

# 大豆品种对花叶病毒病株系 SC3 的 抗性鉴定与农艺性状评价

王静华<sup>1,2</sup>, 王凤敏<sup>1</sup>, 秦君<sup>1</sup>, 杨永庆<sup>1</sup>, 闫龙<sup>1</sup>, 刘兵强<sup>1</sup>, 谷峰<sup>1</sup>,  
冯燕<sup>1</sup>, 张孟臣<sup>1</sup>, 赵宝华<sup>2</sup>, 杨春燕<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 国家大豆改良中心石家庄分中心 / 农业部黄淮海大豆生物学与遗传育种重点实验室 / 河北省作物遗传育种实验室 /  
河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050035; <sup>2</sup> 河北师范大学生命科学院, 石家庄 050024)

**摘要:** 黄淮和长江中下游地区花叶病毒主要流行株系 SC3, 对大豆产量有很大的影响, 本研究利用室内接种鉴定的方法研究 217 份大豆资源对 SC3 的抗性, 同时调查田间接种 SC3 后, SC3 对不同抗病品种的农艺性状和品质性状的影响。为大豆抗花叶病毒病抗病品种的生产应用提供数据支持, 同时为选育抗病品种提供抗性亲本。2012-2014 年连续 3 年采用人工汁液摩擦法接种 SC3, 在温室鉴定 217 份大豆种质的病毒抗性, 根据分析结果, 随机选取不同抗病类型材料 30 份, 其中抗病品种 10 份, 中感品种 10 份, 高感品种 10 份, 于 2013-2014 年间在藁城堤上试验站进行田间接种鉴定, 研究 SC3 对不同品种的产量相关性状和品质性状的影响。217 份大豆资源 SC3 的鉴定结果表明: 第一类抗病品种, 包括免疫品种 4 份, 占 1.84%; 高抗品种 2 份, 占 0.92%; 中抗品种 35 份, 占 16.13%; 第二类中感品种, 包括中感品种 92 份, 占 42.40%; 第三类高感品种, 包括感病品种 3 份, 占 1.38%; 高感品种 81 份, 占 37.33%。SC3 对不同抗性品种的单株粒重、株高、主茎节数、蛋白和油份影响不同。第一类抗性品种的单株粒重、株高、主茎节数、蛋白和油份含量下降不显著; 第二类中感品种的单株粒重、主茎节数、蛋白和油份含量下降不显著, 其株高因品种差异表现出不同程度的下降; 第三类高感品种的单株粒重、株高、主茎节数、蛋白和油份含量下降显著。研究表明 SC3 对不同抗性品种的农艺性状和品质性状的影响不同, 对同种抗病类型不同品种的农艺性状和品质性状的影响也不同。SC3 对抗病品种和中感品种的多数农艺性状和品质性状的影响不显著, 这两类品种适合作为育种材料进行抗性育种。

**关键词:** 大豆; 花叶病毒; 抗性鉴定; 农艺性状

## Test for Resistance to Soybean Mosaic Virus Isolate SC3 and Evaluation of Agronomic Characters in Soybean Varieties

WANG Jing-hua<sup>1,2</sup>, WANG Feng-min<sup>1</sup>, QIN Jun<sup>1</sup>, YANG Yong-qing<sup>1</sup>, YAN Long<sup>1</sup>, LIU Bing-qiang<sup>1</sup>, GU Feng<sup>1</sup>,  
FENG Yan<sup>1</sup>, ZHANG Meng-chen<sup>1</sup>, ZHAO Bao-hua<sup>2</sup>, YANG Chun-yan<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> National Soybean Improvement Center Shijiazhuang Sub-Center/North China Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement  
of Soybean, Ministry of Agriculture/Laboratory of Crop Genetics and Breeding of Hebei/Cereal Oil Crop Institute, Hebei Academy of  
Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050035; <sup>2</sup> College of Life Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024)

**Abstract:** Soybean mosaic virus SC3 is main prevalent strain of Mosaic virus in Huang-Huai river and the middle and lower reaches of Yangtze river that causes the yield loss of soybean (*Glycine max.*). The resistance of

收稿日期: 2018-11-19 修回日期: 2019-01-21 网络出版日期: 2019-02-21

URL: <http://www.doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20181119002>

第一作者研究方向为大豆遗传育种, E-mail: wangjinghua416@126.com; 王凤敏为共同第一作者

通信作者: 杨春燕, 研究方向为大豆遗传育种, E-mail: chyayang66@163.com

赵宝华, 研究方向为分子细菌学, E-mail: zhaobaohua@hebtu.edu.cn

**基金项目:** 国家重点研发计划 (2016YFD0100201); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-04-PS06); 河北省重点研发计划 (16227516D);  
河北省农林科学院现代农业科技创新工程 (F17R37); 河北省农林科学院粮油作物研究所青年创新基金课题 (LYS2016003)

**Foundation project:** National Key Research and Development Program (2016YFD0100201), China Agriculture Research System (CARS-04-PS06), Hebei Key Research and Development Program (16227516D), Modern Agricultural Science and Technology Innovation Project of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences (F17R37), Youth Innovation Fund Project of Cereal Oil Crop Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences (LYS2016003)

217 soybean germplasms to SC3 were studied by the method of indoor inoculation identification and by investigating the influence of SC3 on the agronomic and quality traits of different disease-resistant varieties after field inoculation with SC3. It provided data support for the production and application of soybean varieties resistant to Mosaic virus disease and resistant parents for breeding resistant varieties. Virus resistance of 217 soybean germplasm were identified by using artificial inoculation SC3 method in the greenhouse during 2012-2014 years. According to the analysis results, 30 materials (10 disease-resistant varieties, 10 moderately susceptible varieties, and 10 highly susceptible varieties) of different disease resistance varieties were randomly selected. The effects of SC3 on yield-related and quality traits of different varieties were studied by the field inoculation identification in 2013-2014 years on the field. The identification results of 217 soybean germplasms SC3 showed that the disease-resistant varieties of the first class, include 4 symptomless varieties, accounted for 1.84%. Two varieties with high resistance, accounting for 0.92%; 35 varieties with moderate resistance, accounting for 16.13%. In the second class, 92 varieties were moderate susceptible, accounting for 42.40%. The third type of highly susceptible varieties, including 3 susceptible varieties, accounted for 1.38%; 81 varieties were highly susceptible, accounting for 37.33%. SC3 had different effects on the seed weight per plant, plant height, number of nodes on main stem, protein content and oil content of different resistant varieties. The seed weight, plant height, number of nodes on main stem, protein content and oil content of the resistant varieties in the first group were not significantly decreased. The seed weight per plant, number of nodes on main stem, protein content and oil content of the susceptible varieties in the second class did not decrease significantly, and the plant height of the susceptible varieties decreased to different degrees due to the differences of varieties. The seed weight per plant, plant height, number of nodes on main stem, protein content and oil content of the third type of highly susceptible varieties decreased significantly. The studies have shown that SC3 has different effects on the agronomic and quality traits of different resistant varieties, as well as on the agronomic and quality traits of the same disease-resistant varieties. SC3 has no significant influence on most agronomic and quality traits of disease resistant and moderately susceptible varieties, which are suitable for resistance breeding as breeding materials.

**Key words:** soybean; soybean mosaic virus; resistant identification; agronomic characters

大豆花叶病毒病 (SMV, soybean mosaic virus) 是世界上较普遍的大豆病害之一,在我国各大豆产区均有发生,严重影响大豆的产量<sup>[1]</sup>。对大豆造成的产量损失一般 10% 左右,重发生年份达 35%~50%<sup>[2]</sup>。大豆品种的抗病性是决定 SMV 流行程度的主导因素<sup>[3]</sup>,了解品种对花叶病毒的抗性以及花叶病毒对大豆农艺性状的影响,推广利用抗病品种及花叶病毒对大豆农艺性状尤其是产量没有影响的品种,可阻止病毒流行,减少产量损失,是防治植物病毒病最经济有效的方法,同时为抗花叶病毒育种提供抗病材料。许多学者对大豆种质资源进行了抗性鉴定。智海剑等<sup>[4]</sup>、白丽等<sup>[5]</sup>、杨华等<sup>[6]</sup>和王大刚等<sup>[7]</sup>从新育成的大豆品种(系)中先后获得了一批优异的抗性材料,如汾豆 56、晋大 74、中品 02-046、中作 119、东大 2 号和中作 017020 等<sup>[8]</sup>。SMV 被划分为 21 个株系(SC1~SC21)<sup>[9-13]</sup>,其中 SC3 是黄淮海和长江中下游地区的主要流行株系<sup>[10,12]</sup>。王大刚等<sup>[14]</sup>对 2010 年采集的黄淮海南部鲁豫皖等大豆产区的 64 个 SMV 分离物鉴定结果显示,株系

SC3 目前仍是鲁豫皖等地区的主要流行株系。宋荣浩等<sup>[15]</sup>对 40 个菜用大豆品种进行 SC3 流行株系的鉴定,有 4 个品种抗 SC3 株系,分别为苏鲜 4 号、浙鲜豆 5 号、奎丰 4 号和 KVS124。陈珊宇等<sup>[16]</sup>对我国南方大豆核心种质 93 份野生大豆和 99 份栽培品种进行 SC3 抗性鉴定,抗性品种比例达 7.81%。李凯等<sup>[17]</sup>对近年来选育的参加 2010-2012 年国家大豆新品种区域试验的 122 个参试品种进行了 SC3 抗性鉴定,筛选出较好抗性的品种 32 份;王大刚等<sup>[18]</sup>对 300 份综合农艺性状优良的大豆种质资源进行 SC3 抗性鉴定,其中抗病品种 84 份;宋荣浩等<sup>[19]</sup>对 9 份上海大豆品种资源进行大豆花叶病毒抗性鉴定,未发现抗 SC3 的种质。上述研究对不同省份的大豆品种进行 SC3 抗性鉴定,但感染 SC3 病毒病对于品种的品质与产量的影响未见报道。本研究以黄淮海精准鉴定种质 217 份为试验材料,通过连续 3 年温室接种 SC3 来对这些种质进行抗性评价。同时选取抗病品种、中感品种、高感品种各 10 份,进行连续 2 年的田间鉴定,研究 SC3 对不同抗性品种农艺性状和品质性状

的影响,为抗 SC3 抗性育种提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

217 份精准鉴定种质资源用于抗性鉴定(由中国

农业科学院作物科学研究所邱丽娟课题组提供)(表 1),其中,中国种质 134 份,国外种质 83 份。SMV 病毒株系 SC3 由南京农业大学提供,通过在国家大豆改良中心石家庄分中心防虫网室中接种感病品种 1138-2(由南京农业大学提供)进行活体保存和繁殖。

表 1 217 份核心种质信息表

Table 1 217 core germplasms

品种名称 Variety name	统一编号 Uniform number	来源 Origin	品种名称 Variety name	统一编号 Uniform number	来源 Origin
新六青	ZDD11453	中国安徽省农科院	六十日白豆	ZDD08928	中国山西翼城
蒙 9793-1	N/A	中国安徽省农科院	小黄豆	ZDD08690	中国山西榆次
皖豆 16	ZDD24101	中国安徽省农科院	榆选 13 号	ZDD08697	中国山西榆次
MN413	ZDD24113	中国安徽省农科院	密云老爷脸	ZDD08018	中国北京密云
皖豆 21	ZDD24104	中国安徽省农科院	化诱 4120	ZDD23956	中国科学院
皖豆 15	ZDD19963	中国安徽省潘村农场	科新 3 号	ZDD24626	中国科学院
绿肉黑皮豆	ZDD20340	中国安徽岳西	科新 4 号	ZDD23866	中国农科院
元豆	ZDD01761	中国河北霸县	科丰 53	ZDD24625	中国农科院
样田小黄豆	ZDD08190	中国河北赤城	中豆 33	N/A	中国农科院
赤城绿黄豆	ZDD08238	中国河北赤城	中豆 34	N/A	中国农科院
第六黄豆 -2	ZDD01683	中国河北藁城	中豆 8 号	WDD00627	中国农科院
花黑虎	ZDD18558	中国河北河间	中黄 4 号	ZDD18402	中国农科院
青豆	ZDD18771	中国河北灵寿	中品 95-5117	ZDD23895	中国农科院
白脐大豌豆	ZDD01629	中国河北平泉	中作 96-954	N/A	中国农科院
兔儿眼	ZDD01612	中国河北平泉	中作 00-484	N/A	中国农科院
南关小皮青	ZDD08228	中国河北迁西	中品大黑豆	N/A	中国农科院
四角齐黄豆	ZDD01720	中国河北曲周	中黄 27	ZDD23890	中国农科院
龙江大粒 × Su	N/A	中国河北省农科院	中黄 15	ZDD23878	中国农科院
冀豆 17	ZDD24685	中国河北省农科院	中黄 18	ZDD23881	中国农科院
冀豆 18	ZDD24686	中国河北省农科院	中黄 28	ZDD23892	中国农科院
冀豆 15	ZDD23910	中国河北省农科院	中品 662	ZDD23894	中国农科院
冀豆 21	ZDD23987	中国河北省农科院	中作 97-1121	ZDD24633	中国农科院
冀豆 7 号	ZDD18632	中国河北省农科院	中野 2 号	ZDD24659	中国农科院
冀观 52	ZDD23916	中国河北省农科院	中黄 16	ZDD23879	中国农科院
冀无腥 1 号	ZDD23915	中国河北省农科院	AGS292	N/A	中国台湾
早 5241	ZDD23044	中国河北省农科院	新八达 2 号	WDD02137	韩国
半野生	YDD00722	中国河北省农科院	Kenwood	WDD01580	美国
石豆 3 号	ZDD24693	中国河北省农科院	Amcor89	WDD01572	美国
石豆 5 号	ZDD24695	中国河北省农科院	Hobbit	WDD01945	美国
猫眼豆	ZDD18529	中国河北围场	HP202	WDD01559	美国
猫眼豆	ZDD18835	中国河北蔚县	L84-307	WDD01842	美国
黑豆	ZDD08472	中国河北武邑	L85-2378	WDD01498	美国
本地大黄豆	ZDD08352	中国河北献县	Mustang	WDD01992	美国
大屯小黑豆	ZDD08251	中国河北新城	Union	WDD00617	美国
下台子磨石豆	ZDD18524	中国河北兴隆	L66-721	WDD00238	美国
7651-1	ZDD01797	中国河北张家口	L84-2235	WDD01854	美国
博爱红皮皂角	ZDD03540	中国河南博爱	L73-67	WDD00192	美国
滑绿豆	ZDD10129	中国河南滑县	L62-906	WDD00231	美国
泌阳小籽黄	ZDD03153	中国河南泌阳	L70-6494	WDD00169	美国
泌阳牛毛黄	ZDD03293	中国河南泌阳	L64-4103	WDD01821	美国

表 1(续)

品种名称 Variety name	统一编号 Uniform number	来源 Origin	品种名称 Variety name	统一编号 Uniform number	来源 Origin
郑 97210-6	N/A	中国河南农科院	L74-221	WDD01528	美国
郑 99048	N/A	中国河南农科院	L67-1695	WDD00235	美国
郑州 135	ZDD10085	中国河南农科院	L67-949	WDD01915	美国
郑 02060-0-7-2	N/A	中国河南农科院	Delsoy4210	WDD01604	美国
郑 97196	ZDD24053	中国河南农科院	Delsoy4500	WDD01605	美国
豫豆 22	ZDD19140	中国河南农科院	Delsoy4710	WDD01606	美国
沁阳白豆	ZDD03260	中国河南沁阳	Delsoy4900	WDD01607	美国
豫豆 18	ZDD19409	中国河南省农科院	Dunbar	WDD01592	美国
郑 8516	ZDD10100	中国河南省农科院	Fayette	WDD00570	美国
郑 9525	ZDD24034	中国河南省农科院	Gnome	WDD00539	美国
濮海 10 号	ZDD24757	中国河南省濮阳市农科所	GR8836	WDD01594	美国
浙川鸡窝黄	ZDD3237	中国河南浙川	Hobbit87	WDD01945	美国
信阳羊眼豆	ZDD03570	中国河南信阳	IL2	WDD01598	美国
早丰 1 号	ZDD10084	中国河南郑州	Kim	WDD00575	美国
淮阳春豆	N/A	中国江苏淮阳	Kunitz	WDD01599	美国
邳县红毛油	ZDD03733	中国江苏邳县	L62-880	WDD00207	美国
邳县碾庄六月先	ZDD3740	中国江苏邳县	L69-4267	WDD00217	美国
邳县四粒糙	ZDD03741	中国江苏邳县	L72-1078	WDD00232	美国
邳县大紫花糙	ZDD03739	中国江苏邳县	L74-01	WDD01845	美国
徐豆 10 号	ZDD24064	中国江苏省徐州农科所	KD01	N/A	美国
沐阳春黑豆丙	ZDD3842	中国江苏沐阳	L77-1727	WDD01849	美国
莒选 23	ZDD02615	中国莒县农科所	L78-3083	WDD01522	美国
铁角黄	ZDD02883	中国山东曹县	L78-379	WDD01524	美国
小米豆	ZDD02913	中国山东茌平	L82-1858	WDD01511	美国
高作选 1 号	ZDD19381	中国山东高密	L82-2020	WDD01510	美国
二粒黑豆	ZDD02990	中国山东惠民	L83-4744	WDD01503	美国
大黄豆	ZDD02891	中国山东梁山	L85-2308	WDD01500	美国
大天鹅蛋	ZDD02892	中国山东梁山	L88-5492	WDD01858	美国
绿草豆	ZDD02940	中国山东蒙阴	L88-8226	WDD01494	美国
鲁 96150	N/A	中国山东农科院	L88-8431	WDD01493	美国
四角齐	ZDD02802	中国山东平阴	L88-8739	WDD01490	美国
茶豆	ZDD03106	中国山东齐河	Peking	WDD00467	美国
早熟黑豆	ZDD19293	中国山东乳山	PI437654	WDD00643	美国
鲁宁一号	ZDD24737	中国山东省济宁市农科所	PI486355	WDD00632	美国
8588	ZDD19339	中国山东省农科院	Spry	WDD01616	美国
齐黄 1 号	ZDD02572	中国山东省农科院	Clark63	WDD00001	美国
齐黄 13	ZDD02584	中国山东省农科院	中农食 -1	N/A	美国
平顶黑	ZDD03026	中国山东泰安	L68-582	WDD00227	美国
平顶黄豆	ZDD02864	中国山东微山	L62-956	WDD00193	美国
大白皮	ZDD02866	中国山东微山	L73-54	WDD00218	美国
气死洼	ZDD19144	中国山东文登	L77-1794	WDD01525	美国
鲁豆 4 号	ZDD09884	中国山东省农科院	Amsoy	WDD00528	美国
青 6 号	ZDD02921	中国山东益都	Avery	WDD00647	美国
四粒圆	ZDD02764	中国山东枣庄	Franklin	WDD00602	美国
毛豆	ZDD19131	中国山东招远	Gnome85	WDD00649	美国
大黑豆	ZDD02159	中国山西代县	Ina	WDD01984	美国



表 1(续)

品种名称 Variety name	统一编号 Uniform number	来源 Origin	品种名称 Variety name	统一编号 Uniform number	来源 Origin
青棵圆豆	ZDD08633	中国山西代县	L76-1988	WDD01526	美国
绿皮黄豆	ZDD19027	中国山西古交	L77-1863	WDD01531	美国
白露豆	ZDD08728	中国山西和顺	L77-5632	WDD01530	美国
小青豆	ZDD09136	中国山西洪洞	L79-1270	WDD01520	美国
小黄豆	ZDD08603	中国山西怀仁	L82-2051	WDD01507	美国
青豆	ZDD09832	中国山西黎城	L85-2029	WDD01874	美国
黄籽豆	ZDD02149	中国山西灵丘	L85-2196	WDD01501	美国
白皮黄豆	ZDD01983	中国山西灵丘	L87-0482	WDD01857	美国
小黄豆	ZDD02134	中国山西陵川	L88-8502	WDD01491	美国
晋豆 21	ZDD23987	中国山西省农科院	Nile	WDD01612	美国
汾豆 31	ZDD18928	中国山西省农科院	PI196160	N/A	美国
晋豆 31	ZDD24705	中国山西省农科院	Chaleston	WDD01946	美国
东山 69	ZDD18870	中国山西省农科院	Clark	WDD00001	美国
小圆黄豆	ZDD08564	中国山西天镇	Elf	WDD00569	美国
天鹅蛋	ZDD02114	中国山西屯留	L60-246	WDD00007	美国
蚕丝豆	ZDD02559	中国山西屯留	L81-4590	WDD00341	美国
小白豆 <2>	ZDD8986	中国山西闻喜	L81-4871	WDD00633	美国
黄豆 <2>	ZDD08650	中国山西五寨	L86-1436	WDD01856	美国
夏黑豆	ZDD02400	中国山西武乡	PI253666A	WDD00627	美国
天鹅蛋	ZDD02096	中国山西武乡	Pixie	WDD00613	美国
小黑豆	ZDD09279	中国山西忻县	Sprite 87	WDD01470	美国
褐黑豆	ZDD02551	中国山西兴县	Verde	WDD00582	美国
灰皮支黑豆	ZDD02315	中国山西兴县			

N/A: 没有统一编号

N/A: means that there is no uniform number for these varieties

## 1.2 试验方法

**1.2.1 SMV 株系与接种方法** 217 份大豆材料在 2012-2014 年盆栽于温室内; 每份材料种植株数大于 15 株, 第 1 对真叶完全展开时, 采用汁液摩擦人工接种方法接种 SC3, 第 1 对复叶展平时重复接种 1 次。接种 7 d 后开始观察症状, 接种 28 d 后症状稳定时调查发病情况, 对初次表现无症状的材料重复鉴定以确保可靠性<sup>[10, 12-13]</sup>。

**1.2.2 抗性鉴定与分类** 接种后 1 周显症时进行 SMV 抗性鉴定, 包括症状类型和发病率病级, 此后每隔 1 周调查 1 次, 持续 1 个月, 汇总数据, 计算病情指数<sup>[20]</sup>。

病情指数 (%) = 各级株数 × 相应级数 / 调查总株数 × 4 × 100。

单株病情分级标准参照 Zhi 等<sup>[21]</sup>的方法将花叶坏死 2 种类型分别考虑, 各分为 5 级; 如在同一植株上同时出现花叶坏死 2 种症状, 病级取级别高者依据鉴定材料的发病状况, 根据病情指数按 6 级标准确定抗性类型(表 2)。

表 2 SMV 抗性鉴定标准

Table 2 Evaluation criteria of SMV resistance

抗性分级 Resistance classification	病情指数 (%) Disease index	抗性评价 Resistance evaluation
1	0	免疫 SY
2	1~15	高抗 HR
3	16~30	中抗 MR
4	31~50	中感 MS
5	51~65	感病 S
6	>65	高感 HS

SY: symptomless, HR: high resistance, MR: moderate resistance, MS: moderately susceptible disease, S: susceptible disease, HS: highly susceptible disease, the same as below

材料抗病性划分按照弃轻取重的原则, 即某个材料的最终抗病性为 3 次重复中发病最严重的类型<sup>[22]</sup>。

**1.2.3 田间农艺性状的收集** 在抗性鉴定的基础上, 为了方便研究将以上 6 个级别分为 3 类, 免疫、高抗和中抗对植株生长发育影响不严重的品种都归

为抗病品种,中感的品种归为中感品种,感病品种和高感类型的品种归为高感品种。随机选出抗病、中感和高感品种各 10 份,在 2013-2014 年种植于石家庄藁城区堤上试验站,鉴定区域周围利用高秆作物进行隔离,接种 SC3 与对照也进行高秆作物隔离,于 6 月初播种,条播,每份材料种植株数大于 15 株,2 次重复,一组作为对照正常生长称为未处理株,另一组采用汁液摩擦人工接种方法接种 SC3 称为接种株,第 1 对真叶完全展开时接种,第 1 对复叶展平时重复接种 1 次。接种 7 d 后开始观察症状,接种后 28 d 症状稳定时调查发病情况<sup>[23]</sup>。待植株成熟后,测量并收集未处理株与接种株的株高、主茎节数及单株粒重的数据。

株高:成熟时从子叶节到植株生长点的高度,单位为 cm;主茎节数:植株成熟时从子叶节到主茎顶端的节数,单位为节;单株粒重:成熟时单株实际收获种子的重量,单位为 g<sup>[24]</sup>。

**1.2.4 籽粒蛋白含量和油份含量的测定** 利用德国 Bruker 的 Matrix-1 的近红外光谱仪进行籽粒蛋白含量和油份含量的测定<sup>[25-26]</sup>。利用已建立的近红外籽粒检测模型检测大豆对照与接种的蛋白、油份含量,3 次重复<sup>[27]</sup>。

**1.2.5 数据处理及统计方法** 利用 Excel 进行抗病鉴定分析,利用 SPSS 17.0 对品质和农艺性状进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 抗性鉴定结果

217 份大豆种质资源接种 SC3,经鉴定结果表明(表 3):免疫品种 4 份,占 1.84%,分别为中黄 27、石豆 3 号、齐黄 3 号和龙江大粒 × Su;高抗品种 2 份,占 0.92%,为冀豆 17 和鲁豆 4 号;其中高抗和免疫品种都为国内育成品种。中抗品种 35 份,占

16.13%;免疫、高抗和中抗品种经 SC3 接种后对植株的影响不大,这 3 种类型归为抗病品种,则抗病品种占比 18.89%。中感品种 92 份,占 42.40%;感病品种 3 份,占 1.38%;高感品种 81 份,占 37.33%。

表 3 217 份大豆种质对 SC3 抗性反应类型的分布

Table 3 Reactions of 217 soybean germplasm accessions to inoculation of SC3

抗性分级 Resistance classification	品种份数 Number of varieties	比例(%) Proportion
免疫 SY	4	1.84
高抗 HR	2	0.92
中抗 MR	35	16.13
中感 MS	92	42.40
感病 S	3	1.38
高感 HS	81	37.33

217 份材料根据来源和选育类型划分为中国、国外以及中国育成品种和中国地方品种,统计抗病比例(表 4)。中国品种共计 134 份,其中抗病品种 31 份,占中国参试品种的 23.13%,中感品种 51 份,占 38.06%,高感品种 52 份,占 38.81%,抗病品种所占的比例低于中感品种和高感品种,鉴定的这些抗病品种可应用于抗病育种中;国外品种中抗病品种 10 份,占国外参试品种的 12.05%,中感品种 41 份,占 49.40%,高感品种 32 份,占 38.55%,国外抗病品种所占比例低于其他两类材料,从而说明国内外抗病品种材料所占比例较低,但中国品种中抗病品种的品种份数以及所占比例都高于国外引进品种。中国品种中育成品种的抗病品种 24 份,占育成品种总数的 39.34%;中国地方品种中抗病品种 7 份,占中国地方品种的 9.59%,中国育成品种中抗病品种是中国地方品种中抗病品种的 3 倍多,而中国地方品种的高感品种份数是中国育成品种高感品种份数的 2.5 倍。

表 4 不同类型品种对 SC3 抗性反应的分布

Table 4 Reactions in different types of varieties to inoculation of SC3

品种类型 Variety type	抗病品种 Disease-resistant varieties	占比(%) Proportion	中感品种 MS varieties	占比(%) Proportion	高感品种 HS varieties	占比(%) Proportion
中国品种 China varieties	31	23.13	51	38.06	52	38.81
中国育成品种 China bred varieties	24	39.34	22	36.07	15	24.59
中国地方品种 China local varieties	7	9.59	29	39.73	37	50.68
国外品种 Foreign varieties	10	12.05	41	49.40	32	38.55

在接种 SC3 后,大部分材料在接种 7 d 后开始出现症状,28 d 左右症状较为稳定。接种结果显示,品种间的发病时期存在差异,如齐黄 1 号从接种 7 d 后一直到 28 d 左右一直抗病,L77-1863 从接种 7 d 后一直到 28 d 左右一直表现皱缩。大豆受到 SMV 侵染后,大多数材料如郑州 135 表现出以花叶为主,一部分品种材料如蚕丝豆会出现明显皱缩、卷曲或叶肉坏死现象,感病材料如 7651-1 在后期还会出现黄斑枯死,植株严重矮化或顶枯等症状。鉴定结果表明,不同大豆材料对同一株系引起的症状表现存在着差异。

## 2.2 SC3 对不同抗性品种农艺性状和品质性状的影响

本研究对抗病、中感、高感 3 种抗性类型的品种进行对照 (CK) 与接种 SC3 后植株的农艺性状 (单株粒重、株高和主茎节数) 和品质性状 (蛋白和油份含量) 的影响进行分析。

### 2.2.1 SC3 对不同抗性品种产量性状的影响

单株粒重是决定产量的重要性状。不同品种未处理株 CK 与接种株 SC3 的单株粒重对比如表 5 所示。抗病品种的 CK 与接种 SC3 的单株粒重间差异不显著。SC3 对抗病品种的单株粒重无显著影响。

表 5 SC3 对不同抗性品种农艺性状的影响

Table 5 Effects of agronomic characters of different resistant varieties of SC3

品种类型 Variety types	品种名称 Varieties	处理 Treatments	株高 (cm) Plant height	主茎节数 Number of nodes on main stem	单株粒重 (g) Seed weight per plant	蛋白含量 (%) Protein content	油份含量 (%) Oil content
抗病品种 Resistant varieties	冀豆 7 号	CK	72.43 ± 1.97A	15.91 ± 0.44a	8.96 ± 1.13a	43.42 ± 1.20b	19.11 ± 0.87a
		SC3	56.00 ± 3.70B	15.00 ± 0.29a	7.20 ± 1.45a	45.40 ± 0.82a	18.24 ± 0.51a
	冀豆 17	CK	90.43 ± 1.15A	16.14 ± 0.34a	10.20 ± 1.42a	40.38 ± 1.34a	20.00 ± 0.64a
		SC3	84.55 ± 0.85B	16.09 ± 0.32a	8.68 ± 0.78a	40.34 ± 2.24a	20.36 ± 0.91a
	冀豆 21	CK	56.60 ± 5.83a	14.38 ± 0.18a	13.86 ± 0.77a	43.95 ± 1.09a	17.71 ± 0.42B
		SC3	53.14 ± 1.53a	14.33 ± 0.33a	12.77 ± 1.43a	42.73 ± 1.38a	18.54 ± 0.37A
	科新 3 号	CK	80.78 ± 0.52A	18.13 ± 0.79a	10.97 ± 1.52a	44.29 ± 0.45a	18.58 ± 0.37a
		SC3	69.40 ± 2.09B	17.56 ± 0.56a	9.38 ± 2.31a	44.66 ± 0.81a	17.75 ± 0.65a
	科新 4 号	CK	78.71 ± 1.34a	17.13 ± 0.23a	12.68 ± 0.39a	43.45 ± 0.90a	18.01 ± 0.50a
		SC3	75.50 ± 1.41a	17.00 ± 0.24a	12.19 ± 1.09a	44.35 ± 1.37a	17.47 ± 0.70a
	石豆 3 号	CK	87.17 ± 6.23a	15.67 ± 0.72a	13.43 ± 1.41a	45.79 ± 1.34a	18.35 ± 0.94a
		SC3	71.44 ± 4.12b	15.22 ± 0.98a	12.54 ± 2.50a	44.89 ± 0.44a	19.44 ± 0.52a
	中黄 27	CK	54.60 ± 1.78A	13.70 ± 0.42a	6.85 ± 0.69a	43.27 ± 0.98a	18.73 ± 0.63a
		SC3	41.11 ± 1.40B	13.33 ± 0.37a	6.62 ± 1.22a	44.93 ± 0.87a	17.18 ± 1.12a
	中黄 15	CK	86.67 ± 1.31A	17.67 ± 0.67a	11.83 ± 1.53a	40.82 ± 0.30B	19.93 ± 0.31a
		SC3	78.50 ± 2.00B	14.67 ± 0.33a	10.57 ± 2.25a	44.12 ± 1.41A	18.25 ± 0.78b
	鲁 96150	CK	71.89 ± 2.16a	15.11 ± 0.11a	14.51 ± 0.97a	43.30 ± 1.62a	19.12 ± 0.28a
		SC3	64.00 ± 3.01a	15.00 ± 0.54a	14.27 ± 1.56a	42.96 ± 0.37a	18.79 ± 0.94a
化诱 4120	CK	90.57 ± 1.51A	17.40 ± 0.69a	16.15 ± 1.43a	42.94 ± 0.65a	19.32 ± 0.15a	
	SC3	80.86 ± 1.55B	16.09 ± 0.67a	15.80 ± 2.07a	43.14 ± 1.15a	19.34 ± 0.70a	
中感品种 Moderately susceptible varieties	汾豆 31	CK	94.00 ± 1.63A	15.60 ± 0.98a	13.76 ± 1.51a	39.66 ± 0.64a	20.41 ± 0.35a
		SC3	73.40 ± 4.79B	15.20 ± 0.20a	10.58 ± 2.27a	39.34 ± 1.14a	20.61 ± 0.23a
	冀无腥 1 号	CK	98.83 ± 4.13A	17.00 ± 0.73a	19.03 ± 2.61a	42.44 ± 1.00a	19.59 ± 0.57a
		SC3	86.00 ± 1.62B	16.75 ± 0.45a	16.41 ± 1.34a	42.50 ± 1.63a	19.47 ± 0.31a
	科丰 53	CK	88.00 ± 4.11a	18.00 ± 0.65a	16.78 ± 2.03a	44.78 ± 0.94a	17.90 ± 0.31a
		SC3	92.00 ± 1.62a	17.91 ± 0.29a	15.90 ± 0.95a	44.06 ± 0.57a	18.34 ± 0.46a
	L85-2308	CK	89.17 ± 3.68A	15.92 ± 0.56a	13.59 ± 0.85a	41.70 ± 1.03a	20.49 ± 0.65a
		SC3	64.89 ± 5.58B	14.89 ± 0.95a	13.56 ± 1.73a	40.95 ± 1.16a	20.70 ± 0.56a
	皖豆 16	CK	86.80 ± 4.92a	17.75 ± 0.48a	14.66 ± 2.57a	44.90 ± 0.70a	18.01 ± 1.20a
		SC3	85.44 ± 2.45a	16.14 ± 0.46a	11.46 ± 1.04a	44.57 ± 0.51a	18.21 ± 0.59a
	L88-8431	CK	86.13 ± 3.31A	19.67 ± 0.84a	11.71 ± 2.02a	43.01 ± 1.46a	20.02 ± 0.60a
		SC3	60.88 ± 4.24B	17.20 ± 0.58a	8.34 ± 1.59a	41.32 ± 0.67b	20.42 ± 0.65a

表 5(续)

品种类型 Variety types	品种名称 Varieties	处理 Treatments	株高 (cm) Plant height	主茎节数 Number of nodes on main stem	单株粒重 (g) Seed weight per plant	蛋白含量 (%) Protein content	油份含量 (%) Oil content
中感品种 Moderately susceptible varieties	L83-4744	CK	94.33 ± 1.48A	17.22 ± 0.36a	13.68 ± 1.54a	41.57 ± 1.02a	20.21 ± 1.40a
		SC3	49.33 ± 1.56B	11.50 ± 3.64a	6.42 ± 2.19b	41.53 ± 0.65a	20.29 ± 0.64a
	L88-5492	CK	94.91 ± 4.15A	16.09 ± 0.51a	14.31 ± 0.96A	41.24 ± 0.34a	20.86 ± 0.18a
		SC3	49.62 ± 4.05B	14.62 ± 0.63a	2.52 ± 0.64B	40.72 ± 2.06a	20.35 ± 0.92a
	Delsoy4710	CK	113.60 ± 1.72A	19.60 ± 0.51a	17.54 ± 2.49A	38.38 ± 0.36	20.78 ± 0.58
		SC3	74.82 ± 3.64B	17.82 ± 0.89a	2.69 ± 0.58B	—	—
Clark63	CK	94.67 ± 1.54A	16.56 ± 0.24A	17.00 ± 1.07A	40.39 ± 0.49	21.00 ± 0.25	
	SC3	64.00 ± 2.85B	14.18 ± 0.52B	1.89 ± 0.30B	—	—	
高感品种 Highly susceptible varieties	中作 00-484	CK	69.88 ± 1.72A	14.38 ± 0.50a	10.66 ± 1.56A	42.18 ± 0.73	19.93 ± 0.46
		SC3	37.00 ± 1.00B	13.90 ± 0.10a	0.26 ± 0.17B	—	—
	中作 96-954	CK	65.50 ± 1.80A	13.88 ± 0.23A	15.24 ± 1.51A	41.77 ± 0.85	19.93 ± 0.30
		SC3	37.00 ± 3.02B	12.88 ± 0.13B	0.45 ± 0.22B	—	—
	皖豆 21	CK	78.27 ± 1.82A	15.00 ± 0.74A	11.82 ± 1.68A	42.30 ± 0.16	20.01 ± 0.28
		SC3	36.40 ± 4.23B	10.90 ± 0.75B	0.37 ± 0.30B	—	—
	豫豆 22	CK	103.33 ± 4.00A	18.17 ± 0.87a	15.87 ± 3.23A	42.81 ± 0.47	18.52 ± 0.09
		SC3	79.77 ± 1.64B	18.08 ± 0.46a	0.65 ± 0.26B	—	—
	郑 97196	CK	96.75 ± 3.48A	15.38 ± 0.46a	12.30 ± 1.91A	43.66 ± 1.61	18.20 ± 0.73
		SC3	73.00 ± 3.89B	14.50 ± 0.85a	0.73 ± 0.24B	—	—
	郑 02060-0-7-2	CK	68.63 ± 2.08A	16.50 ± 0.42a	11.76 ± 1.53A	38.66 ± 1.06	19.80 ± 0.70
		SC3	41.30 ± 1.81B	13.70 ± 0.90b	0.41 ± 0.18B	—	—
	L77-1794	CK	90.10 ± 2.76A	17.00 ± 0.65A	13.15 ± 1.07A	39.24 ± 0.25	20.72 ± 0.29
		SC3	44.10 ± 2.28B	13.10 ± 0.53B	1.37 ± 0.30B	—	—
	L77-1863	CK	81.50 ± 6.74A	14.25 ± 0.90a	11.93 ± 1.13A	40.20 ± 0.40	21.25 ± 0.04
		SC3	35.00 ± 3.17B	13.09 ± 0.51a	0.74 ± 0.26B	—	—
	L88-8502	CK	92.00 ± 2.39A	16.60 ± 0.40a	14.90 ± 3.25A	40.41 ± 0.71	20.52 ± 0.54
		SC3	59.80 ± 2.59B	15.90 ± 0.35a	3.45 ± 0.77B	—	—
大天鹅蛋	CK	99.33 ± 3.92A	17.78 ± 0.49A	17.97 ± 2.30A	45.12 ± 0.87	16.67 ± 0.10	
	SC3	55.46 ± 2.35B	15.23 ± 0.56B	1.91 ± 0.29B	—	—	

— : 表示由于感病严重没有获得种子或者种子量很少无法测定蛋白和油份含量。不同大、小写字母表示在 0.01、0.05 水平上差异显著性  
 — represent that protein content and oil content of some varieties of moderate and highly susceptible varieties could not be tested due to little seed for severe disease. Different capital and small letters mean significantly different at 0.01, 0.05 levels

中感品种中汾豆 31、冀无腥 1 号、科丰 53、L85-2308、皖豆 16 和 L88-8431 接种 SC3 后的单株粒重与对照相比差异不显著,其余中感品种接种 SC3 的单株粒重都显著或极显著低于对照,L83-4744 的 CK 与接种 SC3 的单株粒重为 13.68 g 和 6.42 g,存在显著差异,L88-5492、Delsoy4710 和 Clark63 的 CK 与 SC3 的单株粒重分别为 14.31 g 和 2.52 g、17.54 g 和 2.69 g、17.00 g 和 1.89 g,存在极显著差异,其余中感品种的 CK 与 SC3 的单株粒重均差异不显著,SC3 对 40% 中感品种的单株粒重有显著影响,达到显著或极显著水平,说明接种 SC3 后由于品种抗病性差使得产量降低,有的品种减产 80% 以上。

10 个高感品种 CK 与 SC3 的单株粒重,均存

在极显著差异,SC3 对高感品种的单株粒重存在极显著影响,极大的影响了高感材料的产量。从而说明,SC3 对不同抗性品种的单株粒重影响存在差异,SC3 对抗病材料的单株粒重均无显著性影响;SC3 对中感材料的部分材料产生显著影响,降低了单株粒重;SC3 对所有高感材料的单株粒重造成显著的影响,显著降低了所有高感材料的单株粒重。高感材料的减产率范围为 73.2%~96.8%,70% 的高感品种的减产率达到 90%。

**2.2.2 SC3 对不同抗性品种植株形态性状的影响**  
 株高是植株的重要形态性状。不同品种未处理株 CK 与接种株 SC3 的株高结果如表 5 所示。抗病品种冀豆 21、科新 4 号和鲁 96150 接种 SC3 后株



高与对照差异不显著,接种与对照分别为 53.14 cm 和 56.60 cm、75.50 cm 和 78.71 cm、64.00 cm 和 71.89 cm,其余抗病品种接种 SC3 的株高都显著或极显著低于对照,但株高降低的幅度不大;中感品种中科丰 53、皖豆 16 接种 SC3 的株高与对照相比差异不显著,其余中感品种接种 SC3 后株高降低的幅度较大,都极显著低于对照。高感品种接种 SC3 后株高有很大幅度的降低,都极显著低于对照。从而说明 SC3 对不同抗性品种的株高影响存在差异,SC3 对抗病品种的株高无明显影响,使中感品种的株高和高感品种的株高明显下降,尤其是高感品种接种 SC3 后严重影响了植株的生长,使株高都极显著低于对照。

主茎节数也是植株重要的形态性状。不同品种的未处理株 CK 与接种株 SC3 的主茎节数结果分别如表 5 所示。抗病品种的 CK 与 SC3 的主茎节数均差异不显著,SC3 对抗病品种的主茎节数无显著影响。中感品种 Clark63 接种 SC3 主茎节数极显著低于对照,接种 SC3 和对照分别为 14.18 和 16.56,其余中感品种接种后主茎节数降低幅度不大,差异不显著。高感品种郑 02060-0-7-2 接种 SC3 后主茎节数显著低于对照,分别为 13.70 和 16.50,中作 96-954、皖豆 21、L77-1794 和大天鹅蛋接种 SC3 后主茎节数极显著低于对照,并且下降幅度较大,其余高感品种接种后主茎节数与对照差异不显著。从而说明 SC3 对不同抗性品种的主茎节数影响存在差异,SC3 对抗病品种和中感品种的主茎节数无明显影响,使某些高感品种的主茎节数明显下降。

**2.2.3 SC3 对不同抗性品种品质性状的影响** 蛋白质是大豆重要的品质性状,蛋白含量也是大豆品种选育的重要品质指标。不同抗病类型品种的未处理株 CK 与接种株 SC3 的蛋白含量结果如表 5 所示。抗病品种中冀豆 7 号接种 SC3 的蛋白含量显著高于对照,中黄 15 接种 SC3 的蛋白含量极显著高于对照,冀豆 7 号和中黄 15 接种 SC3 和对照分别为 45.40% 和 43.42%、44.12% 和 40.82%,其余抗病品种的 CK 与 SC3 的蛋白含量均差异不显著,SC3 对大多数抗病品种的蛋白含量无显著影响。

中感品种 L88-8431 的 CK 与 SC3 的蛋白含量为 43.01% 和 41.32%,存在显著差异;中感品种中 Delsoy4710 和 Clark63 接种 SC3 后单株粒重极少,由于测定蛋白含量需要一定的种子量,种子量少不能进行蛋白含量的测定,因此无法得到蛋白数据,其余中感品种的 CK 与 SC3 的蛋白含量均差异不显

著,SC3 对多数中感品种的蛋白含量影响不大。

高感品种接种 SC3 后单株粒重急剧减少,由于植株生长不正常,获得少量未成熟种子,无法获得蛋白数据。从而说明,SC3 对不同抗性品种的蛋白含量影响存在差异。

油份含量是大豆品种选育的一个重要品质指标。不同品种未处理株 CK 与接种株 SC3 的油份含量结果如表 5 所示。抗病品种冀豆 17、冀豆 21 和石豆 3 号接种 SC3 后油份含量升高,其中冀豆 21 接种 SC3 后的油份含量极显著高于对照,接种 SC3 和对照分别为 18.54% 和 17.71%,其余抗病品种的油份含量降低,其中中黄 15 接种 SC3 后油份含量显著低于对照,接种 SC3 和对照的油份含量分别为 18.25% 和 19.93%。中感品种中汾豆 31、科丰 53、L85-2308、皖豆 16、L88-8431 和 L83-4744 接种 SC3 后油份含量比对照增高,但增高幅度不大,其余品种降低,但 Delsoy4710 和 Clark63 接种 SC3 单株粒重收获极少,由于油份含量的测定需要一定的种子量,种子量少无法进行油份含量的测定,因此无法获得油份数据,接种 SC3 后对中感品种的影响不大。高感品种由于接种 SC3 后单株粒重极少,未能获得油份含量数据。从而说明,SC3 对不同抗性品种的油份含量影响存在差异,SC3 对抗病和中感品种的油份含量无明显影响,对高感品种的油份含量产生严重影响。

综上所述,SC3 对抗病品种的产量性状单株粒重和植株形态性状主茎节数均无显著影响;SC3 对 90% 的中感材料主茎节数无显著影响,60% 中感品种的单株粒重无显著影响,对 80% 材料的株高影响极显著;SC3 对高感品种的单株粒重、株高均存在极显著影响,高感材料中由于单株粒重极少都未获得蛋白和油份的数据。

### 3 讨论

大豆花叶病毒病是危害大豆生产的重要病害之一,许多学者对大豆种质资源进行了抗性鉴定。本研究 217 份大豆种质资源接种 SC3 经鉴定:免疫品种 4 份(占 1.84%),高抗品种 2 份(占 0.92%),其中高抗和免疫品种都为我国育成品种。中抗品种 35 份(占 16.13%),免疫、高抗和中抗品种经 SC3 接种后对植株的影响不大,这 3 种类型归为抗病品种(占 18.89%)。中感品种 92 份(占 42.40%),感病品种 3 份(占 1.38%),高感品种 81 份(占 37.33%)。研究结果中冀豆 17 和石豆 3 号等抗病

结果与前人一致<sup>[17]</sup>,验证了试验的准确性。通过对种质资源接种与对照的农艺性状调查,可鉴定出抗病的材料,为抗病育种提供优良的基础材料。

通过对 30 份不同抗性品种连续 2 年接种 SC3,比较接种株与未处理株的单株粒重、株高、主茎节数、籽粒蛋白和油份含量,进一步了解 SC3 对不同抗性品种的产量和品质影响。研究表明,SC3 对不同抗性品种的农艺性状和品质性状影响不同。SC3 对抗病品种的多数农艺性状和品质性状影响不显著,说明大多数抗病品种自身的抗病基因形成的抗病机制可以对病毒产生免疫反应,最终对自身不会产生显著影响,可作为抗病育种的首选品种;SC3 对中感品种的多数农艺性状和品质性状影响不显著,也可用于抗性育种;SC3 对高感品种的农艺性状和品质性状影响显著,此类品种受病毒侵害后减产甚至绝产,其农艺性状和品质性状受到严重影响。接种 SC3 后,抗病品种中农艺性状中产量性状单株粒重、植株性状主茎节数接种后与对照都无显著差异;中感品种中株高、主茎节数、单株粒重、蛋白含量的性状都有显著或极显著下降的品种;高感品种中每个性状 80%~100% 的品种出现显著或极显著下降,从而说明 SC3 对不同品种的农艺性状和品质的影响存在差异,SC3 对抗病品种农艺性状的影响低于中感品种低于高感品种。经室内鉴定稳定的抗病品种,在田间种植接种可能受环境的影响造成农艺性状的影响不大,从而说明在抗病品种鉴定过程中,为了保证数据的准确可靠,建议室内鉴定后还要经过田间鉴定,最终进行抗病品种的应用。

SC3 对不同抗性品种的农艺性状和品质性状的影响不同,对同种抗病类型不同品种的农艺性状和品质性状的影响也不同。SC3 对抗病品种和中感品种的多数农艺性状和品质性状的影响不显著,这两类品种适合作为育种材料进行抗性育种;高感品种的农艺性状和品质性状显著下降,不适合用于培育高产、抗病育种的工作中。

#### 参考文献

- [1] 王大刚,张磊,智海剑. 大豆花叶病毒株系鉴定与分子生物学研究进展. 大豆科学, 2012, 31(4): 668-674  
Wang D G, Zhang L, Zhi H J. Advances in identification of strains and molecular biology of soybean mosaic virus. Soybean Science, 2012, 31(4): 668-674
- [2] Wrather J A, Anderson T R, Arsyad D M, Tan Y, Ploper L D, Porta-Puglia A, Ram H H, Yorinori J T. Soybean disease loss estimates for the top ten soybean-producing countries in 1998. Canadian Journal of Plant Pathology, 2001, 23: 115-121
- [3] 罗瑞梧,尚佑芬,杨崇良,赵玖华,李长松. 大豆花叶病流行因素和发生预测研究. 植物保护学报, 1991, 18(3): 267-271  
Luo R W, Shang Y F, Yang C L, Zhao J H, Li C S. Studies on epidemiology and prediction of soybean mosaic virus. Acta Phytopythologica Sinica, 1991, 18(3): 267-271
- [4] 智海剑,盖钧镒,陈应志,廖琴,郭东全,王延伟,李凯,李海潮. 2002-2004 年国家大豆区试品种对大豆花叶病毒抗性的评价. 大豆科学, 2005, 24(3): 189-193  
Zhi H J, Gai J Y, Chen Y Z, Liao Q, Guo D Q, Wang Y W, Li K, Li H C. Evaluation of resistance to SMV of the entries in the national uniform soybean tests (2002-2004). Soybean Science, 2005, 24(3): 189-193
- [5] 白丽,李凯,陈应志,智海剑,盖钧镒,杨清华,李海潮. 部分国家和省(市)区试品种对大豆花叶病毒的抗性分析. 中国油料作物学报, 2007, 29(1): 86-89  
Bai L, Li K, Chen Y Z, Zhi H J, Gai J Y, Yang Q H, Li H C. Evaluation of resistance to SMV of cultivars from soybean national and local regional test. Chinese Journal of Oil Crop Sciences. 2007, 29(1): 86-89
- [6] 杨华,李凯,杨清华,王大刚,刘宁,马莹,智海剑. 国内部分新品种对大豆花叶病毒抗性的鉴定. 华北农学报, 2008, 23(S2): 253-255  
Yang H, Li K, Yang Q H, Wang D G, Liu N, Ma Y, Zhi H J. Evaluation of resistance to SMV of cultivars from soybean national and local regional test in 2004-2006. Acta Agriculturae Boreali-Sinica. 2008, 23(S2): 253-255
- [7] 王大刚,卢为国,马莹,刘宁,陈珊宇,郑桂杰,杨中路,刘若森,智海剑. 新育成大豆品种对 SMV 和 SCN 的抗性评价. 大豆科学, 2009, 28(6): 949-953  
Wang D G, Lu W G, Ma Y, Liu N, Chen S Y, Zheng G J, Yang Z L, Liu R M, Zhi H J. Evaluation of resistance of soybean cultivars to soybean mosaic virus and soybean cyst nematode. Soybean Science, 2009, 28(6): 949-953
- [8] 王大刚,智海剑,张磊. 大豆抗大豆花叶病毒研究进展. 中国油料作物学报, 2013, 35(3): 341-348  
Wang D G, Zhi H J, Zhang L. Review on resistance to soybean mosaic virus in soybean. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(3): 341-348
- [9] Li K, Yang Q H, Zhi H J, Gai J Y. Identification and distribution of soybean mosaic virus strains in southern China. Plant Disease, 2010, 94(3): 351-357
- [10] 王修强,盖钧镒,濮祖芹. 黄淮和长江中下游地区大豆花叶病毒株系鉴定与分布. 大豆科学, 2003, 22(2): 102-106  
Wang X Q, Gai J Y, Pu Z Q. Classification and distribution of strain groups of soybean mosaic virus in middle and lower Huang-Huai and Changjiang valleys. Soybean Science, 2003, 22(2): 102-106
- [11] 杨雅麟. 长江中下游地区大豆花叶病毒(SMV)株系组成、分布及抗性研究. 南京:南京农业大学, 2002  
Yang Y L. Classification and distribution of strains of soybean mosaic virus in the middle and lower Changjiang river valleys and the resistance to soybean mosaic virus in soybeans. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2002
- [12] 郭东全,智海剑,王延伟,盖钧镒,周新安,杨崇良,李凯,李海潮. 黄淮中北部大豆花叶病毒株系的鉴定与分布. 中国油料作物学报, 2005, 27(4): 64-68  
Guo D Q, Zhi H J, Wang Y W, Gai J Y, Zhou X A, Yang C

- L, Li K, Li H C. Identification and distribution of strains of soybean mosaic virus in middle and northern of Huang-Huai Region of China. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2005, 27(4): 64-68
- [13] 王延伟, 智海剑, 郭东全, 盖钧镒, 陈庆山, 李凯, 李海潮. 中国北方春大豆区大豆花叶病毒株系的鉴定与分布. *大豆科学*, 2005, 24(4): 263-268  
Wang Y W, Zhi H J, Guo D Q, Gai J Y, Chen Q S, Li K, Li H C. Classification and distribution of strain groups of soybean mosaic virus in northern China spring planting soybean region. *Soybean Science*, 2005, 24(4): 263-268
- [14] 王大刚, 田震, 李凯, 李华伟, 黄志平, 胡国玉, 张磊, 智海剑. 鲁豫皖大豆产区大豆花叶病毒株系的鉴定及动态变化分析. *大豆科学*, 2013, 32(6): 806-809  
Wang D G, Tian Z, Li K, Li H W, Huang Z P, Hu G Y, Zhang L, Zhi H J. Identification and variation analysis of soybean mosaic virus strains in Shandong, Henan and Anhui Provinces of China. *Soybean Science*, 2013, 32(6): 806-809
- [15] 宋荣浩, 顾卫红, 马坤, 杨红娟, 朱丽华, 李超汉, 智海剑. 菜用大豆品种资源对大豆花叶病毒病的抗性评价. *植物保护*, 2015, 41(2): 162-166  
Song R H, Gu W H, Ma K, Yang H J, Zhu L H, Li C H, Zhi H J. Identification of soybean mosaic virus resistance in vegetable soybean. *Plant Protection*, 2015, 41(2): 162-166
- [16] 陈珊宇, 郑桂杰, 杨中路, 刘若森, 智海剑. 我国大豆核心种质南方材料对 SMV 流行株系的抗性评价. *中国油料作物学报*, 2009, 31(4): 513-516  
Chen S Y, Zheng G J, Yang Z L, Liu R M, Zhi H J. Evaluation of resistance to SMV of soybean core collection from Southern China. *Chinese Journal of Oil Crop Science*, 2009, 31(4): 513-516
- [17] 李凯, 刘志涛, 李海朝, 张镨, 王成坤, 任锐, 卢为国, 智海剑. 国家大豆区域试验品种对 SMV 和 SCN 的抗性分析. *大豆科学*, 2013, 32(5): 670-675  
Li K, Liu Z T, Li H C, Zhang K, Wang C K, Ren R, Lu W G, Zhi H J. Resistance to *Soybean Mosaic Virus* and soybean cyst nematode of soybean cultivars from China national soybean uniform trials. *Soybean Science*, 2013, 32(5): 670-675
- [18] 王大刚, 胡国玉, 黄志平, 张磊, 于国宜. 大豆种质资源抗大豆花叶病毒的鉴定. *作物杂志*, 2013(2): 32-36  
Wang D G, Hu G Y, Huang Z P, Zhang L, Yu G Y. Identification of soybean germplasm resources resistance to *Soybean Mosaic Virus*. *Crops*, 2013(2): 32-36
- [19] 宋荣浩, 朱丽华, 顾卫红, 杨红娟, 马坤, 智海剑, 单志慧. 上海地方大豆品种资源主要农艺性状的鉴定评价. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(6): 1182-1187  
Song R H, Zhu L H, Gu W H, Yang H J, Ma K, Zhi H J, Shan Z H. Evaluation of agronomic characteristics for soybean landraces from Shanghai Chongming Islands. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(6): 1182-1187
- [20] 智海剑, 盖钧镒, 何小红. 大豆对 SMV 数量(程度)抗性的综合分级方法研究. *大豆科学*, 2005, 24(2): 5-11  
Zhi H J, Gai J Y, He X H. Study on methods of classification of quantitative resistance to soybean mosaic virus on soybean. *Soybean Science*, 2005, 24(2): 5-11
- [21] Zhi H J, Gai J Y. Performances and germplasm evaluation of quantitative resistance to soybean mosaic virus in soybeans. *Agricultural Science in China*, 2004, 3(4): 247-253
- [22] 陈文杰, 梁江, 钟开珍, 韦清源, 汤复跃, 曾维英, 陈渊. 大豆抗花叶病毒材料初步筛选及评价. *大豆科学*, 2012, 31(4): 617-620  
Chen W J, Liang J, Zhong K Z, Wei Q Y, Tang F Y, Zeng W Y, Chen Y. Preliminary selection and evaluation for *Glycine max* resistant to soybean mosaic virus. *Soybean Science*, 2012, 31(4): 617-620
- [23] 李海潮, 智海剑, 白丽, 杨华, 马莹, 刘宁, 王大刚. 大豆对 SMV 株系 SC-11 的抗性遗传及抗病基因的等位性研究. *大豆科学*, 2006, 25(4): 365-368  
Li H C, Zhi H J, Bai L, Yang H, Ma Y, Liu N, Wang D G. Studies on inheritance and allelism of resistance genes to SMV strain SC-11 in soybean. *Soybean Science*, 2006, 25(4): 365-368
- [24] 胡国玉, 李杰坤, 黄志平, 胡晨, 于国宜, 王大刚, 张丽亚, 吴倩, 张磊. 不同结荚习性夏大豆种质的农艺表现及其与产量的相关分析. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(2): 417-422  
Hu G Y, Li J K, Huang Z P, Hu C, Yu G Y, Wang D G, Zhang L Y, Wu Q, Zhang L. Agronomic characters and their correlations with yield in Summer soybean varieties of different growth habit. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(2): 417-422
- [25] 张金巍, 韩粉霞, 孙君明, 于福宽, 马磊, 陈明阳, 张晶莹, 闫淑荣, 杨华. 大豆蛋白质含量的遗传变异及其与主要农艺性状的相关性分析. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(4): 501-506  
Zhang J W, Han F X, Sun J M, Yu F K, Ma L, Chen M Y, Zhang J Y, Yan S R, Yang H. Genetic variation of the protein content and correlation between protein content and main agronomic characters of soybean. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(4): 501-506
- [26] 张建新, 胡根海. 春大豆主要农艺性状的相关分析. *新疆农业科学*, 2003, 40(1): 16-19  
Zhang J X, Hu G H. Correlation analysis of the main agronomic characters in spring soybean. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2003, 40(1): 16-19
- [27] 闫龙, 蒋春志, 于向鸿, 杨春燕, 张孟臣. 大豆粗蛋白、粗脂肪含量近红外检测模型建立及可靠性分析. *大豆科学*, 2008, 27(5): 833-837  
Yan L, Jiang C Z, Yu X H, Yang C Y, Zhang M C. Development and reliability of near infrared spectroscopy (NIS) models of protein and oil content in soybean. *Soybean Science*, 2008, 27(5): 833-837