

## 调查 研究

## Investigations

## 50 个小麦生产及后备品种(系)的抗白粉病基因推导

王振花<sup>1</sup>, 刘伟<sup>1</sup>, 徐志<sup>2</sup>, 范洁茹<sup>1</sup>, 彭云良<sup>2</sup>, 周益林<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 四川省农业科学院植物保护研究所, 成都 610066)

**摘要** 为明确我国小麦品种(系)中抗白粉病基因的组成, 利用 25 个不同毒性的小麦白粉菌菌株对 50 个小麦生产及后备品种(系)进行抗白粉病基因推导, 结果表明, 参试的 50 个小麦品种(系)中有 8 个小麦品种(系)对供试的 25 个菌株全部感病, 5 个品种含有抗病基因 *Pm8*, 2 个品种含有 *Pm4a*, 9 个品种含有 *Pm2+6*, 4 个品种含有 *Pm2*, 22 个品种(系)可能含有供试基因之外的其他抗性基因或新基因。此研究结果可为小麦抗病育种以及品种利用提供依据。

**关键词** 小麦; 小麦白粉菌; 小麦抗白粉病基因; 基因推导

**中图分类号:** S 512.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.06.026

## Postulation of wheat powdery mildew resistance genes in 50 wheat cultivars (lines)

Wang Zhenhua<sup>1</sup>, Liu Wei<sup>1</sup>, Xu Zhi<sup>2</sup>, Fan Jieru<sup>1</sup>, Peng Yunliang<sup>2</sup>, Zhou Yilin<sup>1</sup>

(1. *State Key Laboratory for Biology of Plant Disease and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China*; 2. *Institute of Plant Protection, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China*)

**Abstract** Wheat powdery mildew resistance genes in 50 wheat cultivars or lines were postulated by inoculating 25 isolates of *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*. The results indicated that 8 cultivars or lines were susceptible to all tested isolates of *B. graminis* f.sp. *tritici*. 5 cultivars or lines carried *Pm8*, 2 carried *Pm4a*, 9 carried *Pm2+6*, 4 carried *Pm2* and the other 22 cultivars or lines carried unknown resistance genes. These results can provide information for wheat resistance cultivar breeding and production use.

**Key words** wheat; *Blumeria graminis* f.sp. *tritici*; wheat resistance gene; gene postulation

小麦白粉病是由专性寄生真菌 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* 引起的一种世界性小麦病害。在我国自 20 世纪 70 年代末以来, 其流行范围和发病面积逐渐增大, 对小麦生产造成严重损失, 仅 1990 年就造成小麦损失达 14.38 亿 kg<sup>[1]</sup>, 目前已成为严重制约小麦生产的重要病害。培育和推广抗病品种是防治小麦白粉病最经济、安全和有效的途径。由于病原菌具有易变异, 传播速度较快等特点, 大面积长期种植单一抗病品种易给病原菌群体造成选择压力, 使其相应毒性结构发生变化, 逐渐形成适应该品种的优势毒性小种, 导致该品种抗性“丧失”<sup>[2]</sup>。因此, 明确小麦品种(系)中的抗病基因组成对抗病育

种以及品种合理使用有重要的指导意义。

抗病基因推导法是 Loegering<sup>[3]</sup> 根据 Flor<sup>[4]</sup> 的基因对基因学说提出来的, 1978 年 Loegering 对此方法进行了改进和发展<sup>[5]</sup>, 即用不同毒性的病原菌菌株接种一套已知抗白粉病基因的鉴别寄主和参试材料, 对反应型进行比较, 分析参试材料中含有的抗病基因。该方法不仅操作简便, 能够在短期内分析大量的材料, 还可以分析参试材料中含有的抗病基因及推测可能新的抗病基因。此方法在小麦条锈病<sup>[6]</sup>、小麦叶锈病<sup>[7]</sup> 和小麦白粉病<sup>[8-9]</sup> 等的抗性基因研究中应用比较广泛。本研究对 50 个小麦生产和后备品种(系)的抗白粉基因进行了基因推导, 明确

收稿日期: 2017-05-08 修订日期: 2017-06-25

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0300705); 国家重点基础研究发展计划课题(2013CB127704); 公益性行业(农业)科研专项(201303016)

\* 通信作者 E-mail: ylzhou@ipccas.cn

了抗白粉病基因组成,为这些小麦品种(系)在生产上的合理利用和布局提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

参试的 50 个小麦品种(系)的系谱和育种单位

或提供单位见表 1,44 个携带已知抗白粉病基因的鉴别寄主由中国农业科学院植物保护研究所白粉病组保存(表 2),感病品种‘Chancellor’为对照。用于基因推导的 25 个不同毒性的小麦白粉菌菌株采自我国不同的小麦生态区,为单孢堆分离物,由中国农业科学院植物保护研究所小麦白粉病组保存(表 2)。

表 1 参试小麦品种(系)的系谱和来源

Table 1 Pedigree and origin of the tested wheat cultivars (lines)

序号 Number	品种(系)名称 Cultivar (line)	系谱 Pedigree	育种单位或提供单位 Unit of breeding or providing
1	川育 23	R59//郑 9023/H435	中国科学院成都生物研究所
2	川农 19	黔 1104A/R935	四川农业大学
3	资麦 1 号	绵阳 29/川麦 25	四川万发种子开发有限公司
4	川育 20	SW3243//35050/21530	中国科学院成都生物研究所
5	绵麦 43	绵阳 92-8/88-304	四川省绵阳市农业科学研究所
6	川育 21	周 88114/G159	中国科学院成都生物研究所
7	百农 64	百农 8717×[(偃大 72—629—52×石 82—5594)F2×百农 84—4046—1]F2	河南省农业科学院小麦研究所
8	鲁麦 21	鲁麦 13 号/宝丰 7228	山东省烟台市农业科学研究院
9	京冬 8 号	[(阿夫乐尔/5238-016)F1/红良 4 号]F4/(有芒红 7 号/洛夫林 10 号)F7	北京市农林科学院作物研究所
10	中麦 895	周麦 16/荔垦 4 号	中国农业科学院作物科学研究所、中国农业科学院棉花研究所
11	扬麦 16 号	扬 91F138×扬 90-30	江苏里下河地区农业科学研究所
12	川麦 1826	01-3570/R138	四川省农业科学院作物研究所
13	蜀麦 126	川育 23(30389)/B1291	四川农业大学小麦研究所
14	易 122-329	95NA07CVS/6AL//NH92001	云南省农业科学院粮食作物研究所
15	云 126-8	R17/光头麦	云南省农业科学院粮食作物研究所
16	绵麦 1302	绵 2417-5-1-2/间 3	四川省绵阳市农业科学研究院
17	川辐 9 号	60Co-γ 辐照组合(5061/生 25833)	四川省农业科学院生物技术核技术研究所
18	川麦 82	Singh 6/3 * 1231	四川省农业科学院作物研究所
19	川育 27	川育 23/SW8588/3/G349//30024/NE7060	中国科学院成都生物研究所
20	渝麦 19	02321/内 29387//内 2938	重庆市农业科学院
21	良星 99	(稳千 1 号/鲁麦 14)F1/PH85-16	山东良星种业有限公司
22	郑麦 369	郑麦 366/良星 99	河南省农业科学院小麦研究所
23	龙科 1221	良星 99/淮 0208	安徽皖垦种业股份有限公司
24	DH51302	DH6388/兰考矮早 8//良星 99	山东登海种业股份有限公司
25	漯麦 956	6510/3/温 6/L152//温 6	河南省漯河市农业科学院
26	许科 918	04 中 36/AK58	河南省许科种业有限公司
27	子麦 603	自选系 07557/07949//09906	河南子圣元种业科技有限公司
28	汶农 28	汶农 5 号/汶农 169//汶农 5 号	山东省泰安市汶农种业有限责任公司
29	石 10-4393	石优 17/济麦 22	河北省石家庄市农林科学研究院、河北省小麦工程技术研究中心
30	郑麦 132	矮抗 58/济麦 22	河南省农业科学院小麦研究所
31	中麦 23	济麦 22/淮 9701	中国农业科学院作物科学研究所、中国农业科学院棉花研究所、中农发种业集团股份有限公司
32	济麦 32	泰农 18/济麦 22	山东省农业科学院作物研究所、山东鲁研农业良种有限公司
33	石 11-4195	济麦 22/金禾 9123	河北省石家庄市农林科学研究院
34	冀麦 485	太谷核不育材料/良星 66	河北省农林科学院粮油作物研究所
35	婴泊 700	太谷核不育/济 93-5031	河北婴泊种业科技有限公司
36	圣麦 104	石 03-4391/石 03-5455	山东圣丰种业科技有限公司
37	泰科麦 5303	邢麦 6 号/淮 0458	山东省泰安市农业科学研究院
38	冀麦 631	太谷核不育群体	河北省农林科学院粮油作物研究所

续表 1 Table 1(Continued)

序号 Number	品种(系)名称 Cultivar (line)	系谱 Pedigree	育种单位或提供单位 Unit of breeding or providing
39	中麦 4072	984121/烟 5286	中国农业科学院作物科学研究所
40	京生麦 136	京农 01-223/京生麦 0318	北京农业生物技术研究中心
41	川麦 1827	01-3570/R139	四川省农业科学院作物研究所
42	川农 27	川农 19/R3301	四川农业大学
43	川麦 55	SW3243/SW8688	四川省农业科学院作物研究所
44	川育 16	(30020/8619-10)/晋麦 30	中国科学院成都生物研究所
45	内麦 10 号	绵阳 26/92R178	四川省内江市农业科学研究所
46	西科麦 2 号	川育 11/墨 444 选	西南科技大学
47	良麦 2 号	绵阳 26/异源 2 号	四川农业大学小麦研究所
48	绵麦 37	96EW37/绵阳 90-100	四川省农业科学研究所、中国农业科学院作物科学研究所
49	航 2566	SPLM2/轮选 987	中国农业科学院作物科学研究所
50	CA12003	CA0431/轮选 987//轮选 987	中国农业科学院作物科学研究所

## 1.2 试验方法

试验在中国农业科学院植物保护研究所温室进行。具体方法参见文献[10]:将小麦品种‘Chancellor’(高感小麦白粉病)播种于直径 10 cm 的花盆中,扩繁基因推导所需的小麦白粉菌菌株,备用。将 47 个鉴别寄主和 50 个供试小麦品种(系)播种于 36 cm×25 cm×10 cm 的塑料方盒内,并以感病材料‘Chancellor’为对照,每品种(系)播种 10 粒左右种子。为防止小麦苗被杂菌污染,用铁丝架支撑透明塑料袋罩在方盒上形成封闭空间,置于 18~20℃的温室中培养 5~6 d 小麦长至一心一叶时期时,将扩繁备用的新鲜小麦白粉菌通过抖接法均匀接种在小麦苗上,每个鉴别寄主和参试的小麦品种(系)接种一个小麦白粉菌菌株,温室培养 10~12 d 调查病情,调查标准参照司权民的“0~4”级法<sup>[11-12]</sup>,反应型 0~2 型为无毒性菌株,小麦表现为抗病反应;3~4 型为有毒性菌株,小麦表现为感病反应。对已知抗病基因品种(系)和参试小麦品种(系)的系谱进行比较分析,如果参试材料与某个含已知抗病基因的品种(系)的抗谱相同或非常接近,则认为参试材料含有该品种(系)所含的抗病基因。

## 2 结果与分析

已知抗白粉病基因的载体品种及参试小麦品种(系)对 25 个小麦白粉菌菌株的反应型分别见表 2 和表 3,其中‘百农 64’、‘鲁麦 21’、‘云 126-8’、‘川麦 82’、‘川育 27’、‘石 11-4195’、‘京生麦 136’和‘川麦 1827’共 8 个参试小麦品种(系)对 25 个小麦白粉菌菌株全部表现为感病,此结果未在表 3 中列出。由表 3 可知,小麦品种(系)‘中麦 895’与 *Pm8* 的抗谱

基本一致,仅在个别菌株上存在差异,推测其含有 *Pm8*。‘京冬 8 号’、‘易 122-329’、‘川麦 55’和‘川育 16’ 4 个品种,推测除含有 *Pm8* 外可能还含有其他抗病基因。‘川农 19’和‘许科 918’与 *Pm4a* 的抗谱基本一致,推测其含有 *Pm4a*。‘绵麦 43’、‘子麦 603’、‘汶农 28’、‘济麦 32’、‘冀麦 485’、‘婴泊 700’、‘泰科麦 5303’、‘良星 99’和‘CA12003’共 9 个小麦品种(系)的抗谱与 *Pm2+6* 一致,推测其均含有抗病基因 *Pm2+6*。‘DH51302’和‘川农 27’含有抗病基因 *Pm2*,‘绵麦 37’和‘中麦 4072’推测除含有抗病基因 *Pm2*,还含有其他抗病基因。另外,‘渝麦 19’和‘圣麦 104’等对所有的菌株都表现抗病。‘资麦 1 号’、‘川育 20’、‘川育 21’、‘扬麦 16 号’、‘川麦 1826’、‘绵麦 1302’、‘川辐 9 号’、‘郑麦 132’、‘石 10-4393’、‘内麦 10 号’、‘西科麦 2 号’、‘良麦 2 号’、‘龙科 1221’、‘航 2566’、‘川育 23’、‘蜀麦 126’、‘漯麦 956’、‘冀麦 631’、‘中麦 23’、‘郑麦 369’等共 20 个品种(系)与供试的已知基因的抗谱都不同,这些品种(系)可能含有供试基因之外的其他抗性基因。

## 3 讨论

对参试的 50 个小麦生产及后备品种(系)进行基因推导,共推测出 4 个已知抗病基因,一些品种间抗谱存在较大差异,其中有 8 个小麦品种(系)对 25 个菌株全部感病,5 个品种含有抗病基因 *Pm8*,2 个品种含有 *Pm4a*,9 个品种抗谱与抗病基因 *Pm2+6* 一致,占参试材料的 19.61%,4 个品种推测含有 *Pm2* 基因,有 22 个小麦品种可能含有供试基因之外的其他抗性基因或新基因,占参试材料的 44%。





20 世纪 70—80 年代我国小麦育种专家选育出一批来自黑麦血缘(1B/1R 易位或代换系)含有 *Pm8* 的小麦新品种(系)。这些品种(系)在生产上曾经发挥了很大的作用,但这些小麦品种由于大面积种植,造成了我国病菌群体对 *Pm8* 毒性频率几乎达到了 100%,使该抗性基因已完全丧失抗病性,本试验中的参试品种‘京冬 8 号’、‘中麦 895’、‘易 122-329’、‘川麦 55’和‘川育 16’的抗谱可能含有 *Pm8* 基因,其中‘京冬 8 号’从系谱[(阿夫乐尔/5238-016)F1/红良 4 号]F4/(有芒红 7 号/洛夫林 10 号)F7 可明显看出,其亲本‘阿夫乐尔’和‘洛夫林 10 号’具有黑麦血缘(1B/1R)。

近年来小麦白粉菌对 *Pm4a* 的毒性频率呈较快的上升趋势<sup>[13]</sup>,而且徐志<sup>[14]</sup>、李亚红等<sup>[15]</sup>的研究表明小麦白粉菌对 *Pm4a* 的毒性频率在不同地区表现出较大差异,因此对含有 *Pm4a* 基因的小麦品种应该谨慎使用。本研究中小麦品种‘川农 19’和‘许科 918’与 *Pm4a* 的抗谱基本一致,推测其可能含有 *Pm4a*,在生产上应该注意合理使用。

‘冀麦 485’的亲本组合为太谷核不育材料/‘良星 66’,黄江<sup>[16]</sup>研究表明‘良星 66’的抗白粉病基因可能是 *Pm2* 的一个新的等位基因;同时许红星等<sup>[17]</sup>的研究发现‘婴泊 700’抗病基因位于 *Pm2* 位置附近,也可能是 *Pm2* 的一个新等位基因<sup>[18]</sup>。但本试验中‘冀麦 485’和‘婴泊 700’的抗谱均与 *Pm2*+6 的一致。

‘良星 99’是小麦生产上的高抗品种,宋伟<sup>[19]</sup>研究发现其携带抗白粉病基因 *Pm52*。邹景伟等<sup>[20]</sup>根据抗谱分析和分子标记检测分析小麦品系‘DH51302’的白粉病抗性可能来源于‘良星 99’的 *Pm52* 基因,而本试验对‘良星 99’和‘DH51302’进行基因推导的抗谱反应分别与 *Pm2*+6 和 *Pm2* 一致,其原因尚待进一步研究。另外,‘龙科 1221’和‘郑麦 369’其亲本尽管都有‘良星 99’,但均与‘良星 99’的抗谱存在较大的差异。

参试品种(系)中‘郑麦 132’、‘石 10-4393’、‘中麦 23’、‘济麦 32’、‘石 11-4195’等的亲本都有‘济麦 22’,曹学仁等<sup>[8]</sup>对‘济麦 22’的基因推导结果表明其可能含有 *Pm2*,而以上 5 个品种除‘济麦 32’推导结果含有 *Pm2* 外,其他 4 个品种抗谱显示均不含 *Pm2* 基因,甚至‘石 11-4195’对所有参试菌株都表现感病。

黄瑾等<sup>[21]</sup>发现小麦品种‘绵麦 37’具有较好的白粉病抗性,王洋洋等<sup>[22]</sup>通过 FISH 技术确定其携带 *Pm21* 基因。本试验中‘绵麦 37’与 *Pm2* 的抗谱基本一致,仅在两个菌株上反应型较低,对其应进行进一步的研究。‘内麦 10 号’的亲本之一为‘92R178’,‘92R178’为普通小麦-簇毛麦 6VS/6AL 系,含有 *Pm21* 基因<sup>[23-25]</sup>,本试验中‘内麦 10 号’仅对 E21 表现感病(反应型为 3),说明此品种的抗性可能来自‘92R178’的 *Pm21* 基因。

基因推导法是当前鉴定小麦抗白粉病基因比较常用的方法,能在较短时间内推导可能存在的抗白粉病基因,但本试验采用的含已知抗白粉病基因的鉴别寄主还是有一定的局限性,需要增加携带新抗白粉病基因的鉴别寄主,同时也应增加白粉菌菌株使其尽可能涵盖不同的毒性谱,从而增加对不同抗性基因的鉴别力。对于本试验未明确抗性基因的小麦品种(系),包括对所有菌株均抗病的‘渝麦 19’和‘圣麦 104’则需进一步研究。对于重点研究的材料,除了进行基因推导外,还要辅以系谱溯源,利用分子标记、等位性测定、单体分析等方法加以验证。

## 参考文献

- [1] 邵振润,刘万才. 我国小麦白粉病的发生现状与治理对策[J]. 中国农学通报, 1996, 12(6): 21-23.
- [2] 李振岐. 我国小麦品种抗条锈性丧失原因及其控制策略[J]. 大自然探索, 1998(4): 72-77.
- [3] Loegering W Q, Mcintosh R A, Burton C H. Computer analysis of disease data to derive hypothetical genotypes for reaction of host varieties to pathogens [J]. Canadian Journal of Genetics and Cytology, 1971, 13(4): 742-748.
- [4] Flor H H. Host-parasite interaction in flax rust— its genetics and other implications [J]. Phytopathology, 1955, 45(12): 680-685.
- [5] Loegering W Q. Current concepts in interorganismal genetics [J]. Annual Review of Phytopathology, 1978, 16: 309-320.
- [6] 曹世勤,张勃,李明菊,等. 甘肃省 50 个主要小麦品种(系)苗期抗条锈基因推导及成株期抗病性分析[J]. 作物学报, 2011, 37(8): 1360-1371.
- [7] 袁军海,刘天国,陈万权. 中国 47 个小麦新品种(系)苗期抗叶锈基因推导[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1925-1935.
- [8] 曹学仁,周益林,段霞瑜,等. 我国主要麦区 101 个小麦品种(系)的抗白粉病基因推导[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(5): 948-953.
- [9] 高海峰,范洁茹,周益林,等. 小麦品种(系)抗白粉病基因推

- 导及分子标记鉴定[J]. 植物病理学报, 2017, 47(2): 1-10.
- [10] 向齐君, 盛宝钦, 段霞瑜, 等. 若干小麦抗白粉病品系的有效抗病基因的测定[J]. 作物学报, 1996, 22(6): 741-744.
- [11] 司权民, 张新心, 段霞瑜, 等. 小麦白粉病菌生理小种鉴定[J]. 中国农业科学, 1987, 20(5): 64-70.
- [12] 司权民, 张新心, 段霞瑜, 等. 小麦抗白粉病品种的基因分析与归类研究[J]. 植物病理学报, 1992, 22(4): 349-355.
- [13] 段霞瑜, 盛宝钦, 周益林, 等. 小麦白粉病菌生理小种的鉴定与病菌毒性的监测[J]. 植物保护学报, 1998, 25(1): 31-36.
- [14] 徐志. 中国小麦白粉病主要流行区病原菌群体遗传结构研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [15] 李亚红. 豫、鄂、渝三省(市)小麦白粉菌群体遗传结构研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- [16] 黄江. 良星 66 和 H962R 小麦抗白粉病基因的分子定位及白粉菌侵染的生理机制研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.
- [17] 许红星, 马朋涛, 张宏霞, 等. 小麦抗白粉病 *Pm2* 位点新基因的发掘及标记辅助选择利用[C]//第六届全国小麦基因组学及分子育种大会论文集. 杨凌, 2015.
- [18] 马朋涛, 张宏霞, 许红星, 等. 小麦品种 700 广谱抗白粉病新基因分子鉴定[C]//第六届全国小麦基因组学及分子育种大会论文集. 杨凌, 2015.
- [19] 宋伟. 小麦品种良星 99 和汶农 14 的抗白粉病基因分子定位[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2014.
- [20] 邹景伟, 邱丹, 孙艳玲, 等. *Pm52*—小麦品种良星 99 抗白粉病基因的有效性[J]. 作物学报, 2017, 43(3): 332-342.
- [21] 黄瑾, 曹世勤, 贾秋珍, 等. 小麦品种绵麦 37 对条锈病和白粉病的抗性[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(5): 698-702.
- [22] 王洋洋, 邱玲, 李萌, 等. 小麦品种绵麦 37 和绵麦 367 抗白粉病基因的 FISH 分析及分子检测[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(11): 1502-1505.
- [23] 任明见, 朱文华, 张庆勤. 抗白粉病兼抗赤霉病小麦新品种(系)的抗病性鉴定和利用评价[J]. 种子, 2003(4): 5-7.
- [24] Chen P D, Qi L L, Zhou B, et al. Development and molecular cytogenetic analysis of wheat-*Haynaldia villosa* 6VS/6AL translocation lines specifying resistance to powdery mildew [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1995, 91(6): 1125-1128.
- [25] Cao A, Xing L, Wang X, et al. Serine/threonine kinase gene *Stpk-V*, a key member of powdery mildew resistance gene *Pm21*, confers powdery mildew resistance in wheat [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2011, 108(19): 7727-7732.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 151 页)

- [17] de Moura R S, Emiliano A F, de Carvalho L C, et al. Antihypertensive and endothelium dependent vasodilator effects of *Alpinia zerumbet*, a medicinal plant [J]. Journal of Cardiovascular Pharmacology, 2005, 46(3): 288-294.
- [18] Badiab-Hadj-Ahmed A Y, Meklati B Y, Waton H, et al. Structural studies in the bicyclo [3. 1. 1] heptane series by  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR [J]. Magnetic Resonance in Chemistry, 1992, 30(9): 807-816.
- [19] Pouchert C J, Behnke J A. Aldrich\* Library of  $^{13}\text{C}$  and  $^1\text{H}$  FT NMR spectra [M]. Milwaukee, WI, USA: Aldrich Chemical Co., 1993: 1, 70C, 71A, 71B.
- [20] Liu Peng, Liu Xichao, Dong Huiwen, et al. Chemical composition and insecticidal activity of the essential oil of *Illicium pachyphyllum* fruits against two grain storage insects [J]. Molecules, 2012, 17: 14870-14881.
- [21] Bohlmann F, Zeisberg R, Klein E.  $^{13}\text{C}$ -NMR-spektren von monoterpene[n] [J]. Organic Magnetic Resonance, 1975, 7(9): 426-432.
- [22] Armstrong G S, Loening N M, Curtis J E, et al. Processing DOSY spectra using the regularized resolvent transform [J]. Journal of Magnetic Resonance, 2003, 163(1): 139-148.
- [23] Tanaka H, Chou J Y, Mine M, et al. The oxidation of alcohols in N-oxyl-immobilized silica gel/aqueous NaOCl disperse systems. A prominent access to a column-flow system [J]. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 2004, 77(9): 1745-1755.
- [24] Liu Z L, Ho S H. Bioactivity of the essential oil extracted from *Evodnia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Motsch. and *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. Journal of Stored Products Research, 1999, 35(4): 317-328.
- [25] You Chunxue, Yang Kai, Wu Yan, et al. Chemical composition and insecticidal activities of the essential oil of *Perilla frutescens* (L.) Britt. aerial parts against two stored product insects [J]. European Food Research and Technology, 2014, 239(3): 481-490.
- [26] Chen Haiping, Yang Kai, You Chunxue, et al. Chemical constituents and biological activities of essential oil from *Citrus wilsonii* leaves against *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. Journal of the Serbian Chemical Society, 2014, 79(10): 1213-1222.
- [27] 吴万征, 林焕泽, 吴秀荣. 艳山姜挥发油成分的气相-质谱联用分析[J]. 中国医院药学杂志, 2005, 25(4): 332-333.
- [28] 陶玲, 沈祥春, 彭佼, 等. 艳山姜全果及不同部位挥发油化学成分 GC-MS 分析[J]. 中成药, 2009, 31(6): 909.
- [29] 王晓清, 杨志慧, 马文斌, 等. 植物提取物对赤拟谷盗种群抑制作用的研究[J]. 吉林粮食高等专科学校学报, 1999, 14(4): 24-29.
- [30] 韩群鑫, 黄寿山. 丁香酚对赤拟谷盗的生物活性[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2009, 26(3): 16-19.
- [31] 吕建华, 王新民, 白旭光, 等. 4 种植物精油对赤拟谷盗的控制作用研究[J]. 河南农业科学, 2006(9): 68-71.
- [32] 吴彦, 张文娟, 李志华, 等. 侧柏叶对烟草仓储害虫烟草甲和赤拟谷盗的毒杀作用[J]. 烟草科技, 2015(10): 31-35.

(责任编辑: 杨明丽)