

# 江苏地区小麦上大麦黄矮病毒种类鉴定及其进化分析

董岩<sup>1</sup>, 李硕<sup>1</sup>, 缪倩<sup>1</sup>, 靳道然<sup>1</sup>, 杨荣明<sup>2</sup>, 季英华<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏省植物保护植物检疫站, 江苏南京 210014)

**摘要:** 在对江苏小麦病害进行调查时发现疑似感染大麦黄矮病毒(barley yellow dwarf viruses, BYDVs)的病株, 病株旗叶由叶尖向叶基扩展变黄, 黄化面积占全叶的1/3~1/2。为明确其感染的病毒种类, 对田间采集的样品进行检测和鉴定。结果表明, 经利用BYDV通用引物进行检测, 采集江苏省8个地点的261份样品中有182份样品扩增到了目的条带。通过序列测定, 8个地点样品中的病毒种类均为BYDV-PAV。利用BYDV-PAV外壳蛋白基因(CP)的特异引物对阳性样品进行检测, 结果全部为阳性; 经对克隆的CP基因序列聚类分析, 江苏8个地点的BYDV与韩国的BYDV-PAV株系相对近缘。这是首次发现江苏小麦上的大麦黄矮病毒为PAV株系。

**关键词:** 小麦; 大麦黄矮病毒 PAV 株系; 江苏

中图分类号: S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)08-1033-08

## Pathogenic Identification and Evolutionary Analysis of Barley Yellow Dwarf Virus Strain on Wheat in Jiangsu

DONG Yan<sup>1</sup>, LI Shuo<sup>1</sup>, MIAO Qian<sup>1</sup>, JIN Daoran<sup>1</sup>, YANG Rongming<sup>2</sup>, JI Yinghua<sup>1</sup>

(1. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China;

2. Plant Protection and Quarantine Station of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

**Abstract:** An investigation on wheat disease in Jiangsu Province was carried out and the samples showed that the tip of the flag leaf expanded to the leaf base and became yellow, and the yellowing accounted for about 1/3 to 1/2 of the whole leaf, which was very similar with the symptoms induced by barley yellow dwarf viruses (BYDV). In order to detect and identify the possible virus associated with the disease, the samples were collected from eight locations in Jiangsu province. A total of 261 samples were detected with various wheat viruses using RT-PCR and 182 samples were found positive when a pair of degenerate primers for BYDV was used. The result of sequence analysis revealed that the virus shared the highest sequence identities with BYDV-PAV. The positive samples were further detected using specific primers for BYDV-PAV coat protein gene (CP) and the results showed that all samples were positive. Further phylogenetic analysis based on the sequence of BYDV-PAV CP gene revealed that the virus detected shared the highest sequence identities with the isolates from Korea. This is the first report of barley yellow dwarf virus-PAV in Wheat grown in Jiangsu province, China.

**Keywords:** Wheat; Barley yellow dwarf viruses-PAV; Jiangsu

小麦是重要的粮食作物, 中国是全球小麦主产区之一<sup>[1]</sup>。小麦黄矮病是由蚜虫传播大麦黄矮

病毒(barley yellow dwarf viruses, BYDVs)引起的一种病害<sup>[2]</sup>。感染此病毒后小麦从新叶叶尖开

始发黄,黄化部分约占全叶的 1/3~1/2,植株变矮,分蘖减少,严重影响小麦产量<sup>[3]</sup>。该病 1950 年在美国加利福尼亚的大麦植株上首次发现,1960 年在中国甘肃和陕西等地小麦田出现,1966—1984 年先后 6 次在中国小麦主产区暴发流行<sup>[4-5]</sup>。小麦黄矮病具有间歇性暴发流行的特点,遇到适宜条件会严重发生,受害小麦一般减产 20%~30%,严重时减产幅度可达到 50%,在个别田块甚至绝收<sup>[6-7]</sup>。

BYDVs 由蚜虫以循环型持久性方式传播,病毒粒子为正二十面体,无包膜,由正单链 RNA 基因组和外壳蛋白组成,是一种 +ssRNA 病毒<sup>[8]</sup>。BYDVs 经蚜虫传播可侵染 150 多种植物,不能通过汁液摩擦接种<sup>[9-10]</sup>。BYDVs 株系复杂,早期植物病毒学家以蚜虫传播特性的差异作为株系划分的标准,后来根据国际病毒分类委员会第 7 次报告,BYDVs 的不同株系已升级为种<sup>[6]</sup>。其中,BYDV-PAV、BYDV-PAS、BYDV-MAV、BYDV-GAV、BYDV-Ker II 和 BYDV-Ker III 属黄症病毒属 (*Luteovirus*);RPV 株系命名为 Cereal yellow dwarf virus-RPV (CYDV-RPV),并和 CYDV-RPS 和 Maize yellow dwarf virus-RMV (MYDV-RMV) 属马铃薯卷叶病毒属 (*Polerovirus*),BYDV-GPV 和 BYDV-SGV 暂未归类<sup>[11]</sup>。中国大麦黄矮病毒主要有 4 种,分别为 GAV、GPV、PAV 和 RMV,其中 GPV 为中国特有种<sup>[12-15]</sup>。

小麦黄矮病是世界小麦生产上最重要的病毒病害,也是中国小麦生产上的重要病害之一,被称为小麦的“黄色瘟疫”<sup>[15]</sup>。小麦黄矮病在中国华北、西北和东北地区发生较重<sup>[16-18]</sup>。在江苏,小麦黄矮病于 1999 年首次在大丰市发生,危害较严重,近年来尚未见到该病发生的相关报道<sup>[19]</sup>。江苏位于长江下游,地处南北交界处,是中国重要的小麦主产省之一。2022 年江苏省小麦种植面积为 237.7 万 hm<sup>2</sup>,位居全国第四;总产量 1 376.0 万 t,约占全国的 10%<sup>[20]</sup>。关注和监测江苏小麦病毒病害的发生,对于保障小麦安全生产至关重要。

江苏小麦上的病毒种类较多,常见的病毒有小麦黄花叶病毒 (WYMV)、中国小麦花叶病毒 (CWMV)、水稻黑条矮缩病毒 (RBSDV) 等<sup>[21-23]</sup>。2022 年春季对江苏小麦病毒病进行调查时发现,多地小麦表现出叶片黄化、部分植株矮化的病毒病症状,疑似大麦黄矮病毒感染,为明确其感染的病毒种类,对江苏省 8 个地点的小麦病毒病样品

进行田间采样,对其感染的病毒进行分子鉴定、序列分析以及系统进化分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试病样

病样为 2022 年采自江苏 8 个地点疑似病毒病症状的小麦植株材料,共 261 份,样本采集后用液氮冷冻存放于 -80 °C 冰箱保存,用于后续检测。

### 1.2 主要试剂

RNAiso Plus、反转录试剂盒 PrimerScript™ RT Master Mix、EX Taq 酶和克隆载体 pMD18-T 购置宝生物工程(大连)有限公司;2×Taq master Mix 购置南京诺唯赞生物科技公司;大肠杆菌 TOP 10 感受态细胞购自南京沃博生物公司。其他试剂均为国产分析纯,引物委托擎科生物有限公司合成。

### 1.3 RNA 提取和反转录

取保存于 -80 °C 冰箱中的小麦病叶 100 mg 于 2.0 mL 振荡管中,加入磁珠液氮冷冻振荡成粉末,采取 Trizol 法<sup>[24]</sup>提取总 RNA,提取后直接反转录或放于 -80 °C 冰箱保存备用。

以病样总 RNA 为模板,用 PrimeScript™ RT Master Mix 试剂盒反转录合成 cDNA,在 10 μL 反转录体系中加入 5×PrimeScript™ RT Master Mix 缓冲液 2 μL 和 500 ng RNA,用无核酶 ddH<sub>2</sub>O 补足到 10 μL,37 °C 15 min,85 °C 5 s,反应结束后,置于 -20 °C 冰箱中保存备用。

### 1.4 大麦黄矮病毒检测

根据已报道的大麦黄矮病毒序列设计通用引物 Lu-1 和 Lu-4(表 1),以反转录获得的 cDNA 为模板进行 PCR 扩增。PCR 反应体系:2×Taq Master Mix 10 μL,ddH<sub>2</sub>O 7 μL,上下游引物各 1 μL,cDNA 1 μL,总体系 20 μL;反应程序:95 °C 变性 3 min;95 °C 15 s,47 °C 15 s,72 °C 30 s,34 个循环;72 °C 延伸 10 min,4 °C 保存。PCR 产物经 1% 琼脂糖凝胶电泳分离,拍照统计,将所有阳性 PCR 产物送通用生物系统(安徽)有限公司进行测序。

### 1.5 BYDV CP 基因克隆

测序结果已经明确感染江苏小麦上的病毒种类为 BYDV-PAV,根据网上已公开的国内以及国外的 BYDV-PAV 株系的 CP 基因来设计大麦黄矮病毒外壳蛋白基因全长引物 PAV-CP-F 和 PAV-

表 1 黄症病毒属通用引物和外壳蛋白(CP)基因特异引物

Table 1 Universal primer of lute virus and specific primers of coat protein gene

引物名称 Name	引物序列(5'-3') Sequence	片段大小 Length/bp
Lu-1	CCAGTGGTTRTGGTC	531
Lu-4	GTCTACCTATTTGG	
PAV-CP-F	ATGAATTCAGTAGGCCGTAG	600
PAV-CP-R	CTATTTGGCAGTCATTAGATG	

CP-R(表 1),利用该引物对阳性样品进行 RT-PCR 检测,反应体系同上。扩增程序:94 °C 5 min;94 °C 45 s,47 °C 45 s,72 °C 55 s,循环 34 次;72 °C 延伸 10 min,4 °C 保存。PCR 产物经 1%琼脂糖凝胶电泳检测,目的片段回收纯化后,与 pMD18-T 载体 16 °C 过夜连接,连接产物经热激法转化大肠杆菌 TOP10 感受态细胞,并涂布到含有氨苄青霉素的 LB 平板上,37 °C 过夜培养,挑取平板上的单克隆菌落进行 PCR 和酶切验证,阳性克隆送通用生物系统(安徽)有限公司进行测序。

1.6 序列分析

序列测定完成后根据扩增引物去除两端冗余序列,将获得的序列在 NCBI 网站进行 BLAST 比对(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/>),明确相关序列信息。序列多重比对和同源性分析使

用 ClustalX、BioEdit 和 DNASTar 软件完成,聚类分析及进化树构建采用 MEGA6 软件的邻近法(neighbor-joining)完成,进化树的可信度使用 1 000 次自导复制(bootstrap)进行验证。

2 结果与分析

2.1 田间病株症状

2022 年春季对江苏各地小麦病毒病调查发现,小麦出现疑似病毒感染。发病小麦的叶片变黄,黄化症状从新叶叶尖渐向叶基扩展,黄化部分占全叶 1/3~1/2,植株未见明显矮化(图 1)。在田间调查过程中,发现类似发病情况在江苏多个小麦种植区均有发生,选择 6 市 8 地发病田块进行采样,累计采集样品 261 份(表 2)。

2.2 大麦黄矮病毒的检测

对江苏地区 6 市 8 地采集的样品提取总 RNA,利用大麦黄矮病毒通用引物进行 RT-PCR 检测,8 个地点中均有样品可扩增出与预期目的条带大小(531 bp)相近的条带(图 2),初步表明田间采集的小麦样品中可能伴随有 BYDV 感染。将 182 份阳性 PCR 产物进行测序,序列比对结果显示,各地病样扩增序列基本一致,与 BYDV-PAV GJ1 分离物(Genbank 登录号:LC550014)的核苷酸序列相似性均高于 98%,说明采集自江苏各地小麦病样中检测到的病毒是 BYDV-PAV。



图 1 小麦受害症状

Fig. 1 Symptoms of the virus-infected wheat

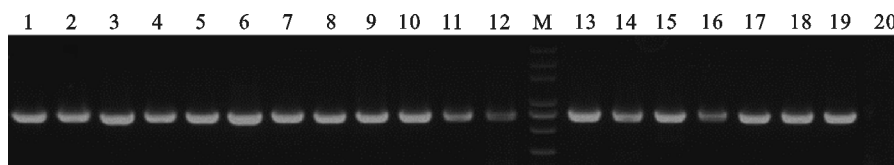


图 2 淮安洪泽 20 份小麦病样中 BYDV 的检测结果

Fig. 2 RT-PCR detection of BYDV in 20 diseased wheat plants in Hongze of Huai'an

从 182 份阳性样品来源看,扬州应宝、淮安洪泽、徐州丰县 3 的阳性率均最高,均在 95% 以上,其余各地样品阳性率为 30%~80%(表 2),说明江苏各地小麦感染 BYDV-PAV 较为普遍,BYDV-PAV 是江苏地区大麦黄矮病毒的优势种群。

2.3 大麦黄矮病毒 CP 基因的克隆和序列分析

为了进一步确认检测到的病毒为 BYDV-

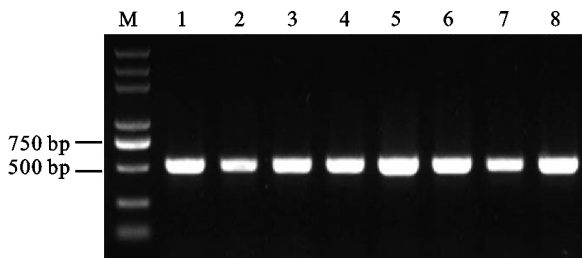
PAV 并进行序列分析,利用针对 BYDV-PAV 外壳蛋白基因设计的特异引物,从每个地点选择 4 个阳性样品再次检测,32 检测样本均可扩增到与目的条带大小(600 bp)相近的条带(图 3),证明该病毒就是 BYDV-PAV。

将各分离物扩增的 CP 基因片段进行回收和基因克隆,并全部测序,并对获得的序列信息进行

表 2 小麦中大麦黄矮病毒检测结果统计

Table 2 Statistics of detection results of barley yellow dwarf virus in wheat

地点 Location	分离物 Isolate	采样时间(月-日) Sampling time (month-day)	品种 Variety	份数 Sample number	阳性样本数 Positive sample number	阳性率 Positive rate/%
南京 Nanjing	NJ	4-25	—	56	30	53.6
扬州宝应 Baoying, Yangzhou	YZBY	4-26	扬麦 23 Yangmai 23	65	64	98.5
泰州靖江 Jingjiang, Taizhou	TZJJ	4-26	宁麦 13 Ningmai 13	30	12	40.0
淮安洪泽 Hongze, Huai'an	HAHZ	4-27	扬麦 25 Yangmai 25	20	19	95.0
淮安漕运 Caoyun, Huai'an	HACY	4-28	郑麦 9023 Zhengmai 9023	10	8	80.0
徐州丰县 Fengxian, Xuzhou	XZFX	4-28	高麦 6 号 Gaomai 6	30	29	96.7
宜兴新街 Xinjie, Yixing	YXXJ	4-30	扬辐麦 11 Yangfumai 11	30	9	30.0
宜兴徐舍 Xushe, Yixing	YXXS	4-30	宁麦 13 Ningmai 13	20	15	75.0
合计 Total				261	182	



M: Marker; 1~8 分别为南京、扬州宝应、泰州靖江、淮安洪泽、淮安漕运、徐州丰县、宜兴新街和宜兴徐舍各选的 1 个代表样品。

M: Marker; 1—8 refer to the representative samples from Nanjing, Baoying of Yangzhou, Jingjiang of Taizhou, Hongze of Huai'an, Caoyun of Huai'an, Fengxian of Xuzhou, Xinjie of Yixing and Xushe of Yixing, respectively.

图 3 大麦黄矮花叶病毒 CP 基因的克隆

Fig. 3 Cloning of BYDV-CP gene

分析,结果发现,8 个地点的 CP 基因序列全长均为 600 bp,编码一个由 199 个氨基酸组成、相对分子量约为 22 kD 的蛋白。序列比对显示,8 个地点的 BYDV-PAV 分离物核苷酸序列之间同源性高达 99.52%。为进一步分析其分类地位,使用 ClustalX 软件将本研究获得的 8 个地点的分离物

CP 基因序列和已公布的 BYDV 不同株系和分离物 CP 基因序列进行对比,发现 8 个地点的分离物与韩国的 BYDV-PAV 分离物(包括 SW1、GJ1、Sacheon 和 21IS2)同源性最高,为 99.33%~100%(表 3)。

利用 MEGA6 软件将 8 个地点的 BYDV-PAV 分离物 CP 基因序列与已公布的 BYDV CP 基因序列进行系统进化分析。结果(图 4)发现,BYDV 在基于 CP 基因序列的系统进化树中分为三组,第一组包括 BYDV-PAV 和 BYDV-PAS,第二组包括 BYDV-Ker II、BYDV-Ker III、BYDV-MAV、BYDV-GAV 和 BYDV-SGV,第三组为 BYDV-RMV、BYDV-GPV、BYDV-RPV 和 BYDV-RPS。本研究获得的 8 个地点的分离物全部聚类到第一组内由 BYDV-PAV 构成的小分支中,进一步说明导致江苏小麦黄矮病的病原为 BYDV-PAV。在第一组内 8 个地点的分离物与韩国和中国河南分离物高度近缘,构成 1 个分支,而与来自欧美、西亚的 PAV 分离物相对远缘,后者与 PAS 分离物构成 1 个分支。

表 3 8 个地点分离物 CP 基因与已公布的 BYDV CP 基因的核苷酸序列同源性  
Table 3 Homology between CP gene sequence of eight samples and published CP gene sequence of BYDV

登录号 ID	株系 Line	分离物 Isolate	来源 Source	基因同源性 Gene homology/%								
				南京 Nanjing	扬州宝应 Baoying, Yangzhou	泰州靖江 Jingjiang, Taizhou	淮安洪泽 Hongze, Huai'an	淮安漕运 Caoyun, Huai'an	徐州丰县 Fengxian, Xuzhou	宜兴新街 Xinjie, Yixing	宜兴徐舍 Xushe, Yixing	
LC637417.1	PAV	21IS2	韩国 South Korea	99.17	99.67	99.33	99.33	99.67	99.50	99.33	99.67	
MF693133.1	PAV	Sacheon	韩国 South Korea	99.00	99.50	98.83	99.50	99.17	99.00	98.83	99.17	
LC637415.1	PAV	21HN2	韩国 South Korea	99.00	99.83	99.17	99.50	99.50	99.33	99.17	99.50	
LC567417.1	PAV	SW1	韩国 South Korea	99.83	98.67	98.67	99.00	99.00	99.83	98.67	98.67	
MN648440.1	PAV	HNY19	中国河南 Henan, China	99.50	98.33	98.33	99.00	98.67	98.50	98.33	98.67	
LC550014.1	PAV	GJ1	韩国韩国 South Korea	99.17	99.93	99.33	99.00	100.00	99.83	99.33	99.33	
AY855920.1	PAV	China	中国北京 Beijing, China	96.33	95.83	96.17	96.17	96.17	96.00	96.17	96.17	
EU332315.1	PAV	05WN1	中国渭南 Weinan, China	91.33	91.50	92.00	91.17	91.83	91.67	92.00	91.17	
MZ612011.1	PAS	TR60-S51	土耳其 Turkey	82.09	81.59	81.76	81.76	81.76	81.92	81.76	81.76	
MN128939.1	PAS	Olustvere2-W	美国俄亥俄州 Ohio, USA	80.60	80.43	80.27	80.43	80.43	80.27	80.43	80.27	
EU332332.1	PAV	06KM14	中国昆明 Kunming, China	80.43	80.10	79.93	80.43	80.10	79.93	79.93	80.10	
EU332313.1	PAV	06KM14	中国天水 Tianshui, China	80.43	80.10	79.93	80.43	80.10	79.93	79.93	80.10	
EF521841.1	PAV	052	瑞典 Sweden	80.43	80.43	80.27	80.76	80.43	80.27	80.27	80.43	
MK962883.1	PAV	Australia	澳大利亚 Australia	80.27	79.93	79.77	80.27	79.93	79.77	79.77	79.93	
MT345894.1	PAV	BR	巴西 Brazil	81.09	80.76	80.60	81.09	80.76	80.60	80.60	80.76	
MW916321.1	PAV	TR19	土耳其 Turkey	81.09	80.76	80.60	81.09	80.76	80.60	80.60	80.76	
KT252978.1	PAV	Mz47	巴基斯坦 Pakistan	80.93	80.60	80.43	80.93	80.60	80.43	80.43	80.60	
D85783.1	PAV	JPN	日本 Japan	80.43	80.10	79.93	80.43	80.10	79.93	79.93	80.10	
EU332328.1	PAV	06GY1	中国贵阳 Guiyang, China	79.77	79.17	79.60	80.10	79.77	79.60	79.60	79.77	
MK012661.1	PAV	Olustvere1-B	爱沙尼亚 Estonia	79.93	79.93	79.77	80.27	79.93	79.77	79.77	79.93	
EF521849.1	PAV	0120	美国加州 California, USA	80.27	79.93	79.77	80.27	79.93	79.77	79.77	79.93	
KP771878.1	PAV	Kerman	伊朗 Iran	79.93	79.60	79.44	79.93	79.60	79.44	79.44	79.60	
AY541039.1	SGV		美国 USA	59.17	58.67	60.33	59.67	60.00	59.83	60.33	59.67	
KC559092.1	Ker-III	K460	法国 France	71.69	71.52	71.52	71.52	71.36	71.19	71.52	71.36	
KC571999.1	Ker-II	K439	法国 France	72.83	72.50	72.50	72.67	72.50	72.33	72.50	72.67	
DQ115528.1	MAV	CA	美国加州 California, USA	74.00	74.00	74.17	74.17	74.00	73.83	74.17	73.83	
GU002360.1	MAV	O1LU	新西兰 New Zealand	63.00	62.67	63.00	62.83	63.00	63.00	63.00	62.50	
KF523382.1	GAV	TS1	中国天水 Tianshui, China	74.00	74.00	74.00	74.17	74.00	73.83	74.00	73.83	
MK012662.1	GAV	Jogeva3	爱沙尼亚 Estonia	73.83	73.50	77.83	73.67	73.83	73.67	77.83	73.33	
AJ563417.1	MAV	Storvreta2	瑞典 Sweden	63.00	62.67	63.00	62.83	63.00	63.00	63.00	62.50	
KC921392.1	RMV	MTFE87	美国 USA	51.58	51.74	51.58	51.74	51.58	51.74	51.58	51.58	
NC_021484.1	RMV	MTFE87	美国 USA	51.58	52.07	51.58	51.74	51.58	51.74	51.58	51.58	
FM865413.1	GPV	Triticum aestivum	中国河南 Henan, China	54.58	54.08	54.41	54.41	54.25	54.41	54.41	54.48	
LC590227.1	RPV	JE	韩国 South Korea	50.00	50.32	50.16	50.32	49.84	50.00	50.16	50.16	
MK012664.1	RPS	Olustvere1-O	爱沙尼亚 Estonia	51.61	51.93	52.09	51.61	52.09	52.25	52.09	51.77	
MN241034.1	RPV	OH1	美国俄亥俄州 Ohio, USA	52.37	52.33	52.01	52.01	52.33	52.50	52.01	52.01	
GU002338.1	RPV	RL1	新西兰 New Zealand	46.00	46.17	46.33	45.83	46.33	46.33	46.33	46.17	

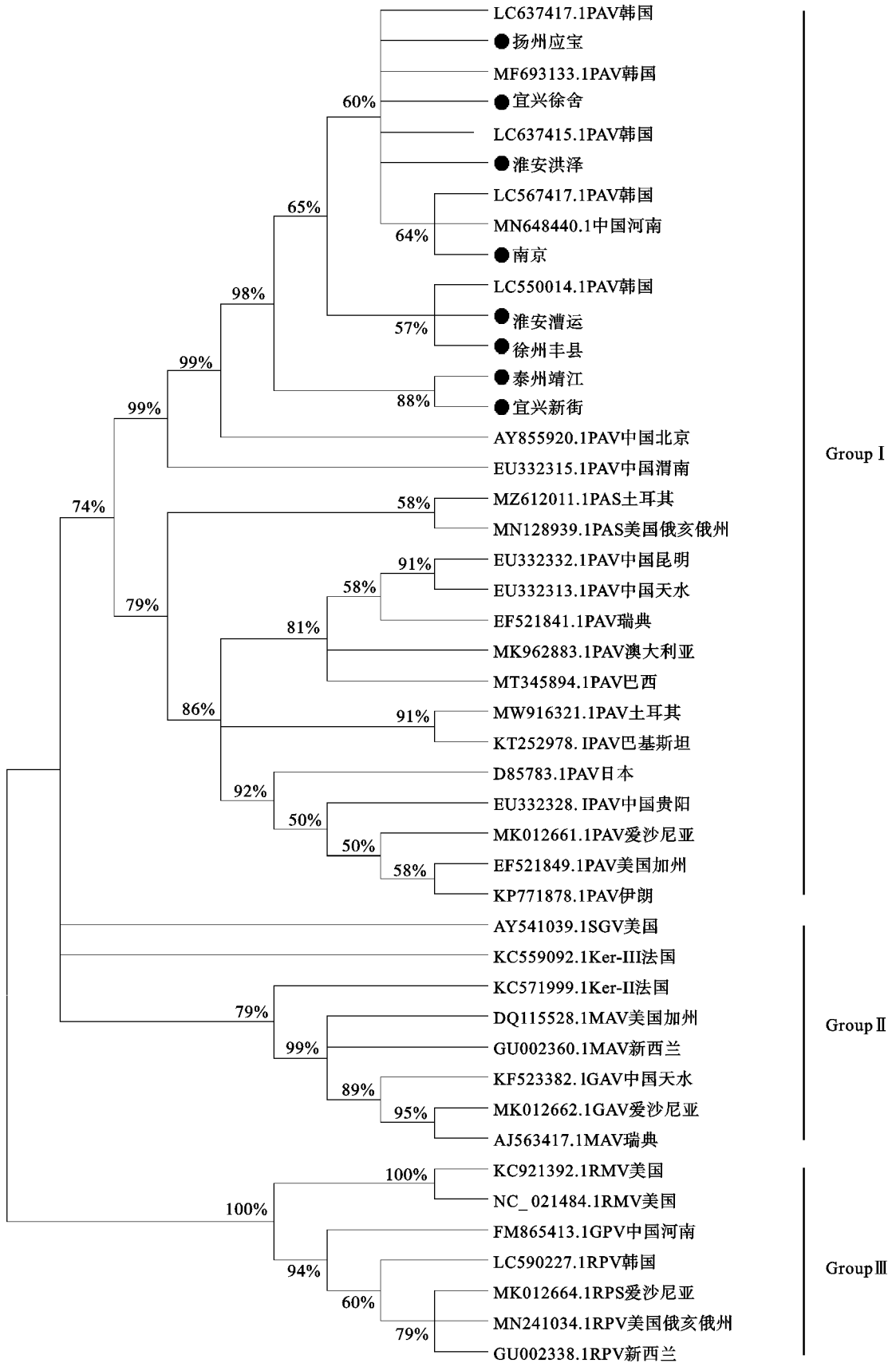


图 4 BYDV CP 基因核苷酸序列一致性构建系统进化树

Fig. 4 Phylogenetic tree of CP gene of BYDV based on nucleotide sequence consistency

### 3 讨论

2022年春季,江苏多地小麦上出现了叶片变黄等疑似小麦黄矮病的症状。本研究对江苏省出现此类症状的小麦进行了采样及病原分子检测和鉴定,结果发现,各地样品中均可以检测出BYDV,检出率30.0%~98.5%。经测序分析,检出的BYDV种类均为BYDV-PAV,说明江苏各地小麦感染BYDV-PAV较为普遍,BYDV-PAV是江苏地区大麦黄矮病毒的优势种群。系统进化分析显示,8个BYDV-PAV江苏分离物与韩国的5个分离物(GJ1、21IS2、21HN2、Sacheon和SW1)以及中国河南分离物(HNYY19)高度同源,与来自欧美和西亚的PAV分离物亲缘性相对较远。除了BYDV-PAV,作者实验室还在泰州靖江样品中检测出马铃薯卷叶病毒属的甜菜西方黄化病毒(beet western yellow virus)<sup>[25]</sup>,检出率较低,说明江苏小麦上还存在其他蚜传病毒的感染,但不是主要病毒种类。

小麦黄矮病是由蚜虫传播BYDV引起。小麦蚜虫是中国小麦主要害虫之一,主要类型包括麦长管蚜、麦二叉蚜、禾谷缢管蚜等,但以麦长管蚜和麦二叉蚜发生数量最多,危害最重,不仅以成虫和若虫直接刺吸危害,还可以传播多种小麦病毒病,其中以传播的小麦黄矮病危害最大<sup>[23]</sup>。中国BYDVs主要有4种类型,分别为GAV、GPV、PAV和RMV,它们在小麦植株上引起的危害症状基本一致,主要差异体现在传播病毒的媒介昆虫方面。BYDV-GAV由麦二叉蚜和麦长管蚜传播,BYDV-GPV由麦二叉蚜和禾谷缢管蚜传播,BYDV-PAV可由禾谷缢管蚜、麦长管蚜和麦二叉蚜传播,而BYDV-RMV则由玉米蚜传播<sup>[26-29]</sup>。可见,BYDV-PAV的蚜虫介体种类最为宽泛。

1999年小麦黄矮病曾在江苏的大丰市报道发生,但当时没有确定BYDV的种类(株系),因此本研究是首次报道BYDV-PAV在江苏发生。BYDV-PAV是BYDV家族中最流行和最具破坏性的一种<sup>[30-31]</sup>,几乎可侵染所有禾科植物,潜在感染源超过150种<sup>[32]</sup>。本研究的结果提示BYDV-PAV已在江苏多地农田系统中轻度流行,是目前江苏小麦生产上最重要的蚜传病毒。根据近年来江苏省农作物主要病虫害发生趋势,一类病虫害小麦蚜虫在局部偏重发生,适生等级为3级,年均发生面积接近133.33万hm<sup>2</sup><sup>[33]</sup>。小麦蚜虫的大

面积发生是小麦黄矮病流行的重要原因,在生产上应对这类病毒的危害及小麦蚜虫发生量密切关注,防止该病毒的扩散以减少其对小麦生产造成的损失。

寄主植物抗性是一种环境友好、高效和经济的工具,可以减少作物因蚜虫、病毒等生物胁迫因素造成的损失。小麦中的*Bdv1*、*Bdv2*、*Bdv3*和*Bdv4*为BYDV-PAV的抗性基因<sup>[34-35]</sup>,但目前江苏省主栽品种对BYDV-PAV的抗性尚不清楚,因此BYDV-PAV的发生有对江苏省小麦生产造成进一步严重影响的可能。寄主植物和病毒的亲和度是病害暴发流行的因素之一,所以明确病毒种类(株系)至关重要。本研究明确了BYDV-PAV是目前江苏小麦生产上最优势的蚜传病毒,这对于该地区病毒病的测报、育种材料筛选、小麦主栽品种选择都具有重要参考价值。

#### 参考文献:

- [1]马鸿翔,王永刚,高玉姣,等.小麦抗赤霉病育种回顾与展望[J].中国农业科学,2022,55(5):837.  
MA H X, WANG Y G, GAO Y J, *et al.* Review and prospect on the breeding for the resistance to *Fusarium head blight* in wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(5): 837.
- [2]WANG L, ZHANG K, WANG Z, *et al.* Appropriate reduction of importin- $\alpha$  gene expression enhances yellow dwarf disease resistance in common wheat [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2024, 22(3): 572.
- [3]MILLER AND W A, RASOCHOVÁ L. Barley yellow dwarf viruses [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1997, 35: 167.
- [4]周靖华,刘延虹,卫军峰.陕西省1999年小麦黄矮病严重发生[J].植保技术与推广,2000,20(3):41.  
ZHOU J H, LIU Y H, WEI J F. Wheat yellow dwarf disease occurred seriously in Shaanxi Province in 1999 [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 2000, 20(3): 41.
- [5]OSWALD J W, HOUSTON B R. The yellow-dwarf virus disease of cereal crops [J]. *Phytopathology*, 1953, 43: 128.
- [6]王锡锋,刘艳,韩成贵,等.我国小麦病毒病害发生现状与趋势分析[J].植物保护,2010,36(3):13.  
WANG X F, LIU Y, HAN C G, *et al.* Present situation and development strategies for the research and control of wheat viral diseases [J]. *Plant Protection*, 2010, 36(3): 13.
- [7]张文斌,安德荣,任向辉.中国小麦黄矮病的发生及综合防控研究进展[J].麦类作物学报,2009,29(2):361.  
ZHANG W B, AN D R, REN X H. Progress on occurrence and integrated control of wheat yellow dwarf disease in China [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29(2): 361.
- [8]SMIRNOVA E, FIRTH A E, MILLER W A, *et al.* Discovery of a small non-AUG-initiated ORF in poleroviruses and luteoviruses that is required for long-distance movement [J]. *PLoS Pathogens*, 2015, 11(5): e1004868.
- [9]张淑香,周广和.一种由麦二叉蚜、禾缢管蚜非专业化性传毒的小麦黄矮病毒株系鉴定[J].植物病理学报,1987,17(2):102.  
ZHANG S X, ZHOU G H. Identification on strain of wheat yellow dwarf virus (WYDV) transmitted by *Schizaphis*

- graminum* and *Rhopalosiphum padi* [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1987, 17(2): 102.
- [10] OSWALD J W, HOUSTON B R. A new virus disease of cereals, transmissible by aphids [J]. *Plant Disease Reporter*, 1951: 471.
- [11] 胡汝检, 赵添羽, 左登攀, 等. 大麦黄矮病毒 PAV 青海分离物运动蛋白抗血清制备及其与同属 BYDVs 的血清学关系 [J]. *植物病理学报*, 2020, 50(2): 141.
- HU R J, ZHAO T Y, ZUO D P, *et al.* Antiserum preparation of the movement protein of Barley yellow dwarf virus PAV Qinghai isolate and its serological relationship with other BYDVs [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2020, 50(2): 141.
- [12] 周广和, 张淑香, 钱幼亭. 小麦黄矮病毒 4 种株系鉴定与应用 [J]. *中国农业科学*, 1987, 20(4): 7.
- ZHOU G H, ZHANG S X, QIAN Y T. Identification and application of four strains of wheat yellow dwarf virus [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1987, 20(4): 7.
- [13] WANG X, CHANG S, JIN Z, *et al.* Nucleotide sequences of the coat protein and read through protein genes of the Chinese GAV isolate of barley yellow dwarf virus [J]. *Acta Virologica*, 2001, 45(4): 249.
- [14] 洪健, 谢礼, 张仲凯, 等. ICTV 最新十五级分类阶元病毒分类系统中的植物病毒 [J]. *植物病理学报*, 2021, 51(2): 143.
- HONG J, XIE L, ZHANG Z K, *et al.* Plant viruses in the new 15-rank taxonomic system of ICTV [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2021, 51(2): 143.
- [15] 周广和, 成卓敏, 王锡锋. 我国小麦黄矮病原研究进展 [J]. *云南农业大学学报: 自然科学*, 2003, 18(4): 143.
- ZHOU G H, CHENG Z M, WANG X F. Progress on pathogen of wheat yellow dwarf disease in China [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2003, 18(4): 143.
- [16] 曹亚萍, 张明义, 乔合心, 等. 冬小麦黄矮病抗性的遗传分析 [J]. *麦类作物学报*, 2000, 20(4): 12.
- CAO Y P, ZHANG M Y, QIAO H X, *et al.* Genetic analysis on character of the resistance to BYDV in wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2000, 20(4): 12.
- [17] 张文斌, 任向辉, 安德荣, 等. 几种药剂对小麦黄矮病的防治效果 [J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(5): 930.
- ZHANG W B, REN X H, AN D R, *et al.* Control effect of several agrochemicals on wheat yellow dwarf [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29(5): 930.
- [18] 李娟, 何振才, 任福平, 等. 西北地区小麦黄矮病流行分析及人工神经网络模型的构建 [J]. *植物保护学报*, 2010, 37(3): 261.
- LI J, HE Z C, REN F P, *et al.* Analysis of the wheat yellow dwarf epidemic and its predicting model of BP neural network in Northwestern China [J]. *Journal of Plant Protection*, 2010, 37(3): 261.
- [19] 金中时, 陈标, 刘春民, 等. 小麦黄矮病首次在大丰市严重发生 [J]. *植保技术与推广*, 1999, 19(5): 41.
- JIN Z S, CHEN B, LIU C M, *et al.* Wheat yellow dwarf disease occurred seriously in Dafeng city for the first time [J]. *Plant Protection Technology and Extension*, 1999, 19(5): 41.
- [20] 马鸿翔, 顾克军, 陈怀谷. 小麦产业关键实用技术 100 问 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 1-3.
- MA H X, GU K J, CHEN H G. 100 questions on key practical technologies of wheat industry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 1-3.
- [21] 刘欢, 李娜, 周雪平, 等. 中国小麦花叶病毒 (CWMV) 单克隆抗体制备及其检测应用 [J]. *农业生物技术学报*, 2015, 23(6): 711.
- LIU H, LI N, ZHOU X P, *et al.* Development of monoclonal antibodies against chinese wheat mosaic virus (CWMV) and their application [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2015, 23(6): 711.
- [22] 燕飞, 孙丽英, 尚佑芬, 等. 我国粮食作物病毒病发生与防控现状 [J]. *植物保护*, 2013, 39(5): 33.
- YAN F, SUN L Y, SHANG Y F, *et al.* Occurrence of cereal viral diseases and their control in China [J]. *Plant Protection*, 2013, 39(5): 33.
- [23] 王锡锋, 刘艳, 韩成贵, 等. 我国小麦病毒病害发生现状与趋势分析 [J]. *植物保护*, 2010, 36(3): 13.
- WANG X F, LIU Y, HAN C G, *et al.* Present situation and development strategies for the research and control of wheat viral diseases [J]. *Plant Protection*, 2010, 36(3): 13.
- [24] 吴淑华, 赵文浩, 李廷芳, 等. 南京辣椒上一种斑驳类型病毒病的分子鉴定 [J]. *江苏农业学报*, 2015, 31(6): 1284.
- WU S H, ZHAO W H, LI T F, *et al.* Molecular identification of a virus causing mottle symptoms in pepper leaves in Nanjing [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31(6): 1284.
- [25] JIN D, YANG R, PIAO J, *et al.* First Report of Beet western yellows virus Infecting Wheat in China [J]. *Plant Disease*, 2023. DOI: 10.1094/PDIS-03-23-0606-PDN.
- [26] ROCHOW W F. Biological properties of four isolates of barley yellow dwarf virus [J]. *Phytopathology*, 1969, 59(11): 1580.
- [27] ZHOU C M, HE X Y, WU M S, *et al.* Nucleotide sequence of coat protein gene for GPV isolate of barley yellow dwarf virus and construction of expression plasmid for plant [J]. *Science in China (Series C: Life Sciences)*, 1996, 39(5): 534.
- [28] WANG X, CHANG S, JIN Z, *et al.* Nucleotide sequences of the coat protein and readthrough protein genes of the Chinese GAV isolate of barley yellow dwarf virus [J]. *Acta Virologica*, 2001, 45(4): 249.
- [29] WANG M B, CHENG Z, KEESE P, *et al.* Comparison of the coat protein, movement protein and RNA polymerase gene sequences of Australian, Chinese, and American isolates of barely yellow dwarf virus transmitted by *Rhopalosiphum padi* [J]. *Archives of Virology*, 1998, 143(5): 1005.
- [30] JAROŠOVÁ J, CHRPOVÁ J, ŠÍP V, *et al.* A comparative study of the *Barley yellow dwarf virus* species PAV and PAS: Distribution, accumulation and host resistance [J]. *Plant Pathology*, 2013, 62(2): 436.
- [31] CHOUDHURY S, HU H, LARKIN P, *et al.* Agronomical, biochemical and histological response of resistant and susceptible wheat and barley under BYDV stress [J]. *PeerJ*, 2018, 6: e4833.
- [32] LIU F, WANG X, LIU Y, *et al.* A Chinese isolate of barley yellow dwarf virus-PAV represents a third distinct species within the PAV serotype [J]. *Archives of Virology*, 2007, 152(7): 1365.
- [33] 束林华. 2022 年江苏省小麦秋播生产技术指导意见 (中) [J]. *农家致富*, 2022(20): 22.
- SHU L H. Technical guidance of wheat autumn sowing production in Jiangsu Province in 2022 ( II ) [J]. *Farmer's Enrichment*, 2022(20): 22.
- [34] SINGH R P, BURNETT P A, ALBARRÁN M, *et al.* *Bdv1*: A gene for tolerance to barley yellow dwarf virus in bread wheats [J]. *Crop Science*, 1993, 33(2): 231.
- [35] AYALA L, HENRY M, VAN GINKEL M, *et al.* Identification of QTLs for BYDV tolerance in bread wheat [J]. *Euphytica*, 2002, 128(2): 249.