of Agricultural Biotechnology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, Jilin Province, China; 2. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To clarify the resistance effects of transgenic Bt maize against fall armyworm *Spodoptera frugiperda*, the vitro tissues bioassay was conducted in the laboratory. The 1st and 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were feed with heart leaves, maize silks and seeds, the survival number of 1st and 2nd instar larvae, weight of surviving larvae, pupal weight, number of pupation and eclosion were measured, the resistance of heart leaves, maize silks and seeds of transgenic corn CM8101 with *Cry1Ab-ma* gene to the 1st and 2nd instar larvae of *S. frugiperda* were analyzed. The results showed that the 1st instar larvae were completely killed by the heart leaves, and the 2nd instar larvae could survive with survival rate 10.0%, but could not complete the life cycle of pupation and eclosion. The most 1st instar larvae with survival rate of 3.3% could be killed by maize silks and their life cycles were interrupted, however, it was not lethal to 2nd instar larvae with survival rate of 73.3%, and pupation rate was 20.0%, eclosion rate was 13.3%. The 1st instar larvae were completely killed by seeds, and the 2nd instar larvae could survive with survival rate 13.3%, had less pupae with pupation rate of 3.3%, and had less pupae with eclosion rate of 3.3%. The results indicated that the transgenic maize CM8101 with *Cry1Ab-ma* gene had high control efficacy against the 1st and 2nd instar larvae of fall armyworm, and could effectively

基金项目: 国家转基因生物新品种培育重大专项(2016ZX08011-003)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: yin_junqi@163.com, songxinyuan1980@163.com

收稿日期: 2020-05-29

block their life cycles and reduce the pest damage.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; transgenic maize CM8101 with *Cry1Ab-ma* gene; insect resistance; laboratory bioassay

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 属鳞翅目夜蛾科夜蛾属(郭井菲等, 2018), 是源自美洲的世界性重大多食性、迁飞性害虫, 可为害 42 属 186 种植物(Casmuz et al., 2010)。草地贪夜蛾蔓延速度快、为害范围广, 对世界粮食安全造成巨大威胁(Nakweya, 2018; Sisodiya et al., 2018)。2018 年 8 月, 联合国粮农组织发出全球预警, 将该虫列为世界十大植物害虫。2019 年 1 月草地贪夜蛾入侵我国云南省, 并迅速定殖, 4 月蔓延到广西壮族自治区和海南省, 5 月侵入贵州、江西、浙江、安徽和江苏省, 8 月侵入河北省。截至 2019 年 8 月, 草地贪夜蛾已在我国 24 个省 1 366 个县(市、区)发生, 对我国玉米生产造成严重威胁(姜玉英等, 2019; 吴秋琳等, 2019)。

目前, 化学防治是控制草地贪夜蛾的主要方法。但由于草地贪夜蛾适生区域广、迁飞能力强、繁殖系数高, 同时其幼虫具有钻蛀性, 化学药剂难以充分接触虫体, 达不到良好的防控效果。而且随着化学杀虫剂的持续频繁使用, 草地贪夜蛾已对部分农药产生抗性, 同时传粉昆虫和天敌等有益昆虫也受到了化学杀虫剂的影响, 引发一系列生态安全问题(Abrahams et al., 2017; Rwomushana et al., 2018; 赵胜园等, 2019)。利用基因工程技术研发转基因抗虫作物成为防控草地贪夜蛾的重要手段, 种植转基因抗虫玉米已成为控制草地贪夜蛾的重要途径之一(Waquil et al., 2013; Bernardi et al., 2014; Botha et al., 2019)。我国转 Bt 基因抗虫玉米的研发已取得重大进展, 2020 年 1 月转基因玉米 DBN9936、瑞丰 125 获得生产应用安全证书, 转基因玉米 2A-7、CM8101 进入生产性试验阶段, 有望在控制草地贪夜蛾方面发挥重要作用。明确转基因抗虫玉米对草地贪夜蛾的抗性水平是利用基因工程技术防控草地贪夜蛾的基础。植物离体组织室内生测法具有可控、可重复等优点, 是评价转基因玉米对靶标害虫抗性的重要方法。玉米叶片、花丝、籽粒是草地贪夜蛾取食的主要部位, 这 3 种玉米组织对草地贪夜蛾的抗性水平尤为关键。如张丹丹和吴孔明(2019)在室内将草地贪夜蛾幼虫接种到玉米苗期植株上, 分析了叶期转 Bt-Cry1Ab 玉米(转化体 C0030.3.5)和转 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米(转化体为 DBN3601 和 DBN3608)对草地贪夜蛾幼虫的抗性, 结果表明转

Bt-Cry1Ab 玉米和转 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米对草地贪夜蛾幼虫有毒杀作用, 其中转 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米的效果显著, 但未见花期和穗期转基因抗虫玉米对草地贪夜蛾抗性的报道; 张爽等(2020)利用酶联免疫吸附测定(enzyme Linked immunosorbent assay, ELISA)方法定量研究了 Cry1Ab-ma 蛋白在转基因玉米 CM8101 心叶、花丝、籽粒等部位的表达情况, 并证明其对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 具有良好的抗性, 但尚不清楚转基因玉米 CM8101 对草地贪夜蛾的抗性。

为明确转基因玉米 CM8101 对草地贪夜蛾的抗性, 本研究于室内分别用转基因玉米 CM8101 心叶、花丝和籽粒 3 种组织饲喂草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫, 调查饲喂后其存活数量、存活幼虫的体重、化蛹数量、蛹重和羽化数量等指标, 系统评价转基因玉米 CM8101 三种组织对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的抗性及其对生长发育的影响, 以期进一步丰富转基因玉米 CM8101 对鳞翅目害虫的抗性评价数据, 为转基因玉米 CM8101 在防控草地贪夜蛾方面提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源和植物: 草地贪夜蛾人工饲养种群, 由国家转基因玉米大豆中试与产业化基地(公主岭)和吉林省农业科学院农业生物技术研究植物环境安全研究与应用团队提供, 选取 1 龄和 2 龄幼虫进行室内生测试验。转 *Cry1Ab-ma* 基因抗虫玉米 CM8101 (遗传背景为中单 121)、非转基因对照玉米中单 121、感虫对照玉米综 31 种子, 均由中国农业科学院作物科学研究所提供。

仪器与试剂: RXZ-500 型人工气候培养箱, 宁波江南仪器厂; Bt *Cry1Ab/Ac* 抗虫检测试纸条, 北京奥创金标生物公司; PP 塑料养虫盒, 上直径 7.3 cm、下直径 5.8 cm、高 3.5 cm, 盒盖带透气孔, 由本实验室定制。

1.2 方法

1.2.1 试验材料种植与采集

于吉林省公主岭市国家转基因玉米大豆中试与产业化基地(公主岭)环境安全研究试验圃场内种植 3 种玉米材料。采用随机区组设计, 每种玉米材料

种植小区大小为长 5 m、宽 6 m, 小区间隔大于 2 m, 行距 60 cm, 株距 25 cm, 重复 3 次。2019 年 5 月 11 日播种, 底肥为玉米复合肥(N-P₂O₅-K₂O 26-12-12, 总养分≥50%), 后期不进行追肥, 常规栽培管理, 全生育期不喷施杀虫剂。当玉米为 4 叶期时, 每小区随机采集 10 株玉米植株, 取其地上部分, 带回实验室待用, 每个处理重复 3 次。当玉米为吐丝期时, 每个小区随机采集 10 株新抽丝(未授粉)玉米植株, 取其雌穗, 带回实验室待用, 每个处理重复 3 次。当玉米为灌浆期时, 每小区随机采集 10 株玉米, 取其雌穗, 带回实验室待用, 每个处理重复 3 次。

1.2.2 玉米心叶对草地贪夜蛾抗性的离体试验

将采集的 3 种玉米的未展开幼嫩心叶, 用消毒剪刀剪取 4 cm 左右的叶片 3~4 段, 分别置于养虫盒内。每盒接入 1 头草地贪夜蛾幼虫, 为 1 个重复, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫各重复 30 次。将养虫盒置于温度 26±1℃、相对湿度 60%、光周期 16 L:8 D 的人工气候培养箱中。每天 09:00 更换相同来源的新鲜玉米心叶, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫均从饲喂第 3 天至第 13 天每隔 1 d 调查各处理存活幼虫数量; 饲喂第 7 天时开始调查 2 龄幼虫各处理存活幼虫体重, 饲喂第 9 天时开始调查 1 龄幼虫各处理存活幼虫体重, 待化蛹时调查和记录各处理的化蛹数量和蛹重, 待羽化时调查和记录各处理的羽化数量, 计算幼虫存活率、化蛹率和羽化率。存活率=处理后存活试虫数量/处理前供试总虫数×100%; 化蛹率=处理后试虫化蛹总数量/处理前供试总虫数×100%; 羽化率=处理后试虫羽化总数量/处理前供试总虫数×100%。

1.2.3 玉米花丝对草地贪夜蛾抗性的离体试验

将采集的 3 种玉米的雌穗剥去苞叶, 轻取适量花丝分别放入养虫盒内, 以基本铺满养虫盒底为宜。每盒接入 1 头草地贪夜蛾幼虫, 为 1 个重复, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫各重复 30 次。将养虫盒置于温度 26±1℃、相对湿度 60%、光周期 16 L:8 D 的人工气候培养箱中。每天 09:00 更换相同来源的新鲜花丝, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫均从饲喂第 5 天至第 13 天每隔 1 d 调查存活幼虫数量; 饲喂第 7 天时开始调查 2 龄幼虫各处理存活幼虫体重, 饲喂第 11 天时开始调查 1 龄幼虫各处理存活幼虫体重, 待化蛹时调查和记录各处理化蛹数量和蛹重, 待羽化时调查和记录各处理羽化数量, 计算幼虫存活率、化蛹率和羽化率, 公式同 1.2.2。

1.2.4 玉米籽粒对草地贪夜蛾抗性的离体试验

将采集的 3 种玉米的雌穗剥去苞叶, 取经 Bt 试

纸条检测呈阳性的籽粒分别放入养虫盒内, 以基本铺满养虫盒底为宜。每盒接入 1 头草地贪夜蛾幼虫, 为 1 个重复, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫各重复 30 次。将养虫盒置于温度 26±1℃、相对湿度 60%、光周期 16 L:8 D 的人工气候培养箱中。每天 09:00 更换相同来源的新鲜籽粒, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫均从饲喂第 3 天至第 13 天每隔 1 d 调查存活幼虫数量; 饲喂第 7 天时开始调查 2 龄幼虫各处理存活幼虫体重, 饲喂第 9 天时开始调查 1 龄幼虫各处理存活幼虫体重, 待化蛹时调查和记录各处理化蛹数量和蛹重, 待羽化时调查和记录各处理羽化数量, 计算幼虫存活率、化蛹率和羽化率, 公式同 1.2.2。

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 23 对试验数据进行统计分析, 应用最小显著差数(LSD)法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 玉米心叶对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的抗性

饲喂 2 种非转基因玉米离体心叶第 13 天, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的存活率、化蛹率与羽化率介于 96.7%~100.0% 之间, 表明试验环境可供草地贪夜蛾幼虫正常生长, 可用于玉米离体组织心叶的抗虫性评价。

饲喂转基因玉米 CM8101 心叶第 9 天后草地贪夜蛾 1 龄幼虫全部死亡, 均未能发育成 2 龄幼虫, 各饲喂时间的草地贪夜蛾 1 龄幼虫存活率均显著小于饲喂 2 种非转基因玉米心叶的存活率($P<0.05$); 饲喂转基因玉米 CM8101 心叶第 3~13 天, 草地贪夜蛾 2 龄幼虫存活率分别为 20.0%、13.3%、10.0%、10.0%、10.0% 和 10.0%, 均显著小于饲喂 2 种非转基因玉米心叶的存活率($P<0.05$, 表 1)。饲喂转基因玉米 CM8101 心叶, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的体重和蛹重分别为 0、0、91.8 和 0 mg, 均显著低于饲喂 2 种非转基因玉米心叶的体重和蛹重($P<0.05$), 并且未能化蛹与羽化(表 2)。表明转基因玉米 CM8101 心叶对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫具有抗性。

2.2 玉米花丝对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的抗性

饲喂 2 种非转基因玉米离体花丝第 13 天, 草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的存活率介于 80.0%~96.7% 之间, 存活幼虫的化蛹率介于 80.0%~86.7% 之间, 羽化率介于 73.3%~83.3% 之间, 表明试验环境可供草地贪夜蛾幼虫正常生长, 可用于玉米离体组织花丝的抗虫性评价。

表 1 3 种玉米心叶对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的杀虫效果

Table 1 Insecticidal effects of heart leaves of three kinds of corns on the 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

玉米材料 Corn material	不同饲喂时间草地贪夜蛾 1 龄幼虫的存活率/% Survival rate of the 1st instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i> at the different feeding times					
	第 3 天 3rd day	第 5 天 5th day	第 7 天 7th day	第 9 天 9th day	第 11 天 11th day	第 13 天 13th day
CM8101	56.7±9.2 b	26.7±8.2 b	3.3±3.3 b	0.0±0.0 b	0.0±0.0 b	0.0±0.0 b
中单 121 Zhongdan 121	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a
综 31 Zong 31	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a

玉米材料 Corn material	不同饲喂时间草地贪夜蛾 2 龄幼虫的存活率/% Survival rate of the 2nd instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i> at the different feeding times					
	第 3 天 3rd day	第 5 天 5th day	第 7 天 7th day	第 9 天 9th day	第 11 天 11th day	第 13 天 13th day
CM8101	20.0±7.4 b	13.3±6.3 b	10.0±5.6 b	10.0±5.6 b	10.0±5.6 b	10.0±5.6 b
中单 121 Zhongdan 121	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a
综 31 Zong 31	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

表 2 3 种玉米心叶对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫生长发育的影响

Table 2 Effects of heart leaves of three kinds of corns on the growth and development of the 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

玉米材料 Corn material	草地贪夜蛾 1 龄幼虫生长发育 Growth and development of the 1st instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>					
	体重/mg Worm weight	蛹重/mg Pupal weight	化蛹/头 Pupation	化蛹率/% Pupation rate	羽化/头 Eclosion	羽化率/% Eclosion rate
CM8101	0.0±0.0 b	0.0±0.0 b	0	0.0	0	0.0
中单 121 Zhongdan 121	199.2±7.0 a	113.8±3.4 a	30	100.0	30	100.0
综 31 Zong 31	220.4±9.5 a	115.6±3.7 a	30	100.0	30	100.0

玉米材料 Corn material	草地贪夜蛾 2 龄幼虫生长发育 Growth and development of the 2nd instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>					
	体重/mg Worm weight/mg	蛹重/mg Pupal weight	化蛹/头 Pupation	化蛹率/% Pupation rate	羽化/头 Eclosion	羽化率/% Eclosion rate
CM8101	91.8±14.9 c	0.0±0.0 c	0	0.0	0	0.0
中单 121 Zhongdan 121	196.0±8.0 a	109.3±2.6 b	29	96.7	29	96.7
综 31 Zong 31	182.2±8.2 b	130.1±3.8 a	30	100.0	30	100.0

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

饲喂转基因玉米 CM8101 花丝第 5~13 天,草地贪夜蛾 1 龄幼虫存活率介于 3.3%~46.7% 之间,存活幼虫的体重和蛹重分别为 7.0 mg 和 0 mg,均显著低于其它 2 个处理($P<0.05$),并且未能化蛹与羽化(表 3~4)。饲喂转基因玉米 CM8101 花丝第 13 天,草地贪夜蛾 2 龄幼虫存活率为 73.3%,显著低于其它 2 个处理($P<0.05$,表 3),存活幼虫蛹重为 96.1 mg,显著低于其它 2 个处理($P<0.05$);存活幼虫有 6 头化蛹,有 4 头羽化发育成成虫,化蛹率和羽化率分别为 20.0% 和 13.3%(表 4)。表明转基因玉米 CM8101 花丝对草地贪夜蛾 1 龄幼虫有抗性,但对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的抗性减弱。

2.3 玉米籽粒对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的抗性

饲喂 2 种非转基因玉米离体籽粒第 13 天,草地

贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫存活率介于 90.0%~100.0% 之间,存活幼虫的化蛹率介于 86.7%~90.0% 之间,羽化率介于 76.7%~80.0% 之间,表明试验环境可供草地贪夜蛾幼虫正常生长,可用于玉米离体组织籽粒的抗性评价。

饲喂转基因玉米 CM8101 籽粒第 3~7 天,草地贪夜蛾 1 龄幼虫存活率介于 3.3%~13.3% 之间,第 9 天草地贪夜蛾 1 龄幼虫全部死亡,均未能发育成 2 龄幼虫(表 5)。饲喂转基因玉米 CM8101 籽粒第 3~13 天,草地贪夜蛾 2 龄幼虫存活率介于 13.3%~60.0% 之间,均显著低于饲喂 2 种非转基因玉米籽粒的存活率($P<0.05$,表 5),存活幼虫的体重和蛹重分别为 172.0 mg 和 102.9 mg,均显著低于饲喂 2 种非转基因玉米籽粒的体重和蛹重($P<0.05$),存活幼虫中仅

1 头化蛹并羽化, 达到成虫虫态, 化蛹率和羽化率均为 3.3% (表 6)。表明转基因玉米 CM8101 籽粒对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫具有抗性。

3 讨论

2019 年中国农业科学院植物保护研究所张丹丹和吴孔明(2019)将播种后 10 d 左右的玉米苗插入盛有 2 cm 高 2% 琼脂的高 12 cm、直径 3.3 cm 玻璃指形管内, 然后将草地贪夜蛾幼虫人工接种到植株叶片上, 评价了叶期转 Bt-*Cry1Ab* 玉米和转 Bt-(*Cry1Ab*+*Vip3Aa*) 玉米对草地贪夜蛾幼虫的抗性, 结果显示转 Bt-*Cry1Ab* 玉米饲喂的草地贪夜蛾 1 龄幼虫的校正死亡率为 59.23%~65.41%, 2 龄幼虫的校

正死亡率为 40.80%~47.89%; 转 Bt-(*Cry1Ab*+*Vip3Aa*) 玉米饲喂的草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的校正死亡率均为 100.00%。本试验以转基因玉米 CM8101 心叶饲喂草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫, 第 13 天 1 龄幼虫全部死亡, 2 龄幼虫存活率为 10.0%, 但均不能化蛹完成后续生活史, 表明转基因玉米 CM8101 心叶对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的杀伤力与张丹丹和吴孔明(2019)所用的转 Bt-(*Cry1Ab*+*Vip3Aa*) 玉米相近。同时, 张丹丹和吴孔明(2019)试验结果表明, 取食转基因玉米叶片会显著抑制草地贪夜蛾体重, 与本试验结果一致。由于在玻璃指形管中玉米很难正常生长至成熟期, 张丹丹和吴孔明(2019)未评价吐丝期和穗期玉米对草地贪夜蛾的抗性。

表 3 3 种玉米花丝对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的杀虫效果

Table 3 Insecticidal effects of maize silks of three kinds of corns on the 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

玉米材料 Corn material	不同饲喂时间草地贪夜蛾 1 龄幼虫的存活率/% Survival rate of the 1st instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i> at the different feeding times				
	第 5 天 5th day	第 7 天 7th day	第 9 天 9th day	第 11 天 11th day	第 13 天 13th day
CM8101	46.7±7.4 b	13.3±6.3 b	13.3±6.3 b	3.3±3.3 b	3.3±3.3 b
中单 121 Zhongdan 121	86.7±6.3 a	80.0±7.4 a	80.0±7.4 a	80.0±7.4 a	80.0±7.4 a
综 31 Zong 31	86.7±6.3 a	86.7±6.3 a	86.7±6.3 a	86.7±6.3 a	86.7±6.3 a

玉米材料 Corn material	不同饲喂时间草地贪夜蛾 2 龄幼虫的存活率/% Survival rate of the 2nd instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i> at the different feeding times				
	第 5 天 5th day	第 7 天 7th day	第 9 天 9th day	第 11 天 11th day	第 13 天 13th day
CM8101	96.7±3.3 a	93.3±4.6 a	90.0±5.6 a	83.3±6.9 a	73.3±8.2 b
中单 121 Zhongdan 121	96.7±3.3 a	93.3±4.6 a	93.3±4.6 a	93.3±4.6 a	93.3±4.6 a
综 31 Zong 31	100.0±0.0 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

表 4 3 种玉米花丝对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫生长发育的影响

Table 4 Effects of maize silks of three kinds of corns on the growth and development of the 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

玉米材料 Corn material	草地贪夜蛾 1 龄幼虫生长发育 Growth and development of the 1st instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>					
	体重/mg Worm weight	蛹重/mg Pupal weight	化蛹/头 Pupation	化蛹率/% Pupation rate	羽化/头 Eclosion	羽化率/% Eclosion rate
CM8101	7.0±0.0 c	0.0±0.0 b	0	0.0	0	0.0
中单 121 Zhongdan 121	215.4±19.9 b	147.7±6.4 a	24	80.0	22	73.3
综 31 Zong 31	266.6±7.2 a	146.4±6.5 a	26	86.7	24	80.0

玉米材料 Corn material	草地贪夜蛾 2 龄幼虫生长发育 Growth and development of the 2nd instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>					
	体重/mg Worm weight	蛹重/mg Pupal weight	化蛹/头 Pupation	化蛹率/% Pupation rate	羽化/头 Eclosion	羽化率/% Eclosion rate
CM8101	184.0±11.3 a	96.1±8.2 b	6	20.0	4	13.3
中单 121 Zhongdan 121	200.0±7.4 a	154.1±7.6 a	26	86.7	24	80.0
综 31 Zong 31	199.4±8.0 a	162.7±7.1 a	26	86.7	25	83.3

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

表 5 3 种玉米籽粒对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫的杀虫效果

Table 5 Insecticidal effects of seeds of three kinds of corns on the 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

玉米材料 Corn material	不同饲喂时间草地贪夜蛾 1 龄幼虫的存活率/% Survival rate of the 1st instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i> at the different feeding times					
	第 3 天 3rd day	第 5 天 5th day	第 7 天 7th day	第 9 天 9th day	第 11 天 11th day	第 13 天 13th day
CM8101	13.3±6.3 b	3.3±3.3 b	3.3±3.3 b	0.0±0.0 c	0.0±0.0 c	0.0±0.0 b
中单 121 Zhongdan 121	93.3±4.6 a	90.0±5.7 a	90.0±5.7 a	90.0±5.7 b	90.0±5.7 b	90.0±5.7 a
综 31 Zong 31	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	96.7±3.3 a

玉米材料 Corn material	不同饲喂时间草地贪夜蛾 2 龄幼虫的存活率/% Survival rate of the 2nd instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i> at the different feeding times					
	第 3 天 3rd day	第 5 天 5th day	第 7 天 7th day	第 9 天 9th day	第 11 天 11th day	第 13 天 13th day
CM8101	60.0±9.1 b	53.3±9.3 b	53.3±9.3 b	20.0±7.4 b	13.3±6.3 b	13.3±6.3 b
中单 121 Zhongdan 121	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a	96.7±3.3 a
综 31 Zong 31	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a	100.0±0.0 a

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

表 6 3 种玉米籽粒对草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄幼虫生长发育的影响

Table 6 Effects of seeds of three kinds of corns on the growth and development of the 1st and 2nd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

玉米材料 Corn material	草地贪夜蛾 1 龄幼虫生长发育 Growth and development of 1st instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>					
	体重/mg Worm weight	蛹重/mg Pupal weight	化蛹/头 Pupation	化蛹率/% Pupation rate	羽化/头 Eclosion	羽化率/% Eclosion rate
CM8101	0.0±0.0 c	0.0±0.0 b	0	0.0	0	0.0
中单 121 Zhongdan 121	221.9±11.9 b	163.4±6.8 a	26	86.7	23	76.7
综 31 Zong 31	268.8±10.7 a	163.1±6.2 a	26	86.7	24	80.0

玉米材料 Corn material	草地贪夜蛾 2 龄幼虫生长发育 Growth and development of 2nd instar larvae of <i>Spodoptera frugiperda</i>					
	体重/mg Worm weight	蛹重/mg Pupal weight	化蛹/头 Pupation	化蛹率/% Pupation rate	羽化/头 Eclosion	羽化率/% Eclosion rate
CM8101	172.0±9.8 b	102.9±0.0 b	1	3.3	1	3.3
中单 121 Zhongdan 121	209.4±7.3 a	159.0±7.0 a	27	90.0	24	80.0
综 31 Zong 31	211.1±7.0 a	181.4±8.8 a	27	90.0	23	76.7

表中数据为平均数±标准误。同列不同小写字母表示经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data in the table are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by LSD test.

戴钊萱等(2020)通过将草地贪夜蛾初孵幼虫接入到放有新鲜玉米叶片的直径 3.2 cm、高 10 cm 的玻璃管中,研究了穗甜 1 号、正甜 68、华金甜 1 号、京科糯 2000、广黑甜糯和广糯 1 号 6 种常规非转基因玉米对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响,试验结果表明不同品种玉米饲养的草地贪夜蛾幼虫的存活率、化蛹率、羽化率及蛹重之间均存在显著差异,其中甜质型玉米品种饲养的草地贪夜蛾幼虫的存活率均明显高于糯质型玉米饲养的。本试验中 2 种非转基因玉米心叶对草地贪夜蛾 1 龄幼虫的存活率、虫

重、蛹重的影响差异不显著,但转基因玉米对草地贪夜蛾幼虫的存活率、虫重、蛹重有影响,究其原因可能是不同玉米材料品质及养分不同。戴钊萱等(2020)研究仅选取玉米叶片,未涉及玉米花丝、籽粒等组织对草地贪夜蛾存活率、虫重和蛹重的影响。

本研究证明转基因玉米 CM8101 可高效杀伤草地贪夜蛾 1 龄和 2 龄低龄幼虫,并有效抑制、阻断其生长发育,表明转基因玉米 CM8101 在防控草地贪夜蛾方面有应用潜力。本研究结果还显示草地贪夜蛾 2 龄幼虫对转基因玉米 CM8101 心叶、花丝和籽

粒的抗性均高于 1 龄幼虫, 因此可以推测, 随着龄期增加草地贪夜蛾幼虫对转基因玉米的抗性有增加趋势, 与张丹丹和吴孔明(2019)研究结论一致。

本研究仅是在室内进行离体试验, 下一步将继续开展田间相关试验, 验证转 *Cry1Ab-ma* 基因抗虫玉米 CM8101 各组织对草地贪夜蛾高龄幼虫的抗性。

参 考 文 献 (References)

- ABRAHAMS P, BEALE T, COCK M, CORNIANI N, DAY R, GODWIN J, MURPHY S, RICHARDS G, VOS J. 2017. Fall armyworm: impacts and control options in Africa: preliminary evidence note. CABI
- BERNARDI O, AMADO D, SOUSA RS, SEGATTI F, FATORETTO J, BURD AD, OMOTO C. 2014. Baseline susceptibility and monitoring of Brazilian populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein. *Journal of Economic Entomology*, 107(2): 781–790
- BOTHA AS, ERASMUS A, DU PLESSIS H, VAN DEN BERG J. 2019. Efficacy of Bt maize for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Africa. *Journal of Economic Entomology*, 112(3): 1260–1266
- CASMUZ A, JUÁREZ ML, SOCÍAS MG, MURÚA MG, PRIETO S, MEDINA S, WILLINK E, GASTAMINZA G. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina*, 69(3/4): 209–231
- DAI QX, LI ZY, TIAN YJ, ZHANG ZF, WANG L, LU YY, LI YZ, CHEN KW. 2020. Effects of different corn varieties on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, Doi: 10.13287/j.1001-9332.202010.020 (in Chinese) [戴轩萱, 李子园, 田耀加, 张振飞, 王磊, 陆永跃, 李有志, 陈科伟. 2020. 不同品种玉米对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响. *应用生态学报*, Doi: 10.13287/j.1001-9332.202010.020
- GUO JF, ZHAO JZ, HE KL, ZHANG F, WANG ZY. 2018. Potential invasion of the crop-devastation insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China. *Plant Protection*, 44(6): 1–10 (in Chinese) [郭井菲, 赵建周, 何康来, 张峰, 王振营. 2018. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国. *植物保护*, 44(6): 1–10]
- JIANG YY, LIU J, ZHU XM. 2019. An analysis of the occurrence and future trend of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* invasion in China. *China Plant Protection*, 39(2): 33–35 (in Chinese) [姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 2019. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析. *中国植保导刊*, 39(2): 33–35]
- NAKWEYA G. 2018. Africa: global actions needed to combat fall armyworm. <https://allafrica.com/stories/201810160297.html>. 2018-09-28
- RWOMUSHANA I, BATEMAN M, BEALE T, BESEH P, CAMERON K, CHILUBA M, CLOTTEY V, DAVIS T, DAY R, EARLY R, et al. 2018. Fall armyworm: impacts and implications for Africa: evidence note update. CABI
- SISODIYA DB, RAGHUNANDAN BL, BHATT NA, VERMA HS, SHEWALE CP, TIMBADIYA BG, BORAD PK. 2018. The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae): first report of new invasive pest in maize fields of Gujarat, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(5): 2089–2091
- WAQUIL JM, DOURADO PM, DE CARVALHO RA, OLIVEIRA WS, BERGER GU, HEAD GP, MARTINELLI S. 2013. Manejo de lepidópteros-praga na cultura do milho com o evento Bt piramidado Cry1A.105 e Cry2Ab2. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(12): 1529–1537
- WU QL, JIANG YY, WU KM. 2019. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) from Myanmar to China. *Plant Protection*, 45(2): 1–6 (in Chinese) [吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 2019. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析. *植物保护*, 45(2): 1–6]
- ZHANG DD, WU KM. 2019. The bioassay of Chinese domestic Bt-Cry1Ab and Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa) maize against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(4): 54–60 (in Chinese) [张丹丹, 吴孔明. 2019. 国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa) 玉米对草地贪夜蛾的抗性测定. *植物保护*, 45(4): 54–60]
- ZHANG S, LU X, ZHANG JY, YANG XY, XIE SZ, WU FC, SONG XY, WANG ZH, LI XH, WENG JF. 2020. Efficacy evaluation of transgenic *Cry1Ab-Ma* maize CM8101 for resistance to the *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Maize Sciences*, 28(1): 59–64 (in Chinese) [张爽, 鲁鑫, 张嘉月, 杨小艳, 谢树章, 武凤慈, 宋新元, 王振华, 李新海, 翁建峰. 2020. 转 *Cry1Ab-Ma* 基因玉米 CM8101 对亚洲玉米螟抗性研究. *玉米科学*, 28(1): 59–64]
- ZHAO SY, SUN XX, ZHANG HW, YANG XM, WU KM. 2019. Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(3): 10–14 (in Chinese) [赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 杨现明, 吴孔明. 2019. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定. *植物保护*, 45(3): 10–14]

(责任编辑: 张俊芳)