

# 丁布胁迫对亚洲玉米螟危害程度及生长发育的影响

宋鹏飞, 毛 培, 姚双艳, 王甜甜, 牛东娟, 罗梅浩\*

(河南农业大学 植物保护学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 异羟肟酸及其衍生物是广泛存在于玉米等禾本科作物中的一种广谱抗性物质, 丁布(DIMBOA)是玉米植株中含量最大的异羟肟酸。为了明确不同丁布含量的玉米品种对亚洲玉米螟危害和生长发育的影响, 采用高效液相色谱法测定了 11 个玉米品种五叶期的丁布含量; 室内条件下在玉米叶片上人工接虫, 调查亚洲玉米螟在 11 个玉米品种上的危害程度; 用丁布含量依次降低的登海 662、浚单 20、隆玉 602 品种( $P < 0.05$ )叶片饲喂亚洲玉米螟初孵幼虫, 探讨不同含量丁布胁迫下亚洲玉米螟生长发育的变化。结果表明, 不同玉米品种间丁布含量差异显著, 登海 662 含量最高, 德单 5 号含量最低。接种亚洲玉米螟后, 丁布含量较低的德单 5 号、隆玉 602、新单 36、金骆驼 335 品种的花叶指数均大于 40%, 随着玉米品种丁布含量的增加, 玉米螟的危害程度逐渐减轻。亚洲玉米螟幼虫发育历期和幼虫+蛹总历期在取食 3 个玉米品种处理之间具有差异, 其中取食隆玉 602 的幼虫发育历期和总发育历期最短, 取食浚单 20 的处理最长。取食 3 个玉米品种的亚洲玉米螟均不能正常交配产卵和完成世代周期, 其化蛹率、蛹质量和羽化率均随玉米品种丁布含量的降低而升高。

**关键词:** 玉米品种; 丁布; 亚洲玉米螟; 危害程度; 生长发育

**中图分类号:** S435.132      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2014)11-0072-05

## Effect of DIMBOA Stress on Damage Degree and Growth of *Ostrinia furnacalis*

SONG Peng-fei, MAO Pei, YAO Shuang-yan, WANG Tian-tian, NIU Dong-juan, LUO Mei-hao\*

(Plant Protection College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Hydroxamic acid and its derivatives, widely existing in gramineous crops such as maize, are a group of compounds with a broad spectrum of biological activities. DIMBOA (2,4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazin-3-one) is the dominant hydroxamic acid in maize. In the present study, high performance liquid chromatography (HPLC) was applied to qualitatively analyse the content of DIMBOA in 11 maize varieties; In the indoor test condition, newly hatched larvae of *Ostrinia furnacalis* were put on the maize leaves artificially, and the damaged degree of 11 maize varieties was investigated after several days; In order to investigate the changes in the growth of *O. furnacalis* under different degree of DIMBOA stress, Denghai 662, Xundan 20, Longyu 602 maize varieties with different levels of DIMBOA were applied to rear newly-hatched larvae. The results revealed that there was significant difference in DIMBOA content of different maize varieties, the DIMBOA content of Denghai 662 was the highest, and the lowest was Dedan No. 5. The varieties with index of mosaic beyond 40% were Dedan No. 5, Longyu 602, Xindan 36, Jinluotuo 335, which have lower DIMBOA content. With the increase of DIMBOA content in different maize varieties, the damaged degree of maize gradually decreased. The developmental duration of *O. furnacalis* larvae and total duration of larvae and pupae were significantly different among

收稿日期: 2014-05-26

基金项目: 农业部公益性行业科研专项 (HY201203100)

作者简介: 宋鹏飞 (1986-), 男, 河南许昌人, 在读硕士研究生, 研究方向: 昆虫生态学。E-mail: 65612907@163.com

\* 通讯作者: 罗梅浩 (1956-), 女, 河南西平人, 教授, 主要从事昆虫生理生态教学与研究工作。

E-mail: luomeihao88@163.com

three maize varieties. The larvae duration and total duration on Longyu 602 were the shortest, and on Xundan 20 were the longest. *O. furnacalis* could not complete generation cycle on Denghai 662, Xundan 20, and Longyu 602, but the pupation rate, pupal weight and eclosion rate increased gradually with the decrease of DIMBOA content in the maize varieties.

**Key words:** maize varieties; DIMBOA; *Ostrinia furnacalis*; damage degree; growth

亚洲玉米螟 [*Ostrinia furnacalis* (Guenée)] 是我国玉米上的重要害虫, 主要危害玉米雌穗、籽粒和茎秆, 导致春玉米每年产量损失 10%, 夏玉米损失高达 20%~30%, 严重年份甚至损失 30% 以上<sup>[1-2]</sup>。截至目前, 对亚洲玉米螟仍以化学防治为主<sup>[3]</sup>。化学防治不仅增加投入, 而且污染环境, 加之玉米螟幼虫孵化后即钻入玉米心叶或茎秆危害, 致使很多防治措施难以奏效<sup>[4]</sup>, 因此寻找玉米螟无公害防治的新途径迫在眉睫。

植物次生代谢产物是植物抗虫的重要生化基础<sup>[5]</sup>, 异羟肟酸及其衍生物广泛存在于玉米等禾本科作物中<sup>[6-7]</sup>, 具有广谱抗虫性, 可以作为植物体内天然的杀虫剂<sup>[8-10]</sup>。这类化学物质以丁布 (DIMBOA) 为代表, 是进行昆虫与植物相互关系研究的重要化合物<sup>[11]</sup>。现已发现植物体内丁布与其对欧洲玉米螟 [*Ostrinia nubilalis* (Hübner)]<sup>[12-14]</sup>、玉米蚜 [*Rhopalosiphum maidis* (Fitch)]<sup>[15]</sup>、亚洲玉米螟<sup>[16]</sup>、麦无网蚜 [*Metopolophium dirhodum* (Wlk.)]<sup>[17]</sup>、禾谷缢管蚜 [*Rhopalosiphum padi* (L.)]<sup>[18]</sup>、灰翅夜蛾 [*Spodoptera littoralis* (Boisd.)]<sup>[19]</sup> 等的抗性有关。朱秋云等<sup>[20]</sup> 调查了辽宁广泛种植的 16 个玉米品种心叶末期的抗螟性与其体内总酚和丁布含量的关系, 阎凤鸣等<sup>[21]</sup> 用蘸取丁布的卷心菜叶片饲喂亚洲玉米螟幼虫, 观察其对中肠组织和生长发育的影响, 结果均表明, 丁布对玉米螟可以产生不良影响。由于丁布在玉米苗期含量较高, 随着玉米的生长其含量逐渐降低, 到了玉米螟危害严重的心叶期, 其含量已不足以对玉米螟形成控制, 至于多少丁布含量可以控制玉米螟的危害值得探讨。

本研究以 11 个玉米品种的五叶期叶片为材料, 测定其丁布含量的差异, 并从中选取丁布含量呈高、中、低差异显著的 3 个玉米品种, 研究其对亚洲玉米螟生长发育的影响, 以期促进亚洲玉米螟植物源农药的开发, 并为采取分子手段选育丁布含量高的抗螟性玉米品种提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试玉米品种及昆虫

供试玉米品种为郑单 958、郑韩 9 号、德单 5

号、金骆驼 335、新单 33、新单 36、先玉 335、浚单 20、隆玉 602、登海 662、浚研 158, 均由河南农业大学农学院提供。在控光 (14 L : 10 D)、控温 (28±1)℃ 的气候室中培养, 获得五叶期长势一致的玉米苗备用。

亚洲玉米螟为河南农业大学昆虫生态实验室世代饲养, 在控光 (14 L : 10 D)、控温 (27±1)℃、控湿 (65%~85% RH) 的人工气候箱内饲养。

### 1.2 试剂与仪器

试剂: 磷酸、盐酸、乙醚、甲醇、丙酮、正己烷、冰醋酸等。其中甲醇为市售色谱纯, 其他试剂均为分析纯。

仪器: 旋转蒸发仪、Agilent-1200 高效液相色谱仪等。

### 1.3 不同玉米品种丁布含量的测定

1.3.1 丁布标样的提取 取培养 7 d 的郑单 958 黄化苗, 清水冲洗干净, 用蒸馏水匀浆, 过滤, 室温静置 30 min, 调 pH 值至 3, 4 000 r/min 离心 10 min, 用乙醚萃取上清液 3 次。将乙醚萃取液倒入烧杯中, 干燥, 残留物呈红色, 用氯仿-甲醇 (体积比 95 : 5) 淋洗残留物, 加入丙酮进一步淋洗, 缓慢加入正己烷至晶体析出, 即为丁布。

1.3.2 不同玉米品种丁布的提取 玉米叶片中丁布的分离提取参照聂呈荣等<sup>[22]</sup> 的方法进行。取玉米叶片鲜样 1 g, 加少许蒸馏水研磨匀浆, 室温下静置 15 min, 用 0.1 mol/L 的磷酸调 pH 值至 3.0, 转移至 5 mL 的离心管中, 12 000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 用等体积的乙醚萃取 3 次, 在旋转蒸发仪上彻底蒸干乙醚, 溶于色谱纯的甲醇, 过 0.45 μm 滤膜, -20℃ 冰箱中保存备用。每个品种重复 3 次。

1.3.3 丁布含量的测定 采用高效液相色谱法, 条件: 色谱柱为 C18, 150 nm×4.6 mm; 柱温 28℃; 流动相为 50% 甲醇-50% 体积分数为 0.5% 的冰醋酸水溶液; 流速 1 mL/min; 检测波长 262 nm; 进样量 10 μL。

标样和样品分别在该条件下检测, 将样品峰的保留时间和紫外光谱与标样进行对照。以外标法进行定量, 以不同浓度标样的吸收峰面积作出标准曲线, 计算不同样品中丁布含量, 以每克鲜组织中含有的丁布表示 (μg/g)。

### 1.4 不同丁布含量的玉米品种受害程度鉴定

于玉米五叶期, 在心叶处每株接 20 头玉米螟初

孵幼虫,7 d 后调查各品种的花叶株数和被害级别,被害级别采用 5 级标准划分:0 级,无虫孔;1 级,叶片虫孔呈针孔状;2 级,叶片虫孔多数呈针孔状,少数为小米粒大小的中等虫孔;3 级,叶片上有大量中等虫孔和少部分绿豆大小的虫孔;4 级,叶片上有大量中等虫孔和大虫孔<sup>[1]</sup>。计算花叶指数:

$$\text{花叶指数} = \frac{\sum(\text{被害级别} \times \text{该等级的株数})}{\text{调查总株数} \times 5} \times 100\%。$$

### 1.5 不同玉米品种对亚洲玉米螟生长发育的影响测定

取登海 662、浚单 20、隆玉 602 品种五叶期的叶片,用蒸馏水冲去表面异物,晾干表面水分。用小毛笔轻轻将初孵幼虫接到叶片上,将接过虫的叶片放入底部铺有湿润脱脂棉的指形管中,单头饲养。每个玉米品种 60 头,重复 3 次。每天同一时间记录幼虫的蜕皮与存活情况(以蜕下的皮或头壳为准)。调查过程中,及时更换叶片,直至化蛹。

幼虫化蛹后,将其转移到贴有湿滤纸的无菌指形管中,每管 1 头。每天更换滤纸并记录蛹的存活数,3 d 后称质量。成虫羽化后统计羽化率,并于养虫笼中饲以 5% 的蜂蜜水,待产卵后统计产卵量,直至成虫死亡。

### 1.6 数据分析

采用 DPS 7.05 软件中 Duncan 氏新复极差法检验差异显著性,各试验数据用平均值±标准差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 11 个玉米品种丁布含量比较

从表 1 可以看出,不同玉米品种间丁布含量差异显著。登海 662 丁布含量最高,为 649.40 μg/g,

显著高于其他品种;郑单 958 次之,其与新单 33、浚单 20、先玉 335 和浚研 158 之间差异不显著,但与郑韩 9 号、金骆驼 335、新单 36、隆玉 602 和德单 5 号之间差异显著;德单 5 号、隆玉 602、新单 36 品种丁布含量相对较低。

表 1 11 个玉米品种叶片的丁布含量

玉米品种	丁布含量/(μg/g)
登海 662	649.40±60.58a
郑单 958	475.55±45.96b
新单 33	446.08±43.43bc
浚单 20	431.53±45.89bc
先玉 335	429.59±38.02bc
浚研 158	420.32±38.50bcd
郑韩 9 号	325.42±33.83cd
金骆驼 335	322.57±35.61cd
新单 36	296.88±11.25de
隆玉 602	188.18±11.32ef
德单 5 号	163.65±17.24f

注:数据后不同小写字母表示玉米品种之间差异显著( $P<0.05$ ),表 3—5 同。

### 2.2 不同丁布含量的玉米品种受害程度比较

从表 2 可以看出,花叶指数大于 40% 的有 4 个品种,为德单 5 号、隆玉 602、新单 36 和金骆驼 335,花叶指数分别为 52%、44%、52%和 42%;花叶指数在 20%~40% 的有郑韩 9 号、浚研 158、先玉 335、浚单 20 和郑单 958,分别为 28%、38%、26%、28%和 32%;花叶指数小于 20% 的品种是新单 33 和登海 662,均为 18%。综合分析表 1 和表 2,供试品种的丁布含量明显影响了玉米的受螟害程度,其受害程度(除郑单 958)有随丁布含量的增加而逐渐降低的趋势。

表 2 不同玉米品种的花叶指数

玉米品种	调查株数	被害株数	各被害级别株数					花叶指数/%
			0	1	2	3	4	
德单 5 号	10	10	0	2	3	2	3	52
隆玉 602	10	10	0	2	5	2	1	44
新单 36	10	10	0	2	3	2	3	52
金骆驼 335	10	10	0	3	3	4	0	42
郑韩 9 号	10	8	2	3	4	1	0	28
浚研 158	10	9	1	3	3	2	1	38
先玉 335	10	8	2	4	3	1	0	26
浚单 20	10	8	2	3	4	1	0	28
新单 33	10	7	3	5	2	0	0	18
郑单 958	10	8	2	2	4	2	0	32
登海 662	10	7	3	5	2	0	0	18

### 2.3 3 个玉米品种对亚洲玉米螟生长发育的影响

2.3.1 发育历期 从表 3 可知,亚洲玉米螟 2~5 龄幼虫和蛹的发育历期在 3 个玉米品种之间无显著

差异。饲喂浚单 20 的 1 龄幼虫历期、幼虫总历期和幼虫+蛹总历期最长,分别为 7.02、36.21、43.21 d,显著长于隆玉 602,与登海 662 之间差异不显著。

表 3 取食 3 个玉米品种后亚洲玉米螟的发育历期

d

发育期	登海 662	浚单 20	隆玉 602
1 龄	6.88±0.52ab	7.02±0.21a	5.74±0.22b
2 龄	4.07±0.52a	3.81±0.20a	4.43±0.40a
3 龄	4.67±0.40a	4.94±0.27a	4.09±0.08a
4 龄	5.52±0.20a	5.94±0.46a	6.63±0.89a
5 龄	13.22±1.13a	14.50±1.44a	11.23±1.06a
幼虫期	34.37±1.02ab	36.21±1.17a	32.13±1.71b
蛹期	6.33±0.33a	7.00±0.00a	6.93±0.23a
幼虫+蛹总历期	40.70±0.69ab	43.21±1.17a	39.05±0.82b

2.3.2 化蛹和羽化 由表 4 可以看出,取食隆玉 602 的亚洲玉米螟幼虫化蛹率为 23.32%,且蛹质量最大,为 30.92 mg;取食浚单 20 的次之,化蛹率为 11.65%,蛹质量为 28.80 mg;取食登海 662 的幼虫化蛹率为 10.03%,蛹质量最小,为 23.43 mg。取食隆玉 602 处理的化蛹率显著高于取食另 2 个品种的处理,而取食另 2 个品种的处理之间化蛹率无显著差异。取食登海 662 的玉米螟蛹质量和取食其他 2 个品种的蛹质量之间差异显著,而取食其他 2 个品种的处理之间蛹质量无显著差异。取食玉米后,亚洲玉米螟的羽化率在 3 个品种之间差异不显著,但随着玉米品种丁布含量的降低,羽化率呈上升趋势。取食 3 个玉米品种后,羽化出的亚洲玉米螟成虫均不能正常交配和产卵。可见该虫在 3 个玉米品种五叶期的叶片上均不能完成世代周期。

表 4 取食 3 个玉米品种后亚洲玉米螟的化蛹和羽化情况

玉米品种	化蛹率/%	蛹质量/mg	羽化率/%	单雌产卵量/个
隆玉 602	23.32a	30.92±0.70a	54.17a	0a
浚单 20	11.65b	28.80±1.86a	40.00a	0a
登海 662	10.03b	23.43±3.50b	30.00a	0a

2.3.3 存活率 从表 5 可以看出,取食不同玉米品种后,亚洲玉米螟的世代存活率存在差异,取食登海 662 和浚单 20 的存活率分别为 2.97%和 4.03%,取食隆玉 602 的存活率最高,为 12.97%。取食隆

表 5 取食 3 个玉米品种后亚洲玉米螟各发育期的存活率 %

发育期	登海 662	浚单 20	隆玉 602
1 龄	61.67±3.51a	66.10±3.95a	66.73±5.44a
2 龄	82.33±1.53b	84.17±2.95b	92.93±1.70a
3 龄	87.93±2.70b	85.30±3.26b	94.17±1.86a
4 龄	61.67±3.51a	66.10±3.95a	66.73±5.44a
5 龄	48.60±11.9ab	41.97±5.85b	62.80±7.25a
蛹期	46.97±5.15c	59.90±2.65b	82.13±3.00a
成虫期	30.00±5.67b	40.00±3.64b	54.17±6.12a
世代	2.97±0.32b	4.03±0.95b	12.97±1.83a

玉 602 的处理亚洲玉米螟在各发育期的存活率均最高,且在 2 龄、3 龄、蛹期、成虫和世代这几个发育阶段的存活率显著高于取食浚单 20 和登海 662 品种的处理。

3 结论与讨论

3.1 不同玉米品种丁布含量及其对亚洲玉米螟危害程度的影响

本研究测定了 11 个玉米品种五叶期叶片丁布含量的差异,结果表明,不同品种之间丁布含量差异显著,由高到低依次为登海 662>郑单 958>新单 33>浚单 20>先玉 335>浚研 158>郑韩 9 号>金骆驼 335>新单 36>隆玉 602>德单 5 号。供试玉米品种受害程度(郑单 958 除外)随着丁布含量的增加有逐渐减轻的趋势。Klun 等<sup>[23]</sup>研究发现,田间玉米心叶期对欧洲玉米螟的抗性级别与丁布含量呈显著正相关。朱秋云等<sup>[20]</sup>通过田间调查和室内生化分析,研究了辽宁广泛种植的 16 个玉米品种心叶期对亚洲玉米螟的抗性及与总酚和丁布含量的关系,结果显示玉米品种的抗性总体上随总酚和丁布含量的增加而增强。本试验研究了 11 个玉米品种苗期丁布含量与其受害程度的关系,结果与已报道的田间心叶期抗螟性一致。另外,可以通过分子手段调控玉米心叶期的丁布含量达到五叶期的水平,以提高该时期的抗螟性。至于郑单 958 的丁布含量较高,而其受螟害程度却较高的原因,是否是该品种含有适合亚洲玉米螟的特别营养成分,以致于抵消了丁布的毒害作用,有待进一步研究。

3.2 3 个玉米品种对亚洲玉米螟生长发育的影响

用登海 662、浚单 20、隆玉 602 玉米品种苗期叶片饲喂亚洲玉米螟幼虫,结果表明,幼虫发育历期和幼虫+蛹总历期在 3 个品种之间差异显著,其中取食隆玉 602 的幼虫+蛹总发育历期最短,取食浚单 20 的最长。隆玉 602 玉米叶片的丁布含量最低,亚洲玉米螟幼虫在其上的发育历期也最短;而取食浚单 20 的亚洲玉米螟幼虫发育历期和幼虫+蛹总历

期均长于丁布含量最高的登海 662 处理,这可能是由于登海 662 玉米叶片丁布含量过高,这种环境不适合亚洲玉米螟的生存,使其提前化蛹所致,取食登海 662 的亚洲玉米螟蛹质量显著低于浚单 20 处理,且各处理中都出现了畸形蛹也进一步说明了此问题。取食 3 个玉米品种后,亚洲玉米螟蛹的羽化率之间差异不显著,但随着玉米品种丁布含量的降低,羽化率呈上升趋势。研究结果还显示,虽然亚洲玉米螟在 3 个玉米品种的苗期叶片上均能够完成幼虫期到蛹期的发育,并有不同比例的成虫羽化,但羽化出的成虫都不能正常交配产卵。此结果说明即便是丁布含量较低的玉米品种,只要采取一定措施使其心叶期的丁布含量达到苗期的水平,就能有效控制玉米螟的危害。这也证明生产上通过分子手段调控玉米品种心叶期的丁布水平来控制玉米螟危害的措施是可行的。

在试验中还发现,取食 3 个玉米品种的亚洲玉米螟都出现了 6 龄和 7 龄幼虫,有些 6 龄幼虫能够化蛹,而 7 龄幼虫均不能化蛹。亚洲玉米螟幼虫取食适宜的寄主,基本都是 5 个龄期化蛹,但有研究表明,取食不适宜寄主如棉花时,幼虫的发育历期明显延长,虫龄增加至 6 龄<sup>[24]</sup>。虽然玉米为玉米螟的适宜寄主,但本研究中却也出现了 6 龄和 7 龄幼虫的现象,这可能是由于本试验所用材料为玉米五叶期的叶片,这一时期玉米叶片丁布含量较高所致。

#### 参考文献:

- [1] 罗梅浩,赵艳艳,刘晓光,等. 不同玉米品种的抗虫性研究[J]. 玉米科学,2007,15(5):34-37.
- [2] 余金咏,于泉林,周印富. 菜田套种玉米模式下亚洲玉米螟发生动态及为害[J]. 天津农业科学,2011,17(1):120-123.
- [3] 李唐,连梅力,常六旺,等. 杀虫剂防治糯玉米田玉米螟效果[J]. 山西农业科学,2011,39(10):1109-1110,1114.
- [4] 张颖,付晓伟,赵国强,等. 蕉藕与几个玉米品种对亚洲玉米螟产卵的诱集作用[J]. 生态学报,2010,30(2):408-415.
- [5] 张华平,高九思,王晓霞,等. 亚洲玉米螟在不同玉米品系上产卵选择性的研究[J]. 现代农业科技,2006(10):82-83.
- [6] Niemeyer H M. Hydroxamic acids (4-Hydroxy-1, 4-benzoxazin-3-ones), defence chemicals in the Gramineae[J]. Phytochemistry,1988,27(11):3349-3358.
- [7] Ahmad S, Veyrat N, Gordon-Weeks R, et al. Benzoxazinoid metabolites regulate innate immunity against aphids and fungi in maize[J]. Plant Physiology,2011,157(1):317-327.
- [8] Mukanganyama S, Figueroa C C, Hasler J A, et al. Effects of DIMBOA on detoxification enzymes of the aphid *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) [J]. Journal of Insect Physiology,2003,49(3):223-229.
- [9] McMullen M D, Frey M, Degenhardt J. Genetics and biochemistry of insect resistance in maize[M] // Ben-netzen J L, Hake S C. Handbook of maize: Its biology. New York: Springer,2009:271-289.
- [10] Niemeyer H M. Hydroxamic acids derived from 2-hydroxy-2H-1,4-benzoxazin-3(4H)-one: Key defense chemicals of cereals[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2009,57(5):1677-1696.
- [11] 蒋金炜,黄翠虹,闫凤鸣. 苯并噁嗪类化合物研究进展[J]. 昆虫学报,2007,50(11):1162-1172.
- [12] Houseman J, Campos F, Thie N, et al. Effect of the maize-derived compounds DIMBOA and MBOA on growth and digestive processes of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Economic Entomology,1992,85(3):669-674.
- [13] Campos F, Atkinson J, Arnason J T, et al. Toxicokinetics of 2,4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazin-3-one(DIMBOA) in the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner) [J]. Journal of Chemical Ecology,1989,15(7):1989-2001.
- [14] Klun J A, Tipton C L, Brindley T A. 2-4-dihydroxy-7-methoxy-1,4-benzoxazin-3-one(DIM-BOA), an active agent in the resistance of maize to the European corn borer[J]. Journal of Economic Entomology,1967,60(6):1529-1533.
- [15] Rustamani M A, Kanehisa K, Tsumuki H, et al. The relationship between DIMBOA concentration in corn lines and resistance to aphids[J]. Bulletin of the Research Institute for Bioresources-Okayama University,1996,4(1):33-42.
- [16] Yan F, Xu C, Li S, et al. Effects of DIMBOA on several enzymatic systems in Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) [J]. Journal of Chemical Ecology,1995,21(12):2047-2056.
- [17] Cambier V, Hance T, De Hoffmann E. Effects of 1,4-benzoxazin-3-one derivatives from maize on survival and fecundity of *Metopolophium dirhodum* (Walker) on artificial diet [J]. Journal of Chemical Ecology,2001,27(2):359-370.
- [18] Elek H, Smart L, Martin J, et al. The potential of hydroxamic acids in tetraploid and hexaploid wheat varieties as resistance factors against the bird-cherry oat aphid, *Rhopalosiphum padi* [J]. Annals of Applied Biology,2013,162(1):100-109.
- [19] Glauser G, Marti G, Villard N, et al. Induction and detoxification of maize 1,4-benzoxazin-3-ones by insect herbivores[J]. The Plant Journal,2011,68(5):901-911.
- [20] 朱秋云,丛斌. 玉米的抗虫性状与次生代谢物的关系[J]. 安徽农业科学,2006,34(10):2191-2192.
- [21] 阎凤鸣,许崇任,李松岗,等. 丁布对亚洲玉米螟幼虫中肠组织的影响效果[J]. 昆虫学报,1995,38(3):380-382.
- [22] 聂呈荣,骆世明,王建武,等. 转 Bt 基因玉米叶片次生代谢物 DIMBOA 和酚酸类物质含量的变化[J]. 生态学报,2005,25(4):814-823.
- [23] Klun J A, Robinson J F. Concentration of two 1,4-benzoxazinones in dent corn at various stages of development of the plant and its relation to resistance of the host plant to the European corn borer 1,2,3[J]. Journal of Economic Entomology,1969,62(1):214-220.
- [24] 王振营,鲁新,何康来,等. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望[J]. 沈阳农业大学学报,2000,31(5):402-412.