

我国水稻抗逆性研究进展

黄志谋¹, 沈其文^{1*}, 蔡克桐¹, 周慧梅² (1. 湖北省咸宁市农业科学院, 湖北咸宁 437100; 2. 华中农业大学, 湖北武汉 430070)

摘要 从野生稻抗性的挖掘利用、杂交稻的选育及水稻新抗逆性品种、水稻抗逆功能基因研究、激素与水稻的抗逆性、矿质元素硅和钙对水稻抗逆性增产作用 5 个方面对我国水稻抗逆性研究进展进行了综述, 为提高水稻产量的研究提供了参考。

关键词 水稻; 抗逆性; 育种; 抗性基因; 激素

中图分类号 S511 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)01-00129-04

Progress of Research on Rice Resistance in China

HUANG Zhi-mou et al (Hubei Xianning Academy of Agricultural Sciences, Xianning, Hubei 437100)

Abstract Progress of rice resistance research in China was concluded in the study based on exploitation of wild rice, breeding of hybrid rice, new resistant rice variety, rice resistance gene, relation between hormone and rice resistance, effects of Si and Ca on yield increase, providing references for research of rice yield improvement.

Key words Rice; Resistance against stress; Breeding; Resistance gene; Hormones

水稻对各种胁迫(或称逆境)因子如抗寒、抗旱、抗盐、抗病虫害等抗御能力称为水稻抗逆性^[1]。近年来, 全球自然灾害发生次数多、影响大。同时人口增加、社会发展变化、水资源短缺、土壤盐碱荒漠化的趋势和农业劳动力短缺等日益加剧, 由此带来的各种胁迫直接影响到水稻的生产、水稻面积和单产^[2]。干旱、高温、洪涝、低温和病虫害等已成为我国等产稻国水稻产量损失的主要原因^[3]。近十几年来, 研究者在已有研究的基础上从水稻品种抗性育种、抗性遗传、生理生化学、抗性基因等方面对水稻抗逆性机制及抗性作了大量研究, 并取得实质性进展。为此, 笔者对我国近年来水稻抗性的研究进展进行了综述, 旨在为提高水稻产量提供参考。

1 野生稻抗性的挖掘利用

野生稻是现代栽培稻的始祖。万年前古人类就开始将野生稻逐步培育成现代栽培稻, 当时看似无用的基因也在不断选育中逐步丧失。但这些丢失的基因正是解决目前水稻生产难题的“宝藏”。野生稻是一个重要的有利基因库, 包含了对各种生物胁迫的抗性和非生物胁迫的耐性基因。野生稻长期处于野生状态, 受不良环境的自然选择, 形成了丰富有利的基因变异类型^[4]。其抗逆性较强, 且保存有栽培稻不具有或基本上已经消失的遗传基因, 是水稻育种和生物技术研究的雄厚物质基础^[5]。

1.1 抗病性及利用 野生稻的抗病性强、抗谱广, 具有丰富的稻作病虫害抗原。在亚热带稻区发生最普遍的病虫害, 如稻瘟病、细菌性条斑病、纹枯病、稻飞虱等都能在野生稻中找到抗原。“七五”、“八五”期间中国农业科学院品种资源研究所及野生稻之乡的广东、广西、江西、湖南等省(区)先后鉴定筛选出一批高抗、中抗病品种。近 10 年来不断有新的白叶枯病抗性基因被鉴定出来, 新基因的序号已排至 24。其中由章琦从我国普通野生稻中鉴定发掘的 Xa23 对国

内外所有鉴别菌系都表现为高抗, 而且为显性、全生育期抗病, 对杂交稻的改良具有广阔的应用前景^[6]。秦学毅等^[7]用高产优质栽培稻与之杂交、复交和回交, 成功将抗性基因导入栽培稻中, 其后通过花药培养获得一批具有抗性的育种中间材料和 1 个优质高产新品系。

1.2 抗逆性及利用 野生稻由于长期处于野生状态, 经受了各种灾害和不良环境的自然选择, 形成了固有稳定的遗传特性, 其优良的耐冷性、耐旱性、耐瘠性、抗病性等具有巨大的利用价值。目前, 抗逆性利用最多且较成功的是耐冷性。如江西省东乡县发现的东乡野生稻是迄今世界上分布最北的野生稻特异资源, 蕴含丰富的抗病虫害基因和极强的耐冷基因。杨空松等利用江西省贫瘠沙性水稻土进行盆栽试验, 不施肥和施全肥作正、反对照, 结果表明, 东乡野生稻表现出各处理间差异较小, 而对照栽培品种各处理间差异显著^[5]。陈大洲等利用东乡野生稻与栽培稻杂交, 先后育成 14 个越冬株和“东野一号”, 是优良的抗冷育种材料^[8-9]。广东省农业科学院在野生稻种质抗性鉴定中筛选出抗寒、耐涝、耐旱及根系泌氧力 1 级和 2 级抗性的材料。吉林省吉林市农业科学院水稻研究所育成了集早熟、优质、高产、抗逆性强于一体的水稻新品种九稻 67 号, 该品种表现出良好的米质、丰产、抗病性强、抗寒、耐盐碱等优异特点。

2 杂交稻的选育及水稻新抗逆性品种

我国是世界上第 1 个在生产上利用水稻杂种优势的国家, 通过水稻株型和优势利用选育的超级稻品种及其配套栽培技术研究在生产中发挥了重要作用^[2], 水稻品种株型改良和杂交稻是提高水稻产量的主要途径, 可提高杂交稻的产量、品质和抗性。

杂交水稻的优势主要表现在 4 个方面, 即较好的农艺性状、较高的生理机能、较强的抗性和较广的适应性^[10]。目前已获得的杂交水稻新品种经试验证实抗病虫性、产品性质和适应性方面都比对照组高, 有极显著的高产效率。由西南科技大学水稻研究所育成的杂交 B 优系和 C 优系经鉴定具有高产、优质、抗病性较强、农艺性状优良、适应性好等特点, 社会经济效益显著, 推广应用前景广阔。浙优 12 号(浙审稻

作者简介 黄志谋(1975-), 男, 湖北咸宁人, 农艺师, 从事水稻栽培育种研究, E-mail: 623105267@qq.com。* 通讯作者, 高级农艺师, 从事水稻育种研究, E-mail: xnsqw1025@126.com。

收稿日期 2012-10-17

2008019)属中迟熟杂交晚粳稻,抗倒性强,中感稻瘟病,感白叶枯病和褐稻虱,2005 和 2006 年省单季杂交粳稻区试,2 年省区试平均产量 8 008.5 kg/hm²,比对照增加 7.8%。由江西现代种业有限责任公司育成的荣优 9 号(国审稻 2011001)属籼型三系杂交水稻,在长江中下游作双季早稻种植,2008~2010 年三续试,都比对照金优 402 增产 5% 左右,高感稻瘟病、褐飞虱和白背飞虱,中感白叶枯病。今后,更高产优质的杂交稻新品种的育种将陆续出现。

3 水稻抗逆功能基因研究

随着生物技术的迅速发展,抗性基因的大规模挖掘是研究植物复杂的抗性机理和提高植物抗逆性的基础^[11],为转入水稻创造了条件。得到抗性基因后,通过转基因技术将水稻基因库中不具有的抗性基因导入水稻,实现了传统育种方法无法实现的基因重组,大大提高了育种水平。向水稻转移的有效基因可分为以下几类:抗虫性基因、抗病性基因、抗环境胁迫基因和抗除草剂基因。近年来,上述基因在水稻遗传转化中的应用已取得进展^[12-13]。

3.1 抗虫性转基因 目前发现并广泛应用于植物抗虫基因工程的抗虫基因主要有 2 类^[14]:一类是来源于细菌的抗虫基因,如苏云金杆菌毒蛋白基因(*Bt* 基因)、异戊基转移酶基因(*ipt*);另一类是来自高等植物的蛋白酶抑制剂基因,简称 *PI* 基因。国内外科技人员已将外源基因如 *Bt* 毒蛋白基因 *cryIA(b)*、豇豆胰蛋白酶抑制剂基因 *CpTI*、雪花莲凝集素 *GNA* 等转入水稻,增强其对害虫的抵抗力,有的已进入田间试验阶段^[15]。

苏云金芽孢杆菌的毒蛋白(简称 *Bt-toxin*)基因是目前世界上应用最广泛的抗虫基因。近 20 年来,*Bt* 基因在水稻中的转化、表达及其转基因植物的鉴定和抗虫性已有较多报道^[16-17]。但是转基因植物中天然 B 毒素基因的表达水平总体较低。因此,对于许多进行抗虫研究的生物学家而言,提高基因的表达水平是非常重要的问题。豇豆的胰蛋白酶抑制剂(简称 *CpTI*)被认为是最有效的蛋白酶抑制剂。它具有较广的抗虫谱,包括棉铃虫、玉米螟、蝗虫、棉铃象甲、水稻二化螟和三化螟等鳞翅目、鞘翅目和直翅目的昆虫。该基因已被成功转入水稻^[18-19]。此外,凝集素 cDNA 序列已被研究,已成功用于植物抗虫基因工程的凝集素基因有雪花莲凝集素(*GNA*)基因、豌豆凝集素(*PLec*)基因、麦胚凝集素(*WGA*)基因、半夏凝集素(*PTA*)基因、苋菜凝集素基因(*ACA*)等^[14]。

3.2 抗病性转基因 水稻作为禾谷类作物功能基因组学和遗传转化研究的模式植物,其抗病分子生物学及遗传转化技术体系不断发展和成熟。稻瘟病和白叶枯病是水稻生产上危害性极大的 2 种病害,目前分离和克隆的抗病性基因也大多集中在这 2 个领域^[20]。

白叶枯病是世界水稻生产中发生广泛、危害最严重的细菌性病害,而目前尚无理想的防治药剂,控制该病害最经济、有效的途径是培育抗病品种。国内多家实验室分别用农杆菌介导、基因枪转化或转育将 *Xa21* 基因转入多个水稻主栽

品种,这些转基因植株都显示出对白叶枯病的高度抗性和广谱抗性^[21-24]。为了避免伴随着转 *Xa21* 基因植物抗性标记以及细菌扩增需要的载体序列可能带来的负作用,夏志辉等筛选获得了没有载体序列的 *Xa21* 转基因水稻,将对转基因食物的公众接受具有重要意义^[25]。稻瘟病菌生理小种多且易变异,生产中的抗性品种一般 3~5 年就可能丧失抗性。抗病基因工程为解决这一问题开辟了新途径,一些与抗真菌病害有关的基因已从水稻和其他植物中被克隆^[24-27]。近年来,应用分子标记辅助选择多个抗性基因和抗性基因定位是培育具有持久抗性和综合抗性品种的有效策略。多个主效抗性基因的共同作用可能是品种保持持久抗性的分子基础。国内也在该方面做了大量研究工作,已取得一些成果^[28-31],为合理利用基因抗水稻病害提供了依据。

3.3 抗逆转基因 植物除受到虫害、病害和杂草等生物胁迫外,还受到不利的气候、土壤等环境条件的非生物胁迫。植物受逆境胁迫的代谢基础和分子基础研究已证实^[32],植物渗透调节与逆境胁迫密切相关。逆境下植物体内脯氨酸、多胺、可溶性糖、渗透蛋白等参与渗透调节化合物含量常常增加,因此与这些物质合成相关的基因与抗逆有关。其中一部分基因已逐渐被分离克隆,如甜菜碱醛脱氢酶(*BADH*)基因、胆碱单氧化酶(*CMO*)基因、*LEA-2* 基因 *HVA1*、*ABA* 应答元件以及蛋白激酶基因等,应用于水稻耐盐、抗旱和耐低温等特性的基因工程研究。应用转基因技术将这些基因转入植物体内能有效提高植物对干旱、盐害等逆境的抵抗能力,该方面研究已取得阶段性成果^[33-35]。Hu 等研究表明,胁迫应答基因 *SNAC1* 的过量表达明显提高了转基因水稻对干旱的耐受性,转基因水稻在幼苗期表现出对干旱和盐的耐受性的明显提高^[36]。

3.4 抗除草剂转基因 除草剂是基因工程中最先涉及的领域之一,在水稻转基因研究中成功获得抗除草剂转基因水稻的报道很多。抗除草剂基因转入水稻即可获得抗除草剂水稻品种,也可作为一个遗传标记导入杂交稻组合,以保证杂交稻的制种纯度。从潮湿链霉菌中分离克隆的 *bar* 基因是抗除草剂基因之一,能解除除草剂 Basra 对生物体内谷氨酰胺合成酶的抑制,而不会导致氨积累引起的植物死亡。王才林等已分别成功将抗 Basta 除草剂的 *bar* 基因导入水稻品系“E32”和 水稻恢复系 - 明恢 86^[37-39]。将抗除草剂基因转化了的水稻品种用于直播,也便于田间杂草的防治。近 2 年,中国农业科学院生物技术研究所研究小组与北京大学等研究单位合作,获得了草甘膦抗性显著的 EPSP 合成酶基因,是草甘膦抗性最强、酶活最高的基因之一。这是一个具有自主知识产权的新型抗草甘膦基因,同时获得了国内发明专利和美国专利。该小组同时与国内众多研究机构以及北京奥瑞金种业有限公司等合作,开展了转 *G2-EPSPS* 基因玉米、棉花、油菜、水稻、大豆和小麦等研发工作。

此外,水稻可通过改变其 DNA 甲基化水平来应对生长过程中的生物胁迫和非生物胁迫,从而维持植物体正常的生命活动^[40]。

4 激素与水稻的抗逆性

植物的抗逆性既受基因的控制又受植物激素的控制,脱落酸、乙烯、细胞分裂素、多胺等激素在激素抗逆研究中备受关注。植物激素在植物对逆境的响应中起着重要作用,在环境胁迫下植物激素会发生很大变化,植物体内激素的积累与抗逆性的增强存在显著相关性。植物激素在植物体内的含量虽然十分微量,但在植物的逆境生理研究中却占据十分重要的地位^[41]。

在植物激素中,ABA 在植物抗逆性方面的作用最明显,植物受到干旱、低温、盐害等环境胁迫时细胞迅速积累 ABA。ABA 含量可作为抗旱性鉴定的评价指标之一^[41-42]。在渗透胁迫、盐胁迫和冷胁迫下,各水稻品种内源 ABA 含量迅速积累,耐性品种积累的 ABA 含量均较敏感品种高,并且耐性品种 ABA 积累的时间较长^[43]。许多研究表明,ABA 作为胁迫激素在感受温度胁迫信号、提高植物的抗寒性中起着重要作用。

在逆境中,各个激素的变化并非孤立的,而是相互影响的。如在盐胁迫下,IAA 和 GA 促进多胺的产生,ABA 抑制多胺的合成,乙烯与多胺的合成存在竞争关系等。研究认为,逆境下 CTK 水平会发生变化,CTK 总体水平降低,从根到苗的 CTK 供应也就随之减少,可能导致地上部相关基因表达发生改变以及 ABA 或其他激素的信号传导,最终引起其他代谢的变化,包括对逆境适应性的改变。此外,有研究表明,PP333 处理对水稻叶片游离赤霉素(F-GA4)和游离脱落酸(F-ABA)含量的上升都有抑制作用。王伟中等利用维生素和在水杨酸(SA)复配剂来提高水稻秧苗对不良环境因素的抗性^[44]。用该复配剂于水稻早育 1 叶 1 心期处理秧苗,可提高秧苗抗腐霉菌的能力,秧苗发病指数明显下降,诱抗效果达到 56.1%,同时还可提高抗低温、抗盐渍的能力。该复配剂于 1998 年 6 月通过江苏省省级鉴定,定名为“壮秧宝”。

5 矿质元素硅和钙对水稻抗逆性增产作用

大量研究证明,很多作物吸收硅后都产生较强的抗逆作用^[45],水稻表现更突出,硅可增强水稻的抗逆性,使其茎秆强壮,抗倒伏及抵抗病虫害的侵蚀,从而使水稻增产。因此,它引起国内外许多专家的重视。水稻施硅后由于硅化细胞的形成,增强了水稻抗逆性,使其保持良好的生育态势,增强了抗病虫害能力,增产效果十分显著^[46]。李忠良进行的同田对比试验发现施硅区水稻主要虫害稻飞虱、卷叶螟、二化螟的虫口密度明显减少^[47]。硅元素除了能提高水稻抗病虫能力外,还具有提高水稻产量、增强水稻抵抗水分和盐分胁迫能力,增强水稻抗倒伏能力以及减轻低价铁、锰、铝等过多而造成的毒害作用。邵建华证实,在盐分浓度高的土壤中,由于硅能够抑制盐分向植物体地上部转移,从而使水稻表现为耐盐性增强^[48]。此外,李文彬等首次研究证明硅能提高水稻叶片抗紫外线胁迫的能力^[49]。

钙是植物生长发育所必需的大量营养元素之一。钙能缓解铝对植物的毒害,减轻盐胁迫和水分胁迫,提高植物种子活力和幼苗抗寒力,参与逆境信号传递和酶活性调节^[50]。

据报道,钙参与抗寒锻炼中一些抗寒基因的表达和机械损伤的修复过程及对病原入侵的防护性反应。增施磷肥提高抗病能力可能与植物体含钙量提高有关。酸性条件下,钙的存在有利于维持细胞膜的正常结构,增强细胞的抗酸能力。提高钙供应水平有利于缓解酸化的不利影响。另外,用氯化钙浸种也可提高水稻幼苗的抗冷力。有研究发现,氧化钙处理土壤培育的稻苗叶片挺直,机械强度增加,可能是细胞壁厚度增加所致。并且氧化钙也能增加水稻幼苗细胞膜稳定性,诱导 POD 活性提高,从而增强稻苗的抗低温胁迫能力^[51]。

6 结语

我国是一个农业大国,近年来全球气候、土壤和水体环境的逐渐恶化,干旱、高低温胁迫、盐胁迫等问题也日趋严重。对水稻在不同逆境中的生理机制及应用进行研究,可为水稻生产提供抗逆的理论和指导,同时对于培育筛选抗旱、抗寒、抗盐等优良品种具有十分重要的意义。随着分子生物学研究的发展,通过转基因工程技术直接、快速、高效地研究培育抗逆性优良新品种将日趋活跃。

参考文献

- [1] 严企松. 水稻抗逆性与育种[J]. 安徽农业科学,1990(1):9-14.
- [2] 朱德峰,程式华,张玉屏,等. 全球水稻生产现状与制约因素分析[J]. 中国农业科学,2010,43(3):474-479.
- [3] 李瑞国,于淑. 植物的抗逆性初探[J]. 农业与技术,2004,24(1):65-66.
- [4] 秦前锦,李桂菊. 野生稻资源的特异性状与超高产育种[J]. 湖北农业科学,2000(6):16-18.
- [5] 杨空松,贺浩华,陈小荣. 野生稻有利基因的挖掘利用及研究进展[J]. 种子,2005,24(12):92-95.
- [6] 章琦. 普通野生稻抗白叶枯病新基因被正式命名为 Xa-23[J]. 作物杂志,2003(1):20.
- [7] 秦学毅,韦素美. 普通野生稻抗褐稻虱基因导入栽培稻研究[J]. 广西农业科学,2002(2):57-59.
- [8] 陈大洲,邓仁根. 东乡野生稻抗寒基因的利用与前景展望[J]. 江西农业学报,1998,10(1):65-68.
- [9] 陈大洲. 东乡野生稻耐冷性研究及其应用[D]. 南京:南京农业大学,2004.
- [10] 袁隆平. 中国的杂交水稻[J]. 中国水稻科学,1986,1(1):8-18.
- [11] 张文辉,刘光杰. 水稻抗虫性遗传与育种研究应用[J]. 中国农学通报,2001,17(3):53-57.
- [12] 张祥喜,华志华,陈光宇. 黄大年水稻抗性转基因研究进展[J]. 生物工程进展,2001,21(2):15-19.
- [13] 苏京平,闫双勇,孙林静. 我国转基因水稻研究的现状[J]. 天津农业科学,2007,13(4):7-11.
- [14] 陈红梅,李昆志,陈丽梅. 植物来源抗虫基因的研究进展[J]. 中国生物工程杂志,2008,28(11):116-121.
- [15] 朱焯. 高效抗虫转基因水稻的研究与开发[J]. 中国科学院院刊,2001(5):353-357.
- [16] 杨虹,李家新,郭三堆,等. 苏云金芽孢杆菌 6-内毒素基因导入原生质体后获得转基因植株[J]. 中国农业科学,1989,22(6):1-5.
- [17] 谢道昕,范云六,倪丞冲. 苏云金芽孢杆菌杀虫基因导入中国栽培品种中花 11 号获得转基因植株[J]. 中国科学(B 辑),1991,24(8):830-834.
- [18] XU D, DUAN X, WANG B. Expression of a late embryogenesis abundant protein gene, HVA1, from barley confers tolerance to water deficit and salt stress in transgenic rice[J]. Plant Physiol, 1996, 110(1):249-257.
- [19] 柳武革,薛庆中. 豇豆胰蛋白酶抑制剂(CpTI)基因在转基因水稻中的表达特性研究[J]. 分子植物育种,2003,1(2):187-192.
- [20] 鄂志国,王磊. 水稻抗病性基因的克隆和功能研究进展[J]. 遗传,2009,31(10):999-1005.
- [21] 严成其,王光清,葛开麟,等. 外源 DNA 通过花粉管通道法导入水稻的研究[J]. 中国农业科学,1997,30(1):94.
- [22] 黄大年,高振宇,华志华,等. 基因枪法在水稻工程育种中的应用[J]. 植物学通报,2001,18(3):283-287.

- [23] 华志华,汪晓玲,薛锐,等. Cecropin B 转基因水稻及其后代抗白叶枯病研究初报[J]. 中国水稻科学,1999,12(3):114-116.
- [24] 白辉,李莉云,刘国振. 水稻抗白叶枯病基因 *Xa21* 的研究进展[J]. 遗传,2006,28(6):745-753.
- [25] 夏志辉,李晓兵,陈彩艳,等. 无选择标记和载体骨干序列的 *Xa21* 转基因水稻的获得[J]. 生物工程学报,2006,22(2):213-218.
- [26] LIN W, ANUMTHA C S, DATTA K, et al. Genetic engineering of rice for resistance to sheath blight[J]. Bio Technology, 1995, 13:686-691.
- [27] 王关林,方宏筠. 植物基因工程原理与技术[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [28] 谭彩霞,张亚芳,陈宗祥,等. 两个抗水稻纹枯病主效数量基因的鉴定[J]. 中国生物工程杂志,2004,24(4):78-80.
- [29] 左示敏. 水稻纹枯病数量基因 *qSB-11-(Le)* 的精细定位、效应研究及其候选基因分析[D]. 扬州:扬州大学,2006:56-59.
- [30] 刘新展,赵明富,何月秋,等. 以丽江新团黑谷为遗传背景的抗稻瘟病基因累加系的选育及其抗性鉴定[J]. 作物学报,2007,33(1):20-24.
- [31] 陈红旗,陈宗祥,倪深,等. 利用分子标记技术聚合 3 个稻瘟病基因改良金 23B 的稻瘟病抗性[J]. 中国水稻科学,2008,22(1):23-27.
- [32] 瓜谷郁三. 植物逆境生物化学及分子生物学[M]. 谢国生,李合生,译. 北京:中国农业出版社,2004:116.
- [33] 郭岩,张莉,肖岗. 甜菜碱渗透酶基因在水稻中的表达及转基因植株的耐盐性研究[J]. 中国科学:C 辑,1997,27(2):151-155.
- [34] XU P, DUAN L, WANG Y, et al. Expression of a late embryogenesis abundant protein gene *lv a1*, from barley confers tolerance to water deficit and salt stress in transgenic rice[J]. Plant P hysiol, 1996, 110(1):249-257.
- [35] 李荣田,张忠明,张启发,等. *RHL* 基因对梗稻的转化及转基因植株的耐盐性[J]. 科学通报,2002,47(8):613-617.
- [36] HU H, DAI M, YAO J, et al. Over expressing a NAM, ATAF and CUC (NAC) transcription factor enhances drought resistance and salt tolerance in rice[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2006, 103(35):12987-12992.
- [37] 王才林,赵凌,宗寿余,等. 用花粉管通道法将 *bar* 基因导入水稻获得可遗传的转基因植株[J]. 江苏农业学报,2002,18(3):129-133.
- [38] 赵凌,王才林,宗寿余,等. 花粉管介导的转 *bar* 基因水稻植株的获得及其遗传[J]. 中国生物工程杂志,2003,23(8):92-95.
- [39] 段发平,郑枫,段俊,等. 转 *bar* 基因水稻的抗性遗传·生理特性和农艺性状研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2006,32(4):355-359.
- [40] 王宇,潘兴,卜宁,等. 逆境胁迫对水稻 DNA 甲基化水平的影响[J]. 生物技术通报,2011(12):1-5.
- [41] 晨娟,刘勇,荆涛. 植物激素抗性研究进展[J]. 世界林业研究,2006,19(5):21-26.
- [42] 徐秋曼,陈宏,高虹,等. 多效唑提高水稻幼苗抗低温能力的机理初探[J]. 西北植物学报,2002,22(5):1236-1241.
- [43] 李智念,王光明,曾之文. 水稻等作物抗寒中 ABA 的相关研究[J]. 耕作与栽培,2003(1):17-19.
- [44] 王伟中,徐建明,钱新民,等. 维生素和木杨酸对水稻秧苗抗性及其内源激素的影响[J]. 江苏农业科学,1999(2):11-12.
- [45] 周秀杰,赵红波,马成仓,等. 硅提高作物抗逆性的研究[J]. 安徽农业科学,2006,34(12):2769-2771.
- [46] 杨雅杰. 硅对提高水稻抗逆性机理的镜检分析[J]. 黑龙江农业科学,2001(4):1-4.
- [47] 李忠良. 雷山县水稻施硅同田对比试验[J]. 植物医生,2004,17(3):30-31.
- [48] 邵建华. 肥的应用研究进展[J]. 化工科技市场,2001(3):7-9.
- [49] 李文彬,史新慧,王贺,等. 施硅提高水稻叶片对紫外线胁迫的抗性[J]. 植物学报,2004,46(6):691-697.
- [50] 樊玉颖. 植物钙调素与植物抗逆性的研究[J]. 云南师范大学学报:自然科学版,2003,23(Z1):98-102.
- [51] 蒲熙,温圣贤,邓文,等. 矿质元素硅、钙对水稻抗逆性影响的研究进展[J]. 作物研究,2007,21(5):616-619.
- [52] YU Z J, CAI Q A, LIN X F, et al. Expression of Bt protein in transgenic pest-resistant rice[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(3):489-491.
- [53] 王金明,林秀云,刘晓梅,等. 分子标记选择水稻抗稻瘟病基因 *Pi40* 和 *Pib* 聚合体[J]. 华北学报,2012(2):218-221.
- [54] CHEN D X, QU G L, HUANG W J, et al. Main agronomic characters and grain quality of rice blast resistance gene *Pi-d2* transgenic rice[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(10):1457-1460.
- [55] 谢培,邓其明,王世全,等. 水稻稻瘟病抗性基因研究进展[J]. 湖南农业科学,2011(5):79-81,82.

(上接第 128 页)

表 1 3 种药剂对烟蚜的田间防效

药剂	药前蚜量		施药后 5 d			施药后 10 d		
	头/株	存活蚜量//头/株	虫口减退率//%	防治效果//%	存活蚜量//头/株	虫口减退率//%	防治效果//%	
石敢当	334.6	13.1	96.10	79.3	7.6	97.73	83.4 aA	
康福多	341.0	17.2	94.96	74.7	13.6	96.04	79.2 cC	
农家盼	323.0	14.3	95.57	76.0	10.9	96.63	81.1 bB	
空白对照	320.3	390.5	-21.92	0	562.3	-75.55	0 dD	

注:同列数据后不同大、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平差异显著。

3 结论

经田间观测及防治效果的对比分析,施用石敢当(5%吡虫啉乳油)1 200 倍液 1 次,对烟蚜的防治效果为 83.4%,虫口减退率为 97.73%;施用康福多[200 g/L(20%)吡虫啉可溶液剂]4 000 倍液 1 次,对烟蚜的防治效果为 79.2%,虫口减退率为 96.04%;施用农家盼(3%啶虫脒乳油)2 000 倍液 1 次,对烟蚜的防治效果为 81.1%,虫口减退率为 96.63%。参试的 3 种药剂中,对烟蚜的防治效果以 5%吡虫啉乳油 1 200 倍液最好,其次是 200 g/L 吡虫啉可溶液剂 4 000 倍液和 3%啶虫脒乳油 2 000 倍液,这 3 个药剂可作为鲁甸县烤烟生产中防治烟蚜的首选药剂,能明显降低烟蚜的虫口数和减轻烟草脉斑病的发生几率,显著提高当地烟叶产量,为当地的经

济效率作出贡献,同时对其他地区的药剂筛选试验具有指导意义。

参考文献

- [1] 王绍坤. 脉斑病[M]//王绍坤. 实用烟草病虫害综合防治手册. 昆明:云南科技出版社,1994.
- [2] 谈文,吴元华. 烟草病理学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [3] 李应金,苏家恩,杨程. 农药混配剂防治烟蚜的田间药效试验[J]. 烟草科技,2006(5):60-62.
- [4] 胡本进,张海珊,李昌春,等. 油菜田害虫调查及蚜虫防治药剂筛选[J]. 昆虫知识,2010(4):779-782.
- [5] 邓明学,石晓雨. 柑桔木虱有效防治药剂田间筛选试验[J]. 农药,2006,45(7):486-487.
- [6] 叶志坚,何华升. 70%吡虫啉水分散剂防治十字花科蔬菜蚜虫药效试验[J]. 现代农业科技,2007(10):63.
- [7] 农学院. 方差分析的基本假定和数据转换[M]. 北京:农业出版社,1979.