

# 欧洲山芥种质资源的表型遗传多样性分析

刘同金, 张晓辉, 沈 镒, 王海平, 邱 杨, 宋江萍, 李锡香

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所/农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 欧洲山芥是研究抗虫皂苷生物合成及植食昆虫与植物协同进化机制的理想模式植物, 是极具开发潜力的十字花科植物。为加强欧洲山芥种质资源的研究利用, 对保存于国家蔬菜种质资源中期库中引自欧洲的 33 份欧洲山芥种质和 1 份杂交材料进行了物候期观测、主要形态学性状测定和小菜蛾抗性鉴定。结果表明: 多数材料的表型性状的差异较大, 材料间现蕾期最早 (BV13-BAR13) 和最晚 (BV13-BAR9) 的 2 份材料相差达 47 d; 从始花期到末花期的天数分布在 17 ~ 46 d 之间, 总体上花期较短; 叶表光滑的种质居多; 还发现 4 份角果抱茎的种质; 极差和变异系数最大的性状是株高、角果长和花序长。34 份材料中仅 9 份感小菜蛾, 其他均具有很高的田间抗性。基于所有表型性状的聚类分析将 34 份欧洲山芥分为 3 个类群, 抗虫和感虫材料分属不同的类群 ( $F_1$ , BV13-BAR8 和 BV13-BAR22 除外), 基本反映出各类群的亲缘关系。本研究结果将为欧洲山芥的遗传改良以及欧洲山芥种质资源在十字花科作物生产和育种上的应用提供基本依据。

**关键词:** 欧洲山芥; 种质资源; 表型性状; 小菜蛾; 遗传多样性

## Analysis on Genetic Diversity of *Barbarea Vulgaris* Germplasm Resources Based on Phenotypic Traits

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

(Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops, Ministry of Agriculture, Beijing 100081)

**Abstract:** *Barbarea vulgaris* is an excellent cruciferous plant, particularly as a ideal model species to study saponin biosynthesis, insect resistance, and coevolution of plants and insect pest. In order to make full use of *B. vulgaris* germplasm, the genetic diversity was analyzed among the 34 accessions conserved in the national mid-term gene bank for vegetables, based on the phenologic, morphological and insect resistance data from the field investigation. The results showed significant morphological diversity in *B. vulgaris* germplasm from Europe. Among the 34 accession, BV13-BAR13 bolted earliest, 47 days earlier than the latest bolting material (BV13-BAR9). Most of the *B. vulgaris* germplasm had glabrous leaves. The range and coefficient variation (CV) of the plant height, silique length and inflorescence length were the highest among all traits. Only 9 of 34 *B. vulgaris* were susceptible to the diamondback moth, most accessions were highly resistant to the pest. The clustering analysis showed that 34 accessions could be divided into 3 groups. The resistant and susceptible germplasm were distributed to different groups (except  $F_1$ , BV13-BAR8 and BV13-BAR22), reflecting their genetic relationships. Our research would provide useful materials and information for the genetic breeding of insect resistant *B. Vulgaris* and cruciferae crops.

**Key words:** *Barbarea vulgaris*; germplasm; phenotypic characteristics; diamondback moth; genetic diversity

小菜蛾是鳞翅目 (Lepidoptera) 菜蛾科 (Plutridae) 十字花科寡食性害虫, 全球每年因小菜蛾造成的农作物经济损失高达 40 ~ 50 亿美元<sup>[1]</sup>。目前, 国

内外对小菜蛾主要采用化学药剂进行防控<sup>[2]</sup>, 不仅杀死了其天敌<sup>[3]</sup>, 也造成了巨大的环境污染<sup>[1]</sup>, 因此寻找新型防治措施和培育抗虫品种迫在眉睫, 而

收稿日期: 2014-10-14 修回日期: 2014-12-04 网络出版日期: 2015-04-10

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150410.1624.015.html>

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划课题 (2013BAD01B04-2); “948”项目 [2011-G1(4)-2]

第一作者研究方向为蔬菜种质资源。E-mail: tongjinliu@163.com

通信作者: 李锡香, 研究方向为蔬菜种质资源。E-mail: lixx0612@163.com

搜集鉴定抗虫种质资源、挖掘植物抗虫基因是抗虫育种的前提和基础。

欧洲山芥 (*Barbarea vulgaris* R. Br.) 是一种起源于地中海地区的二年生或多年生十字花科野菜, 现已广泛分布于亚欧大陆和北美, 中国新疆北部也有该物种的分布<sup>[4]</sup>, 是极具开发潜力的优异植物资源。它是目前已知的唯一能够合成皂苷的十字花科植物<sup>[5]</sup>, 也是研究植食昆虫与植物协同进化机制的理想模式植物<sup>[6]</sup>。欧洲山芥高抗由植物卵菌亚纲植物真菌引起的白条锈病<sup>[7]</sup>和十字花科寡食性害虫小菜蛾<sup>[8]</sup>、跳甲<sup>[9]</sup>、甘蓝夜蛾<sup>[10]</sup>, 从而引起了研究者的广泛关注, 国外学者已开始对其进行优异基因的挖掘<sup>[11-13]</sup>, 且早已将其作为诱杀作物进行虫害的防治<sup>[14-15]</sup>。然而, 迄今为止国内仅吕建华<sup>[16]</sup>和魏小春<sup>[17]</sup>初步研究了其对小菜蛾的诱杀效应和机理。

近年来, 研究还发现欧洲山芥植株内存在有益人体健康的植物化学成分, 有些地区已经开始将其作为蔬菜和药膳食用, 也具有作为油料作物的潜能<sup>[18]</sup>。为了充分利用这一优异植物资源, 并弥补与国外研究的差距, 中国农业科学院蔬菜花卉研究所种质资源研究室于 2008 年引进了 33 份国外欧洲山芥种质资源。本研究对这批材料的物候期和表型性状及抗虫性进行了鉴定评价, 以期了解其遗传多样性和亲缘关系, 为研究欧洲山芥的起源演化和指导种质资源收集保存及应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试欧洲山芥种质资源共 34 份。其中 33 份种子由中国农业科学院蔬菜花卉研究所种质资源研究室于 2008 年从欧洲引进, 另外 1 份为魏小春<sup>[17]</sup> 2012 年利用 G 型和 P 型欧洲山芥杂交获得的 F<sub>1</sub> 种子均保存于国家蔬菜种质资源中期库。

### 1.2 试验设计

试验于 2013-2014 年在中国农业科学院蔬菜花卉研究所塑料大棚内进行。欧洲山芥种子于 2013 年 9 月 5 日播种于 10 cm × 10 cm 育苗钵内, 11 月 20 日移至阳畦春化越冬, 2014 年 3 月 14 日定植于塑料大棚。每份材料种植 1~2 行, 行距 60 cm, 常规管理。

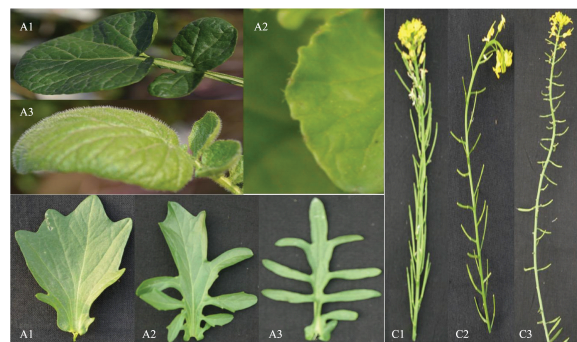
### 1.3 观测项目及方法

**1.3.1 物候期观测** 2014 年 2 月 1 日开始每天观察记录欧洲山芥抽薹期、现蕾期、始花期、盛花期、末花期, 至结荚期停止观测。观测标准如下, 现蕾期: 90% 的植株出现花蕾的日期; 抽薹期: 植株抽出约

10 cm 花薹的日期; 始花期: 90% 的植株上开始出现完全开放花朵的日期; 盛花期: 植株 50% 花序上的花朵开放的日期; 末花期: 90% 的花序仅剩顶端少量花朵的日期; 结荚期: 角果完全伸长膨大的日期。

**1.3.2 形态性状观测** 选用 4 个描述型性状(叶毛有无、苔生叶叶裂、自交结实性、角果着生状态)和 10 个数值型性状(基生叶的叶长、叶宽和叶柄长, 苔生叶的叶长和叶宽, 开花期株高、茎粗、花序长, 结荚期角果长和角果粗)描述欧洲山芥种质资源的表型多样性。

根据欧洲山芥基生叶的远、近轴面、叶脉及叶缘部叶毛的有无将 34 份材料分为: 无毛, 仅叶脉和叶缘有毛, 远、近轴面及叶脉、叶缘均有毛 3 种类型(图 1, A1~A3); 依据苔生叶缺刻的深浅可将叶裂分为浅裂(叶片缺刻最深不超过叶片的 1/2)、深裂(叶片缺刻超过叶片的 1/2 但未达中脉或叶的基部)和全裂(叶片缺刻深达中脉或叶的基部)3 种类型(图 1, B1~B3); 角果着生状态根据角果与苔的角度分为小(0~30°)、中(30~80°)、大(80~90°)3 级(图 1, C1~C3); 每份材料选择 10 枝健壮花枝, 蕾期套袋, 角果成熟后考种, 根据不同材料平均收获种子数量将结实性分为弱(≤10 粒)、中(10~100 粒)、强(≥100 粒)3 个等级。



A1: 无毛; A2: 仅叶脉和叶缘有毛; A3: 远、近轴面及叶脉、叶缘均有毛; B1: 浅裂; B2: 深裂; B3: 全裂; C1: 小; C2: 中; C3: 大  
A1: Glabrous, A2: Pubescence at vein and edge of leaf, A3: Pubescence at leaf surface, B1: Lobate, B2: Parted, B3: Divided, C1: Small, C2: Middle, C3: Big

图 1 欧洲山芥种质资源叶毛 (A1~A3)、叶裂 (B1~B3) 和角果着生状态 (C1~C3) 分类标准  
Fig. 1 The criteria of pubescence (A1-A3), leaf blade incision (B1-B3) and silique status (C1-C3) in *B. vulgaris* germplasm

形态性状的测定于 2014 年 5 月 30 日进行, 每份材料随机测量 5 株。利用卷尺测量最大基生叶的叶柄长 (cm)、叶长 (cm) 和叶宽 (cm), 最大苔生叶的叶长 (cm)、叶宽 (cm)、株高 (cm) 和最大花序长

(cm);游标卡尺测定茎粗(mm)、角果长(mm)和角果粗(mm)。茎粗为距地面10 cm处茎的直径,角果粗为角果中间的直径,每株测量2次取平均值。

**1.3.3 抗虫性调查** 于2014年6月11日调查大棚内欧洲山芥受小菜蛾的危害情况,该时期北方地区小菜蛾对十字花科作物危害最严重,不同欧洲山芥种质资源间的抗虫性差异也很明显地表现出来。将34份材料分为抗虫和感虫2种类型,数码相机拍照。抗虫材料表现为整株叶片无虫孔,感虫材料表现为全株叶片均被小菜蛾咬食1/2以上,有的仅剩叶脉。

#### 1.4 数据处理

原始数据保存于Excel 2007,用SPSS 17.0软件计算数值型性状的最大值、最小值、平均值、标准差和变异系数。将物候期的6个不同时期、形态学性状的4个描述型性状和抗虫性状赋值做标准化处理,物候期的6个不同时期进行4级分类,1级最早,4级最晚,不同级别天数相同;叶毛3级赋值分

别为:无毛(1),仅叶脉和叶缘有毛(2);远、近轴面及叶脉、叶缘均有毛(3);角果着生状态赋值为:小(1),中(2),大(3);叶裂赋值为:浅裂(1),深裂(2),全裂(3);结实性赋值为:弱(1),中(2),强(3);抗虫性赋值为:感(1),抗(2);对10个数值型性状进行10级分类,1级 $< X - 2\delta$ ,10级 $\geq X + 2\delta$ ( $X$ 为平均值, $\delta$ 为标准差),中间每级相差 $0.5\delta$ <sup>[19]</sup>。最后将上述数据转换为“0,1”格式,用Ntsyspc 2.1软件按UPGMA法对34份欧洲山芥种质资源进行聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 欧洲山芥种质资源的物候期观测

由表1可知,34份欧洲山芥种质资源的物候期差异很大,BV13-BAR13现蕾最早,BV13-BAR9现蕾最晚,两者差异达47 d;多数材料在现蕾几天后均迅速抽薹,但是各种质从现蕾到抽薹的天数亦存在差异;3月底到4月中旬陆续开花,不同材料的盛花

表1 欧洲山芥种质资源物候期观测结果

Table 1 Phenological observation of *B. vulgaris* germplasm resources

材料编号 No.	来源国 Country of origin	现蕾期 (M/D) Squaring date	抽薹期 (M/D) Bolting date	始花期(M/D) Starting flowering date	盛花期(M/D) Full blooming date	末花期(M/D) Flower withering date	结荚期 (M/D) Podding stage	花期长短(d) Flowering duration
G-type	Denmark	3/18	3/22	4/05	4/10	5/01	4/15	25
P-type	Denmark	2/25	3/04	3/31	4/05	4/17	4/10	17
F <sub>1</sub>	*	3/01	3/11	4/01	4/06	4/29	4/12	28
BV13-BAR1	—	3/19	3/24	4/02	4/15	5/12	4/16	40
BV13-BAR2	Poland	3/24	4/2	4/14	4/21	5/19	5/01	35
BV13-BAR3	German Democratic Republic	2/19	3/11	3/22	4/03	4/16	4/01	25
BV13-BAR4	Ireland	3/22	4/1	4/15	4/22	5/16	4/30	31
BV13-BAR5	Norway	3/11	3/16	4/02	4/07	5/18	4/20	46
BV13-BAR6	Norway	4/02	4/10	4/19	4/27	5/17	5/01	28
BV13-BAR7	Norway	4/03	4/16	4/10	4/27	5/9	5/01	29
BV13-BAR8	—	4/01	4/12	4/23	5/01	5/16	5/03	23
BV13-BAR9	Germany	4/05	4/15	4/30	5/01	5/19	4/25	19
BV13-BAR11	—	3/18	3/24	4/05	4/16	5/8	4/03	33
BV13-BAR12	—	3/22	3/26	4/08	4/15	5/11	4/29	33
BV13-BAR13	—	2/17	3/11	3/15	4/02	4/16	4/01	31
BV13-BAR14	—	3/19	3/26	4/03	4/11	5/10	5/01	37
BV13-BAR15	Austria	3/30	4/02	4/11	5/6	5/18	5/10	37
BV13-BAR16	Austria	3/18	3/25	4/03	4/14	5/19	4/23	46
BV13-BAR17	—	3/19	3/25	4/04	4/16	5/15	5/09	41
BV13-BAR18	Germany	3/18	3/31	4/06	4/16	5/10	4/26	34
BV13-BAR20	Germany	3/11	3/20	4/03	4/11	5/13	4/16	40
BV13-BAR21	Germany	3/19	3/24	4/05	4/16	5/07	4/27	32
BV13-BAR22	Spain	3/09	3/11	4/03	4/12	5/09	5/01	36
BV13-BAR23	Germany	3/18	3/22	4/03	4/08	5/08	4/16	35
BV13-BAR24	Germany	3/15	3/23	4/05	4/11	5/04	4/15	29
BV13-BAR26	Germany	3/11	3/23	4/03	4/10	5/18	4/15	45
BV13-BAR27	Germany	3/24	4/03	4/10	4/25	5/19	4/28	39
BV13-BAR28	Germany	3/18	3/23	4/06	4/11	5/07	4/17	31
BV13-BAR29	Germany	3/18	3/22	4/06	4/12	5/19	4/15	43
BV13-BAR30	Germany	3/11	3/23	4/04	4/10	5/13	4/16	39
BV13-BAR33	Germany	3/15	3/29	4/03	4/09	5/10	4/16	37
BV13-BAR34	Germany	3/11	3/23	4/05	4/12	5/13	4/17	38
BV13-BAR36	Belgium	3/19	3/22	4/05	4/09	4/29	4/15	24
BV13-BAR38	—	3/31	4/09	4/18	4/25	5/17	4/24	29

\*:由G型和P型山芥杂交获得;—:来源地不详

\*:Originated from a cross of a parental P-and G-type *B. vulgaris*, —:The country of origin is unclear

期均在 4-5 月;欧洲山芥不耐高温,5 月中上旬各材料相继进入末花期,从始花期到末花期的天数分布在 17~46 d 之间,总体上花期较短。结荚最早的材料为 BV13-BAR13,在 4 月 1 日。 $F_1$  物候期介于 G 型和 P 型之间。

## 2.2 欧洲山芥种质资源表型性状的遗传多样性

对欧洲山芥种质资源 4 个描述型性状的统计分析发现,材料间叶毛有无、角果与茎的角度、叶裂程度和自交结实性均有较大不同(表 2)。34 份欧洲山芥种质资源中多数材料叶表光滑,自交结实性弱。BV13-BAR6、BV13-BAR7、BV13-BAR9 和 BV13-BAR38 的角果与茎的角度最小,抱茎生长。

表 2 欧洲山芥种质资源描述型性状统计

Table 2 Statistics of descriptive characters in *B. vulgaris* germplasm

材料编号 No.	叶毛 Pubescence	角果着 生状态 Silique status	叶裂 Leaf blade incision	自交结实性 Fecundity
G-type	无	中	浅裂	弱
P-type	远、近轴面, 叶脉及叶缘	中	浅裂	弱
$F_1$	远、近轴面, 叶脉及叶缘	中	浅裂	弱
BV13-BAR1	无	大	深裂	弱
BV13-BAR2	无	大	深裂	弱
BV13-BAR3	无	中	全裂	强
BV13-BAR4	无	小	深裂	强
BV13-BAR5	无	大	深裂	弱
BV13-BAR6	叶脉、叶缘	小	浅裂	强
BV13-BAR7	无	小	浅裂	强
BV13-BAR8	无	中	浅裂	强
BV13-BAR9	叶脉、叶缘	小	浅裂	强
BV13-BAR11	无	中	全裂	强
BV13-BAR12	无	中	深裂	强
BV13-BAR13	无	中	全裂	强
BV13-BAR14	无	中	深裂	弱
BV13-BAR15	无	中	深裂	弱
BV13-BAR16	无	大	深裂	中
BV13-BAR17	无	中	深裂	弱
BV13-BAR18	无	中	深裂	中
BV13-BAR20	无	大	浅裂	中
BV13-BAR21	无	中	浅裂	中
BV13-BAR22	无	中	浅裂	弱
BV13-BAR23	无	中	深裂	弱
BV13-BAR24	无	中	深裂	弱
BV13-BAR26	无	中	深裂	弱
BV13-BAR27	无	中	深裂	强
BV13-BAR28	无	中	深裂	弱
BV13-BAR29	无	中	深裂	弱
BV13-BAR30	无	中	深裂	弱
BV13-BAR33	无	中	深裂	弱
BV13-BAR34	无	中	深裂	中
BV13-BAR36	无	中	浅裂	中
BV13-BAR38	叶脉、叶缘	小	浅裂	强

由表 3 可知,欧洲山芥种质资源数值性状表现明显差异,10 个性状的变异系数均超过 17%,分布

在 17.1%~40.0% 之间,并以角果长、基生叶叶柄长、叶长和苔生叶叶宽的变异系数较高,均超过了 30.0%。基生叶叶长的变异系数为 31.2%,大于苔生叶叶长的变异系数 23.0%。角果粗变异幅度为 1.6 mm,而角果长达到了 60.1 mm。株高的变异幅度最大,为 68.0 cm。由此可见,欧洲山芥种质资源表型性状的遗传多样性丰富。

表 3 欧洲山芥种质资源数值型性状统计分析

Table 3 Statistics of numeric type characters in *B. vulgaris* germplasm

性状 Character	平均值 Mean	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 SD	极差 Range	变异系数 (%) CV
基生叶叶柄长(cm) Basal petiole length	18.6	32.0	4.5	6.5	27.5	35.1
基生叶叶长(cm) Basal leaf length	7.6	14.0	2.5	2.4	11.5	31.2
基生叶叶宽(cm) Basal leaf width	7.0	12.0	2.8	2.0	9.2	29.3
苔生叶叶长(cm) Pedicel leaf length	11.6	21.0	6.2	2.7	14.8	23.0
苔生叶叶宽(cm) Pedicel leaf length	9.2	17.0	3.5	2.9	13.5	31.5
株高(cm) Plant height	68.4	110.0	42.0	13.1	68.0	19.1
茎粗(mm) Stem diameter	5.9	10.1	2.6	1.2	7.5	21.2
花序长(cm) Inflorescence length	38.0	70.0	15.0	10.5	55.0	27.5
角果长(mm) Silique length	29.4	72.9	12.8	11.8	60.1	40.0
角果粗(mm) Silique diameter	1.8	2.7	1.1	0.3	1.6	17.1

## 2.3 欧洲山芥种质资源的抗虫性差异

不同欧洲山芥种质资源对小菜蛾的田间抗性差异很大,且抗虫材料的数量远多于感虫材料(图 2)。感虫材料仅 9 份,即 P 型、 $F_1$ 、BV13-BAR3、BV13-BAR6、BV13-BAR7、BV13-BAR9、BV13-BAR11、BV13-BAR13 和 BV13-BAR38。抗虫 G 型和感虫 P 型的杂交后代表现为感虫,但抗虫性较 P 型有一定程度的提高。

## 2.4 欧洲山芥种质资源的表型聚类分析

利用物候期观测、形态学性状鉴定和抗虫性鉴定数据对 34 份欧洲山芥种质资源的聚类分析结果表明,在 Coefficient 0.77 处可以将所有种质分为 3 个类群(图 3)。大多数材料被聚在第 I 类群,该类群中除了由抗虫 G 型和感虫 P 型杂交产生的  $F_1$  外,



图2 欧洲山芥种质资源对小菜蛾抗性的差异

Fig. 2 The difference in the resistance of *B. vulgaris* germplasm to diamondback moth

其他均为抗虫材料;除 BV13-BAR4、BV13-BAR12 和 BV13-BAR27 外其他材料的结实性均不高,且角果小。第 II 类群包含 5 份材料,除 BV13-BAR22 外,该

群组其他材料均为感虫材料,苔生叶浅裂、自交结实性高。有 5 份材料聚于第 III 类群,除 BV13-BAR8 外均为感虫、高自交结实性的材料。

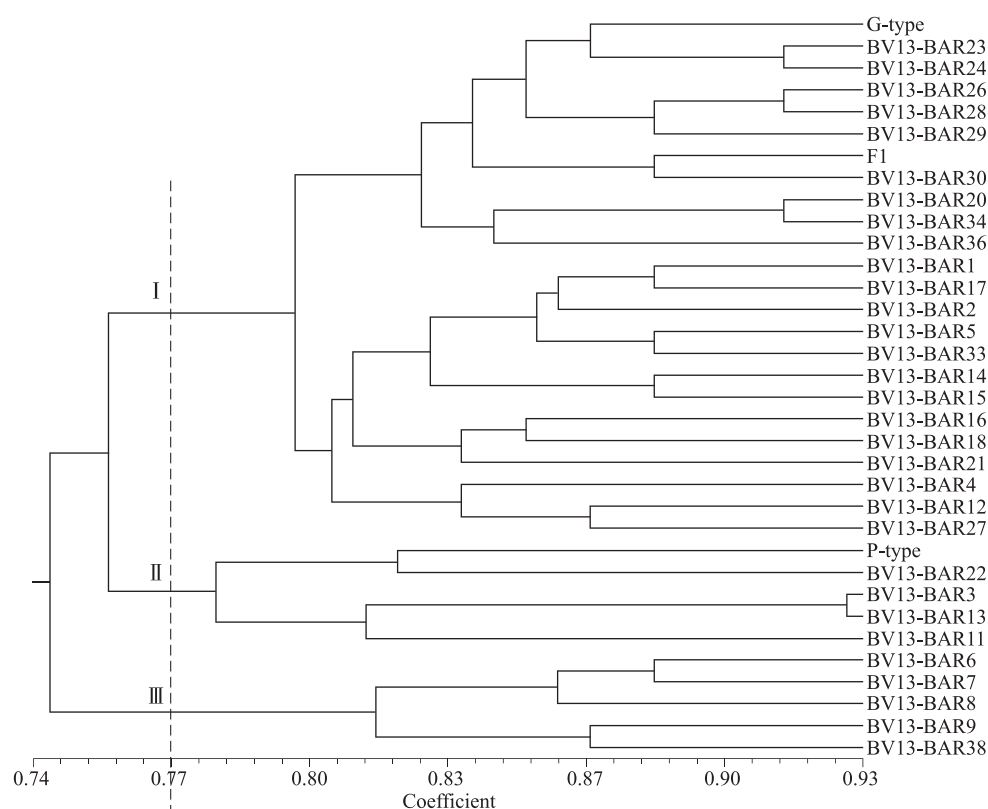


图3 34份欧洲山芥种质资源的聚类结果

Fig. 3 Clustering dendrogram of 34 germplasm resources of *B. vulgaris*

### 3 讨论

十字花科蔬菜中抗小菜蛾资源非常匮乏,张晓辉等<sup>[20]</sup>对国家蔬菜种质资源中期库中收集的国内外218份十字花科栽培蔬菜及野生近缘植物种质资源进行抗小菜蛾鉴定,筛选出了4份高抗资源,其中就包括1份引自丹麦的欧洲山芥。欧洲山芥是目前已知唯一能够合成皂苷的十字花科植物,并且已有研究指出其所含三萜烯皂苷是一类抗虫物质,对小菜蛾等十字花科寡食性害虫具有强烈的致死作用<sup>[21]</sup>,但其具体的抗虫机制尚不明确。本实验室原本只有2份欧洲山芥种质,通过转录组分析<sup>[22]</sup>,预测、克隆了其皂苷合成相关基因<sup>[4]</sup>,以期通过功能验证应用于十字花科蔬菜的基因工程育种。为了继续搜集欧洲山芥种质资源,拓展其遗传背景,挖掘不同抗源以应用于栽培十字花科作物的抗虫育种和对小菜蛾的综合防治,我们开展了国外欧洲山芥资源的引进。

对34份不同来源的欧洲山芥种质资源田间表型鉴定发现,材料间遗传变异丰富。物候期观测结果显示,现蕾期最早和最晚的2份材料相差达47 d;

尽管不同材料的花期短,但是花期也不一致,因此在利用不同材料时,一方面需要考虑调整花期,另一方面可以用于不同生育期品种的选育。材料间变异最大的是株高、花序长和果角长,这为欧洲山芥的株型和种子产量的改良提供了候选材料。田间抗小菜蛾的材料远多于感虫材料,且抗虫性与叶毛的有无不相关,这与T. P. Hauser等<sup>[23]</sup>研究结果一致。欧洲山芥在农业病虫害的防治方面具有广阔的应用前景。研究指出,欧洲山芥体内的硫甙可以吸引小菜蛾等十字花科专食性害虫产卵,但皂苷却使其幼虫无法存活,因此可以作为“诱杀作物”进行十字花科专食性害虫的防治<sup>[24]</sup>。欧洲山芥根部硫甙含量丰富<sup>[17]</sup>,可利用进行土壤的生物熏蒸,减轻土传病虫害<sup>[25]</sup>。

基于表型性状的聚类分析将34份欧洲山芥分为3个类群,第I类群除F<sub>1</sub>外均为抗虫资源,这类资源可作为“诱杀作物”,有待研究其抗虫机理和挖掘抗虫基因。第II类群和第III类群中各包含1份抗虫材料,分别为BV13-BAR8和BV13-BAR22,该抗源可能具有不同于第I类群的抗性特点,值得关注。基于表型性状的聚类分析基本反映出了各类群的亲

缘关系,可以为这批种质在生产和育种的利用提供基本依据。但是,上述抗源的有效利用还有待采用表型精准鉴定、分子生物学和基因组学相结合的方法,更加准确地了解各资源的抗性特点及其抗虫机制,为育种和生产提供更准确的理论依据和实践指导。

#### 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(1): 517-541
- [2] Grzywacz D, Rossbach A, Rauf A, et al. Current control methods for diamondback moth and other brassica insect pests and the prospects for improved management with lepidopteran-resistant Bt vegetable brassicas in Asia and Africa [J]. *Crop Protect*, 2010, 29(1): 68-79
- [3] Li Z, Zalucki M P, Bao H, et al. Population dynamics and “outbreaks” of diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) in Guangdong province, China: climate or failure of management? [J]. *J Econ Entomol*, 2012, 105(3): 739-752
- [4] 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
- [5] Augustin J M, Drok S, Shinoda T, et al. UDP-Glycosyltransferases from the UGT73C subfamily in *Barbarea vulgaris* catalyze saponin 3-O-Glucosylation in saponin-mediated insect resistance [J]. *Plant Physiol*, 2012, 160(4): 1881-1895
- [6] Toneatto F, Nielsen J K, Orgaard M, et al. Genetic and sexual separation between insect resistant and susceptible *Barbarea vulgaris* plants in Denmark [J]. *Mol Ecol*, 2010, 19(16): 3456-3465
- [7] van Mølken T, Heimes C, Hauser T P, et al. Phylogeny of an *Albugo* sp. infecting *Barbarea vulgaris* in Denmark and its frequency of symptom development in natural populations of two evolutionary divergent plant types [J]. *Fungal Biol*, 2014, 118: 340-347
- [8] 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: 587-599
- [9] Nielsen J K. Variation in defences of the plant *Barbarea vulgaris* and in counteradaptations by the flea beetle *Phyllotreta nemorum* [J]. *Entomol Exp Appl*, 1997, 82(1): 25-35
- [10] Van Leur H, Vet L E M, Van Der Putten W H, et al. *Barbarea vulgaris* glucosinolate phenotypes differentially affect performance and preference of two different species of lepidopteran herbivores [J]. *J Chem Ecol*, 2008b, 34(2): 121-131
- [11] Augustin J M, Drok S, Shinoda T, et al. UDP-glycosyltransferases from the UGT73C subfamily in *Barbarea vulgaris* catalyze saponin 3-O-glucosylation in saponin-mediated insect resistance [J]. *Plant Physiol*, 2012, 160(4): 1881-1895
- [12] Kuzina V, Ekstrom C T, Andersen S B, et al. Identification of defense compounds in *Barbarea vulgaris* against the herbivore *Phyllotreta nemorum* by an ecometabolomic approach [J]. *Plant Physiol*, 2009, 151(4): 1977-1990
- [13] Kuzina V, Nielsen J K, Augustin J M, et al. *Barbarea vulgaris* linkage map and quantitative trait loci for saponins, glucosinolates, hairiness and resistance to the herbivore *Phyllotreta nemorum* [J]. *Phytochemistry*, 2011, 72(2-3): 188-198
- [14] Badenes-Pérez F R, Reichelt M, Gershenzon J, et al. Using plant chemistry and insect preference to study the potential of *Barbarea* (Brassicaceae) as a dead-end trap crop for diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) [J]. *Phytochemistry*, 2014, 98: 137-144
- [15] Badenes-Perez F R, Shelton A M, Nault B A. Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (*Lepidoptera: Plutellidae*) [J]. *J Econ Entomol*, 2004, 97(4): 1365-1372
- [16] 吕建华. 欧洲山芥对小菜蛾的诱杀效应及其机理 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004
- [17] 魏小春. 欧洲山芥抗小菜蛾的分子机理研究及相关基因克隆与分析 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012
- [18] Andersson A A, Merker A, Nilsson P, et al. Chemical composition of the potential new oilseed crops *Barbarea vulgaris*, *Barbarea verna* and *Lepidium campestre* [J]. *J Sci Food Agric*, 1999, 79(2): 179-186
- [19] 白鹏, 程须珍, 王丽侠, 等. 小豆种质资源农艺性状综合鉴定与评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(6): 1209-1215
- [20] 张晓辉, 邱杨, 王海平, 等. 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 [J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(2): 229-235
- [21] 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
- [22] Wei X C, Zhang X H, Shen D, et al. Transcriptome analysis of *Barbarea vulgaris* infested with diamondback moth (*Plutella xylostella*) larvae [J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e 64481
- [23] Hauser T P, Toneatto F, Nielsen J K. Genetic and geographic structure of an insect resistant and a susceptible type of *Barbarea vulgaris* in western Europe [J]. *Evol Ecol*, 2012, 26(3): 611-624
- [24] Badenes-Perez F R, Shelton A M, Nault B A. Using yellow rocket as a trap crop for diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) [J]. *J Econ Entomol*, 2005, 98(3): 884-890
- [25] Van Dam N M, Tytgat T O, Kirkegaard J A. Root and shoot glucosinolates: a comparison of their diversity, function and interactions in natural and managed ecosystems [J]. *Phytochem Rev*, 2009, 8(1): 171-186