

十字花科栽培蔬菜及野生近缘种资源对小菜蛾的抗性分析

张晓辉, 邱 杨, 王海平, 宋江萍, 沈 镒, 李锡香

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所/农业部蔬菜作物基因资源与种质创制北京科学观测实验站, 北京 100081)

摘要:小菜蛾是危害十字花科蔬菜最严重的害虫,造成蔬菜产业巨大经济损失。现有育种材料中抗小菜蛾的资源非常稀缺,制约了抗虫新品种的选育。本研究利用国家蔬菜种质资源中期库中近年收集的来自 10 个国家,42 个种,218 份十字花科栽培蔬菜及野生近缘种资源进行了小菜蛾抗性鉴定。这些资源的抗性水平从极抗到极感皆有分布,除极端抗/感材料较少外,总体上呈均匀分布。属间、种间、变种间的平均抗性差异显著。同种植物的不同种质间抗性分布亦广。栽培资源比野生资源具有相对更高的平均抗虫水平,但是后者高抗材料更多。北部欧洲等地是抗性资源分布相对集中的地理区域。本研究获得抗虫资源 19 份,其中高抗资源 4 份,这些材料对蔬菜抗虫育种和抗虫基因发掘具有重要应用价值。

关键词:十字花科;蔬菜;野生近缘种;资源;小菜蛾;抗虫

Analysis on the Resistance of Cruciferous Vegetable Crops and Their Wild Relatives to Diamondback Moth

ZHANG Xiao-hui, QIU Yang, WANG Hai-ping, SONG Jiang-ping, SHEN Di, LI Xi-xiang

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Beijing Research Station of Vegetable Crop Gene Resource and Germplasm Enhancement, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

Abstract: Diamondback moth is one of the most destructive pests of cruciferous vegetables and causes great economical lost annually. The shortage of resistant plant resources has hindered the insect-resistant vegetable breeding progress. In this study, the resistances to diamondback moth were analyzed among the 218 accessions, which belonged to 42 crucifer species and were collected from 10 different countries by the national mid-term gene bank for vegetables. The resistance level distributed almost evenly from highly resistant to highly sensitive, except that the extremely resistant or sensitive resources were rare. Significant differences in resistance were found between genus, species, and variety. Even in same species, the resistant levels of accessions were widely distributed. In general, the cultivated resources showed higher resistance compared to the wild species on average, but wild species contained more high-resistant accessions. The north Europe and several other areas were the places being rich in resistant resources. By the present study, a total of 19 resistant resources were screened out, including four extreme high-resistant accessions. These materials would be valuable and useful in future vegetable breeding and anti-insect gene discovery.

Key words: cruciferae; vegetable; wild relatives; resource; diamondback moth; insect resistance

小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 属鳞翅目菜蛾科昆虫,是十字花科植物专栖性害虫,全球每年造成白菜、甘蓝、油菜等十字花科蔬菜和油料作物 40 亿 ~ 50 亿美元的经济损失,并且每年消耗大约 14 亿美元。

收稿日期:2013-07-29 修回日期:2013-09-09 网络出版日期:2014-01-24

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/10.13430/j.cnki.jpgr.2014.02.001.html>

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAD01B04-2);“948”项目(2011-G1(3)-02);农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目

第一作者主要从事蔬菜种质资源研究工作。E-mail: zhangxiaohui01@caas.cn

通信作者:李锡香,主要从事蔬菜种质资源研究工作。E-mail: lixixiang@caas.cn

元的农药用于防治^[1]。农药的大量使用产生越来越严重的环境危害和食品安全隐患^[2]。因此,培育抗小菜蛾蔬菜新品种成为目前急需解决的任务。虽然转 *Bt* 基因抗小菜蛾蔬菜如 *Bt* 青花菜等已经在实验室获得成功^[3],但是由于我国对转基因食品种植的严格管制和审慎态度,其距离商品化生产还很遥远。另一方面,已经发现小菜蛾对 *Bt* 毒蛋白产生了抗药性^[4]。因而,寻找新的抗源是迫切的需求。

十字花科蔬菜中抗小菜蛾资源非常匮乏,广泛筛选抗性资源是蔬菜资源工作中的重要内容。本课题组在“十一五”期间对原产我国的小白菜资源进行了抗小菜蛾鉴定,筛选出 10 余份抗性资源^[5-6]。胡慧芬等^[7]对油菜资源的小菜蛾抗性做了鉴定,筛选出 2 份高抗材料。R. Andrahennadi 等^[8]对 33 份不同基因型的芸薹属植物做了小菜蛾抗性鉴定,发现 2 份芥菜和 1 份羽衣甘蓝具有抗性。其他十字花科蔬菜和野生近缘种的抗小菜蛾研究还未见报道。本课题组前期鉴定的抗小菜蛾小白菜的抗性属于多基因数量性状,且为隐性基因控制,不利于育种利用^[9-10]。因此,对十字花科蔬菜及近缘种,尤其是野生近缘种进行系统的抗小菜蛾分析,鉴定出新的、便于育种利用的抗源,具有重要的科学和现实意义。

本研究对中国农业科学院蔬菜花卉研究所国家蔬菜种质资源中期库近年收集的 218 份十字花科栽培蔬菜及野生近缘种种质资源进行了小菜蛾鉴定,筛选出一批抗小菜蛾的种质材料。分析了这些资源对小菜蛾抗性的分布规律,力图为进一步收集抗虫蔬菜资源提供引导和借鉴。

1 材料与方法

1.1 植物材料

本研究所用 218 份种质资源来自 10 个国家,分属于十字花科 18 个属 42 个种。具体种质和产地信息见表 1。2012 年 1 月 20 日将所有材料播种于中国农业科学院廊坊试验农场温室,苗期控温 5~10℃。同年 3 月 20 日定植于农场大棚,每份材料定植 15 株,中等水肥条件管理。

1.2 小菜蛾

小菜蛾北京种群由中国农业科学院蔬菜花卉研究所植物保护研究室昆虫组惠赠,室内饲养于甘蓝植株上。

1.3 抗虫鉴定

从每份种质的植株上取完全开展的嫩叶 6 片,用直径 4 cm 金属打孔器打出大小均匀的叶盘。每叶盘

置于直径 6 cm 培养皿中,培养皿中预先放置湿润的滤纸片。每皿接种 5 头 3 龄期小菜蛾幼虫,皿身和皿盖间覆盖软卫生纸,防止小菜蛾逃逸。置于 25℃ 培养箱中培养 3 d 后调查叶盘取食情况。按取食面积调查取食级别,以叶片无取食为 0 级,有取食且取食面积小于 25% 为 1 级,取食 25%~50% 为 3 级,取食 50%~75% 为 5 级,取食超过 75% 但叶肉未食尽为 7 级,取食只剩叶脉为 9 级^[5-6]。虫害级别调查先通过 2 名调查人员目测初判,无分歧的材料根据目测定级,有争议材料用叶面积仪(LI3000C)测量小菜蛾取食后的剩余面积再定级。每份材料设 3 个重复。以取食级别的平均值作为相应种质的虫害级别,以衡量各种质的抗虫性。将虫害级别小于 1 的资源定义为抗性资源;将虫害级别为 0 或大于 7 的资源分别定义为极端抗虫(高抗)或极端感虫(高感)资源。虫害级别在 1~7 之间的资源在本研究中只分析比较抗(感)性,不作具体的分类。

1.4 统计分析

本研究中所有数据的统计分析在 Excel 中进行。每份材料的虫害级别为 3 个重复试验的平均值±标准误。

2 结果与分析

2.1 十字花科栽培蔬菜及其野生种对小菜蛾抗性的鉴定

对来自 10 个国家 18 个属,42 个种,218 份十字花科蔬菜及野生近缘种资源进行叶盘法抗虫鉴定(图 1),所用资源的虫害级别如表 1 所示。本研究共筛选出 19 份抗小菜蛾资源,包括小白菜 3 份,芝麻菜 4 份,山芥 2 份,花椰菜、青花菜、芜菁、东方贡林菜、蒙大拿甘蓝、群心菜、薹菜、西亚大蒜芥各 1 份,以及类属不明的野生十字花科资源 2 份。其中 4 份为高抗,分别为花椰菜 1 份、群心菜 1 份、山芥 1 份、芝麻菜 1 份(表 1)。

这些资源对小菜蛾的抗性水平分布很广,除极端抗虫和极端感虫材料偏少外,大部分资源分布在虫害指数 1~7 级,且呈均匀分布(图 2)。

2.2 种属间抗性差异

本研究发现,同一物种内的不同资源抗性差异巨大,如甘蓝类(*Brassica oleracea*)32 份资源的虫害指数 0~8 级皆有分布,白菜类(*Brassica campestris*)47 份资源的虫害指数广泛分布在 0.5~9 级(图 3)。对几个取样份数较多的种属进行比较分析发现,十字花科栽培蔬菜及野生近缘种对小菜蛾的抗性具有明显的属间差异。由图 4-A 可知,芝麻菜属(*Eruca*)和群心菜属(*Cardaria*)的平均虫害级别较低,集中

表 1 218 份十字花科蔬菜及野生近缘种对小菜蛾的抗性

Table 1 The resistance level of 218 cruciferous vegetables and wild relatives to diamondback moth

物种	原产地	编号	虫害级别	物种	原产地	编号	虫害级别
Species	Origin	Accession	Pest damage grade	Species	Origin	Accession	Pest damage grade
<i>Brassica barrelieri</i>	澳大利亚	1618	5 ± 0. 83	芥菜	中国	8	4. 5 ± 1. 55
	澳大利亚	1619	4 ± 0. 59		中国	9	3. 3 ± 1. 18
	澳大利亚	1620	1. 7 ± 0. 14		中国	10	2. 3 ± 0. 94
地中海甘蓝	澳大利亚	1596	1 ± 0	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	中国	11	6 ± 0. 98
	澳大利亚	1598	3. 7 ± 0. 96		中国	12	7. 3 ± 0. 79
<i>B. fruticulosa</i>	澳大利亚	1599	1. 7 ± 0. 48		中国	13	4. 3 ± 1. 31
	澳大利亚	1600	1 ± 0		中国	14	1. 2 ± 0. 78
海岛甘蓝	澳大利亚	1588	1. 3 ± 0. 34		中国	15	3. 8 ± 1. 48
	澳大利亚	1589	1. 7 ± 0. 48		中国	16	1. 5 ± 0. 49
<i>B. insularis</i>	澳大利亚	1590	2. 3 ± 0. 96		澳大利亚	1605	6 ± 0. 59
	澳大利亚	1591 *	0. 7 ± 0. 24		澳大利亚	1606	5 ± 0. 83
蒙大拿甘蓝	澳大利亚	1592	1 ± 0		澳大利亚	1607	7 ± 1. 44
	澳大利亚	1593	1. 3 ± 0. 64		中国南京	1609	5. 7 ± 0. 48
花椰菜	印度	826	4. 3 ± 1. 25		中国南京	1610	5 ± 1. 18
	印度	827	3. 2 ± 0. 93	群心菜	澳大利亚	1601	3 ± 2. 17
<i>B. oleracea</i> var. <i>botrytis</i>	印度	828	1 ± 0		澳大利亚	1602	5 ± 0
	印度	829	1 ± 0. 59	<i>Cardaria draba</i>	澳大利亚	1603	4. 3 ± 1. 27
	印度	831	2 ± 0. 59		澳大利亚	1604 **	0 ± 0
	印度	832	2. 3 ± 0. 68		澳大利亚	1569	2. 3 ± 0. 48
	印度	833	5 ± 0	海甘蓝	澳大利亚	1570	6. 3 ± 0. 48
	印度	834	2 ± 0. 7		澳大利亚	1571	5. 7 ± 0. 96
	俄罗斯	1244	5. 7 ± 0. 96		澳大利亚	1572	6. 3 ± 0. 48
	俄罗斯	1245	6. 3 ± 0. 48	<i>Crambe abyssinica</i>	澳大利亚	1573	5 ± 0. 83
	俄罗斯	1246 **	0 ± 0		澳大利亚	1574	6. 3 ± 0. 48
	俄罗斯	1247	3 ± 0. 83		澳大利亚	1575	6. 3 ± 0. 48
	俄罗斯	1248	5. 7 ± 0. 48		澳大利亚	1576	2. 3 ± 0. 96
	俄罗斯	1249	6. 3 ± 0. 48		澳大利亚	1577	3. 7 ± 0. 48
	意大利	1251	7 ± 0		澳大利亚	1578	6. 3 ± 0. 48
	意大利	1252	8 ± 0. 59		澳大利亚	1579	7. 7 ± 0. 48
	意大利	1253	3 ± 0		澳大利亚	1580	5. 7 ± 0. 96
	印度	1519	7 ± 0		澳大利亚	1581	7 ± 0. 83
	印度	1520	7 ± 0		澳大利亚	1582	3 ± 0. 83
	印度	1521	2. 7 ± 0. 34		澳大利亚	1583	6. 3 ± 0. 48
	印度	1522	5 ± 0		德国	3 *	0. 8 ± 0. 8
	印度	1523	2 ± 0. 46	芝麻菜	德国	4 **	0 ± 0
	印度	1524	4. 3 ± 0. 96		德国	5	1 ± 0. 44
甘蓝	印度	835	7 ± 0		德国	6 *	0. 5 ± 0. 22
	印度	837	5 ± 0	<i>Eruca sativa</i>	德国	7 *	0. 8 ± 0. 47
<i>B. oleracea</i> var. <i>capitata</i>	印度	838	5 ± 0. 83		意大利	1536	4. 3 ± 0. 48
	西班牙	1527	1 ± 0		俄罗斯	1537	2 ± 0. 59
青花菜	西班牙	1528	1. 8 ± 0. 46		俄罗斯	1538	3. 7 ± 0. 48
	西班牙	1529	1. 7 ± 0. 48		澳大利亚	1624	1 ± 0
<i>B. oleracea</i> var. <i>italica</i>	西班牙	1530	4. 3 ± 0. 48		澳大利亚	1625	2. 3 ± 0. 48
	西班牙	1531	7 ± 0	<i>Isatis tinctoria</i>	澳大利亚	1626	5 ± 1. 17
	西班牙	1534 *	0. 8 ± 0		朝鲜	809	1 ± 0. 72
	乌兹别克	1202	5 ± 0. 83		西班牙	810	3 ± 0. 83
芜菁	俄罗斯	1203	5. 7 ± 0. 48	萝卜	西班牙	817	1. 7 ± 1. 2
	俄罗斯	1204	5 ± 0		意大利	923	6. 3 ± 0. 48
<i>B. rapa</i>	中国西藏	1205	3. 8 ± 0. 95		俄罗斯	1216	5 ± 0. 83
	中国西藏	1206	4 ± 0. 59	<i>Raphanus sativus</i>	乌兹别克	1219	1. 6 ± 1. 27
	中国西藏	1210	1. 4 ± 0. 63		俄罗斯	1227	2. 7 ± 1. 04
	中国四川	1507	9 ± 0		俄罗斯	1229	3. 7 ± 0. 48
	中国四川	1508	5 ± 0		俄罗斯	1230	3 ± 0. 83
	中国四川	1509	5. 7 ± 1. 27		中国西藏	1239	3 ± 0
	中国西藏	1510	1 ± 0		中国西藏	1240	3. 7 ± 0. 96

表 1(续)

物种	原产地	编号	虫害级别	物种	原产地	编号	虫害级别
Species	Origin	Accession	Pest damage grade	Species	Origin	Accession	Pest damage grade
芜菁	印度	1512	1 ± 0	萝卜	中国四川	1493	3 ± 0. 83
<i>B. rapa</i>	澳大利亚	1513*	0. 5 ± 0. 29	<i>Raphanus sativus</i>	中国西藏	1494	2. 3 ± 0. 48
	澳大利亚	1514	3 ± 0		中国西藏	1495	2. 3 ± 0. 48
	中国河北	1515	1 ± 0		中国西藏	1496	3. 7 ± 0. 96
					澳大利亚	1501	1. 7 ± 0. 48
小白菜	中国	B12-1*	0. 67 ± 0. 33		澳大利亚	1502	5. 7 ± 0. 96
<i>B. chinensis</i>	中国	B12-11	3 ± 0		中国湖北	1503	3 ± 0
	中国	B12-12	3 ± 0	白芥	澳大利亚	1545	7 ± 0
	中国	B12-13	1 ± 0		澳大利亚	1546	7. 7 ± 0. 48
	中国	B12-14	1. 33 ± 0. 88		澳大利亚	1547	5 ± 0. 83
	中国	B12-16	3 ± 1. 15		澳大利亚	1548	1. 8 ± 0. 74
	中国	B12-17	2. 33 ± 0. 67	<i>Sinapis alba</i>	澳大利亚	1549	9 ± 0
	中国	B12-18	3 ± 0		澳大利亚	1550	6. 3 ± 0. 48
	中国	B12-19	2. 33 ± 0. 67		澳大利亚	1551	6. 3 ± 0. 48
	中国	B12-2	1. 33 ± 0. 88		澳大利亚	1552	4. 3 ± 0. 96
	中国	B12-23	2. 33 ± 0. 67		澳大利亚	1553	5 ± 1. 17
	中国	B12-25	1. 67 ± 0. 67		澳大利亚	1554	6 ± 0. 7
	中国	B12-27	3. 67 ± 0. 67	野芥	澳大利亚	1612	3 ± 0
	中国	B12-28	1. 67 ± 0. 67		澳大利亚	1613	3 ± 0. 83
	中国	B12-29	3 ± 1. 15		澳大利亚	1614	4. 3 ± 1. 27
	中国	B12-3*	0. 67 ± 0. 67		澳大利亚	1615	4 ± 0. 7
	中国	B12-3	2. 33 ± 0. 33	西亚大蒜芥	澳大利亚	1559	7 ± 0
	中国	B12-30	1. 67 ± 0. 67		澳大利亚	1560*	0. 8 ± 0. 49
	中国	B12-31*	0. 67 ± 0. 33	<i>Sisymbrium orientale</i>	澳大利亚	1561	1 ± 0
	中国	B12-31	1. 33 ± 0. 88		澳大利亚	1562	3. 4 ± 1. 37
	中国	B12-36	4. 33 ± 0. 67		澳大利亚	1563	2 ± 0
	中国	B12-4	1. 33 ± 0. 88		澳大利亚	1564	1 ± 0
	中国	B12-40	4. 33 ± 0. 67	待鉴定野生十字花科	西班牙	2	1. 33 ± 0. 54
	中国	B12-41	2. 33 ± 1. 33		西班牙	17*	0. 83 ± 0. 46
	中国	B12-44	2. 33 ± 0. 67	Undetermined wild crucifer	西班牙	18	1 ± 0. 43
	中国	B12-48	1 ± 0		西班牙	19*	0. 83 ± 0. 16
	中国	B12-49	1. 67 ± 0. 67		西班牙	20	1. 17 ± 0. 39
	中国	B12-5	1 ± 0		西班牙	21	1. 33 ± 0. 55
	中国	B12-53	3 ± 0		西班牙	24	2. 67 ± 0. 6
	中国	B12-58	3 ± 0		西班牙	26	2 ± 0. 44
	中国	B12-6	1 ± 0		西班牙	27	3. 83 ± 1. 37
	中国	B12-7	1 ± 0		西班牙	28	1. 33 ± 0. 86
	中国	B12-9	4. 33 ± 0. 67		西班牙	906	1. 67 ± 0. 48
	澳大利亚	1622	6. 3 ± 1. 27		西班牙	909	1. 67 ± 0. 48
薹菜	澳大利亚	1632	5 ± 0		西班牙	912	1. 67 ± 0. 48
<i>B. ruvo</i>	澳大利亚	1633	5 ± 0		西班牙	913	2. 67 ± 0. 63
	澳大利亚	1634*	0. 5 ± 0. 29		西班牙	brall-1	5 ± 1. 01
	澳大利亚	1635	1 ± 0	灰白芥	澳大利亚	1557	2. 7 ± 0. 34
	澳大利亚	1567	7 ± 0. 83		澳大利亚	1558	5. 7 ± 0. 96
<i>B. elongata</i>	澳大利亚	1568	6 ± 0. 6	二月兰	中国北京	b	4. 3 ± 0. 97
<i>B. incana</i>	澳大利亚	1584	5 ± 1. 18		中国北京	h	4. 3 ± 0. 65
	澳大利亚	1586	3 ± 0. 83	<i>Orychophragmus violaceus</i>	澳大利亚	1628	7. 7 ± 0. 48
<i>B. cretica</i>	澳大利亚	1585	2. 3 ± 0. 48	<i>Carrichtera annua</i>	澳大利亚	1628	7. 7 ± 0. 48
芥菜 <i>B. juncea</i>	中国四川	1516	5 ± 0	离子芥 <i>Chorispora tenella</i>	澳大利亚	1543	5 ± 0. 83
<i>B. maurorum</i>	澳大利亚	1621	5. 6 ± 0. 96	东方贡林菜 <i>Conringia orientalis</i>	澳大利亚	1637*	0. 8 ± 0. 49
<i>B. oxyrrhina</i>	澳大利亚	1616	6. 3 ± 1. 27	独行菜 <i>Lepidium sativum</i>	意大利	1535	3 ± 0
<i>B. souliei</i>	澳大利亚	1630	2 ± 0. 59	长瓣紫罗兰 <i>Mathiola longipetala</i>	澳大利亚	1636	3. 7 ± 0. 96
芥蓝 <i>Camelina sativa</i>	澳大利亚	1611	1. 5 ± 0. 88	<i>Moricandia arvensis</i>	澳大利亚	1623	1. 3 ± 0. 52
山芥 <i>Barbarea vulgaris</i>	丹麦	B4-3*	0. 7 ± 0. 24	二行芥 <i>Diplotaxis muralis</i>	澳大利亚	1555	1. 7 ± 0. 82
	丹麦	B44-1**	0 ± 0		澳大利亚	1556	1. 7 ± 0. 48

* :抗虫资源 ; ** :高抗资源
* :Resistant resource , ** :High-resistant resource

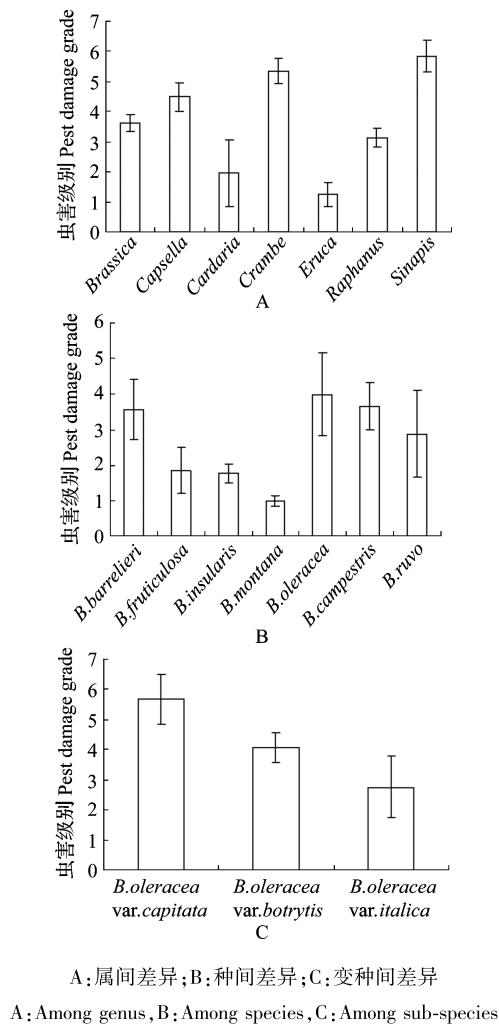


图4 种属间抗虫性差异

Fig. 4 Diversity of resistant level among genus and species

独行菜、二行芥、野芥、离子芥等)、半野生种(芝麻菜、欧洲菘蓝、荠菜、海甘蓝、白芥等)和栽培种(甘蓝、花椰菜、青花菜、白菜、芜菁、萝卜、芥菜等)分类,比较三者之间的抗性分布。如图5所示,按虫害级别聚类,野生种资源的分布呈倒卵形,虫害指数的峰值在5~6.5级;半野生种资源呈椭圆分布,虫害指数峰值在1~5级;栽培种资源呈水滴分布,虫害指数的峰值在1~3级。虽然取样不能代表十字花科蔬菜全貌,但这些结果表明,在蔬菜的集中栽培和连作模式下,小菜蛾的集中爆发可能给蔬菜造成潜在的选择压力,因而造成栽培种演化过程中抗虫性逐渐的微效累积,但是这种微弱抗性尚无法阻止小菜蛾的危害。无论野生种、半野生种还是栽培种,都可能找到高抗的资源。比较而言,野生种和半野生种资源中出现高抗资源的频率较高,也更有可能会找到质量性状的抗性,这是由于野生资源具有更丰富的遗传背景和变异源。

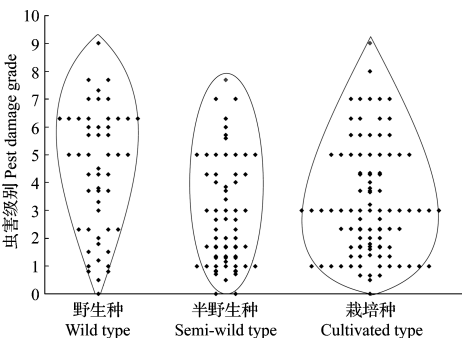


图5 栽培种和野生种资源的抗虫性分布

Fig. 5 The distribution of pest damage grade of cultivated and wild-type crucifers

2.4 抗性资源的地理分布

本研究共筛选出19份抗小菜蛾的十字花科栽培蔬菜及野生资源,占总检测对象的8.68%。按国别计算,源自德国、丹麦、西班牙的抗性资源比例超过平均水平,源自中国、澳大利亚、俄罗斯的资源抗性比例低于或接近平均水平,源自朝鲜、乌兹别克、意大利、印度的植物中未发现抗性资源(表2)。虽然有些国家的资源份数较少,不具备统计代表性,但是总体上仍可以反映出不同地理位置抗性资源的贫富差异。根据M. J. Furlong等^[1]及J. M. Zalucki等^[11]总结的全球小菜蛾流行区域分布情况,抗性资源既分布在小菜蛾周年流行的地区,如中国长江流域以南、澳大利亚、西班牙;也分布在季节性流行的地区,如德国、丹麦、俄罗斯等地。总体而言,北部欧洲、西南欧洲等十字花科植物的演化和起源中心是野生抗虫资源富集的地区,澳大利亚以其独特的地理环境和与世隔绝的生物演化历程,也蕴藏着相对丰富的抗虫资源。中国作为多种十字花科蔬菜的起源中心,可以发掘出一些抗性较强的地方品种。

3 讨论

叶盘法离体接虫鉴定小菜蛾抗性是一种广泛使用的抗虫性鉴定方法,与网室鉴定具有极显著的相关性^[12]。因此,本研究使用该方法鉴定出的19份抗虫资源是真实可靠的。但是室内离体接虫的抗性不等于田间的抗性,并且随着植物的发育阶段、生长周期、以及环境条件的改变抗虫物质的积累也会产生变化,小菜蛾的取食习性和适应性也会随着栖息地的食物来源而调整,因此,这些资源的实际抗虫效果仍需田间全生育期的抗虫鉴定和评价。

同一物种内的蔬菜抗性分布广泛,表明在大多数栽培蔬菜中抗虫性是一个复杂的数量性状。栽培蔬菜的相对抗虫能力可能是物种驯化过程中微效

表 2 抗性资源的地理分布

Table 2 The national distribution of resistant resources

参数 Parameters	东亚 East Asia		南亚 South Asia		北欧 Northern Europe		前苏联 Former Soviet		地中海国家 Mediterranean countries		澳大利亚 Australia	合计 Total
	中国 China	朝鲜 North Korea	印度 India		德国 Germany	丹麦 Denmark	俄罗斯 Russia	乌兹别克 Uzbekistan	西班牙 Spain	意大利 Italy		
资源总数 Total resource	62	1	18		5	2	14	2	23	6	86	218
抗性资源 Resistant resource	3	0	0		4	1	1	0	3	0	6	19
抗性比例(%) Percentage	4.84	0	0		80	50	7.14	0	13.04	0	6.98	8.68

抗性基因选择和聚合的结果。在中国、俄罗斯等园艺历史悠久的国家,筛选对小菜蛾具有较高抗性的地方品种是可行的。虽然在大多数栽培蔬菜中只筛选到中等抗性的资源,对这些中抗资源进行聚合杂交,筛选出抗性更强的品种或品系是一个值得尝试的育种途径。

栽培蔬菜中高抗资源的匮乏迫使我们把目光转向野生近缘种。本研究发现十字花科植物的抗虫性在属、种间具有显著差异。野生、半野生资源中的山芥属、芝麻菜属和群心菜属的平均抗虫能力较高,可作为发掘抗虫资源的重点关注对象。从地域上来看,欧洲北部、西南部,澳大利亚可作为抗虫野生资源考察收集的重点地区。

本研究共筛选出高抗资源 4 份,其中 1 份花椰菜资源可以直接用于花椰菜以及其他甘蓝类蔬菜的抗虫育种。另外 3 份野生或半野生资源,1 份山芥、1 份芝麻菜、1 份群心菜,无法直接用于大宗蔬菜的抗虫育种。本课题组正在或正准备通过远缘杂交和原生质体融合技术将这些资源的抗虫性状转移到栽培蔬菜中去。由于是属间杂交,存在严重的生殖隔离,这一过程注定漫长和艰辛。得益于分子生物学和基因工程技术的进步,克隆抗虫基因并通过转基因技术获得抗虫蔬菜新种质成为一个有效的供选方案。山芥中的抗虫物种已经被证明是一类三萜烯皂甙^[13-15]。本课题组通过对抗虫山芥小菜蛾取食前后的一系列转录组分析,揭示了该物种内皂甙合成及调控途径^[16],并且成功克隆出一个抗虫皂甙生物合成途径中的关键酶 β -AS 基因^[17],为十字花科蔬菜抗虫基因工程育种推进了一小步。芝麻菜和群心菜的抗虫机理尚不明确,需要付出更大的努力去推动二者的研究和利用。

总之,本研究通过离体叶片抗小菜蛾试验,初步筛选出一批抗小菜蛾的十字花科栽培蔬菜及野生近缘种资源。为十字花科蔬菜抗虫育种和抗虫基因的发掘提供了基础材料。通过对这些资源的比较分析,总结出十字花科蔬菜及野生近缘种抗虫性分布的一般规律,

为进一步考察收集、评价鉴定抗虫资源指引了方向。

参考文献

[1] Furlong M J, Wright D J, Dosdall L M. Diamondback Moth ecology and management: problems, progress, and prospects [J]. Annu Rev Entomol, 2013, 58: 517-541

[2] 邓波,王珊珊,陈国元. 2007-2011 年全国蔬菜农药残留状况规律分析[J]. 实用预防医学, 2013, 20(2): 253-256

[3] 李汉霞,张晓辉,付雪林,等. 双 Bt 基因提高青花菜对菜粉蝶和小菜蛾抗性[J]. 农业生物技术学报, 2010, 18(3): 654-662

[4] 杨峰山,吴青君,徐宝云,等. 小菜蛾对 Bt 毒素 CryIAc 和 Bt 制剂抗性的选育及其抗性种群的生物学适应性[J]. 昆虫学报, 2006, 49(1): 64-69

[5] 杨峰山,王海平,李锡香,等. 白菜种质资源对小菜蛾抗性的初步评价[J]. 中国蔬菜, 2004(3): 12-14

[6] 王海平,李锡香,杨峰山,等. 小白菜种质资源对小菜蛾的抗性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 191-194

[7] 胡慧芬,方小平,肖春. 油菜种质资源抗小菜蛾的鉴定[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 73-76

[8] Andrahennadi R, Gillott C. Resistance of *Brassica*, especially *B. juncea* (L.) Czern, genotypes to the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) [J]. Crop Prot, 1998, 17(1): 85-94

[9] 王欣. 白菜对小菜蛾抗性的评价方法及抗虫机理研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2007

[10] 陆鹏,李锡香,吴青君,等. 不结球白菜优异种质对小菜蛾抗性的遗传分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 71-74

[11] Zalucki J M, Furlong M J. Predicting outbreaks of a major migratory pest: an analysis of diamondback moth distribution and abundance revisited [C]// Proceedings of the sixth international workshop on management of the diamondback moth and other crucifer insect pests. Taiwan: AVRDC-The World Veg Cent, 2011: 8-14

[12] 王欣,李锡香,吴青君,等. 白菜抗小菜蛾网室鉴定和离体鉴定方法比较[J]. 中国蔬菜, 2007(12): 22-24

[13] Agerbirk N, Olsen C E, Bibby B M, et al. A saponin correlated with variable resistance of *Barbarea vulgaris* to the diamondback moth *Plutella xylostella* [J]. J Chem Ecol, 2003, 29(6): 1417-1433

[14] Nielsen N J, Nielsen J, Staerk D. New resistance-correlated saponins from the insect-resistant crucifer *Barbarea vulgaris* [J]. J Agr Food Chem, 2010, 58(9): 5509-5514

[15] Shinoda T, Nagao T, Nakayama M, et al. Identification of a triterpenoid saponin from a crucifer, *Barbarea vulgaris*, as a feeding deterrent to the diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. J Chem Ecol, 2002, 28(3): 587-599

[16] Wei X, Zhang X, Shen D, et al. Transcriptome analysis of *Barbarea vulgaris* infested with 1 diamondback moth (*Plutella xylostella*) larvae [J]. PLoS One, 2013, 8(5): e64481

[17] 魏小春,张晓辉,吴青君,等. 欧洲山芥皂苷合成关键酶基因 *Bv-beta-AS* 克隆及表达分析[J]. 园艺学报, 2012, 39(5): 923-930