DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0116

# 西瓜果实中 10 种农药残留降解速率预测模型的研究与构建

马 磊[1],沈 琦[2,3],杨卫君[1],郗政棋[4],赵婉莹[5],盘菊秀[2,3],何伟忠[2,3],王 成[3]

(1.新疆农业大学农学院 乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业科学院农业质量标准与检测技术研究所·农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(乌鲁木齐)·农业农村部荒漠绿洲生态区特色农产品功能营养与健康重点实验室(部省共建) 乌鲁木齐 830091; 3.新疆农业科学院 乌鲁木齐 830091; 4.新疆标检产品检测认证有限公司 乌鲁木齐 830000; 5.新疆农业大学食品科学与药学学院 乌鲁木齐 830052)

**摘 要:**为构建西瓜果实中 10 种农药残留降解速率预测模型,以金城 25 号为试验材料,在新疆哈密市、乌鲁木齐市、疏勒县设置试验点,于果实膨大期喷施农药,采集喷施 10 种农药后 2 h、7 d、14 d 的西瓜果实样品,使用超高效液相色谱串联质谱仪、气相色谱仪分析样品中 10 种农药的残留水平,并结合环境气候数据服务平台上对应时间段的气压、风速、温度、湿度等 8 项气象因子,通过可视化 PLS 分析,开展西瓜果实 10 种农药残留降解速率预测模型的研究与探讨。结果表明,不同时间段西瓜果实中 10 种农药残留消解速率存在差异,其中 2 h~7 d 消解速率高于 7~14 d,2 h~7 d 西瓜果实 10 种农药残留消解速率与 8 项气象因子间的多元线性方程 $Q^2$ 极大值为 0.978,$Q^2$ 极小值为 0.512,影响 10 种农药残留降解速率的主要气象因子为日照时长、降水量、最大风速、极大风速;构建的 7~14 d 西瓜果实 10 种农药残留消解速率多元线性方程 $Q^2$ 极大值为 0.971,极小值为 0.706,主要影响因子为日照时长、降水量、最大风速、极大风速及相对湿度。综上,模型可表征气象因子与西瓜果实 10 种农药降解速率间的拟合关系,本研究结果可为西瓜果实 10 种农药残留水平的科学预判提供参考。

**关键词:**西瓜果实;农药残留;影响因子;预测模型

**中图分类号:**S651 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2026)10-061-13

# Research and construction of predictive models for the degradation rate of 10 pesticide residues in watermelon fruits

Ma Lei[1], Shen Qi[2, 3], Yang Weijun[1], Xi Zhengqi[4], Zhao Wanying[5], Pan Juxiu[2, 3], He Weizhong[2, 3], Wang Cheng[3]

(*1. College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; 2. Institute of Agricultural Quality Standards and Testing Technology, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences/Laboratory for Agricultural Product Quality and Safety Risk Assessment(Urumqi), Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Key Laboratory of Functional Nutrition and Health of Specialty Agricultural Products in Desert and Oasis Ecological Zones(Jointly Established by the Ministry and the Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830091, Xinjiang, China; 3. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang, China; 4. Xinjiang Biaojian Product Testing and Certification Co., Ltd., Urumqi 830000, Xinjiang, China; 5. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China*)

**Abstract:** To construct a predictive model for the degradation rates of 10 pesticides residue in watermelon fruits, the Jincheng No. 25 variety was used as the test material. Experimental sites were established in Hami city, Urumqi city, and Shule county, Xinjiang. Pesticides were applied during the fruit expansion stage, and watermelon fruit samples were collected 2 hours, 7 days, and 14 days after application. The residue levels of the 10 pesticides were analyzed using ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UHPLC-MS/MS) and gas chromatography

**收稿日期:**2026-02-04;**修回日期:**2026-04-30

**基金项目:**新疆维吾尔自治区重大科技专项(2022A02006-1);国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-25);新疆西甜瓜产业技术体系资助项目(XJARS-06)

**作者简介:**马 磊,男,在读硕士研究生,研究方向为作物高产栽培。E-mail:mlei0526@163.com

**通信作者:**何伟忠,男,研究员,研究方向为农产品品质及其质量安全控制技术。E-mail:hewei198112@126.com

王 成,男,研究员,研究方向为农产品质量安全及其功能营养特性。E-mail:wangcheng321@sina.com

(GC). Combining these data with eight meteorological factors, including atmospheric pressure, wind speed, temperature, and humidity from the Environmental Climate Data Service Platform for the corresponding time periods, we conducted research and analysis on a predictive model for the degradation rates of these 10 pesticide residues in watermelon fruits using visualized partial least squares (PLS) analysis. The results indicate that the degradation rates of the 10 pesticide residues in watermelon fruits differ across time periods; specifically, the degradation rates from 2 h to 7 d were higher than those from 7 to 14 d. The maximum value of the $Q^2$ statistic for the multiple linear equation relating the degradation rates of the 10 pesticide residues in watermelon fruits from 2 h to 7 d to the eight meteorological factors was 0.978, with a minimum $Q^2$ value of 0.512. The primary meteorological factors influencing the degradation rates of the 10 pesticide residues were duration of sunshine, precipitation, maximum wind speed, and peak wind speed; The $Q^2$ maximum for the multivariate linear equation constructed for the degradation rates of the 10 pesticide residues in watermelon fruits over 7–14 days was 0.971, and the minimum was 0.706; the primary influencing factors were duration of sunshine, precipitation, maximum wind speed, peak wind speed, and relative humidity. In summary, the model can characterize the relationship between meteorological factors and the degradation rates of the 10 pesticide residues in watermelon fruits. The results of this study can serve as a reference for the scientific prediction of the residue levels of these 10 pesticides in watermelon fruits.

**Key words:** Watermelon fruit; Pesticide residue; Influencing factor; Predictive model

西瓜作为我国重要的高附加值园艺类作物，在国内居民水果消费中占有极为重要的地位[1]。相关研究表明，农产品中90%以上的残留农药可通过食物链进入人体[2]，我国每年约有20万人因食用的农产品中农药残留超标而中毒[3]。西瓜生长过程中容易遭到病虫害的侵染，除草剂、杀虫剂、杀菌剂等化学农药的使用在病虫害综合防治中起到了非常重要的作用[4]。然而，农药的过度使用会对生态环境和食品安全造成不可逆的巨大危害。研究表明，西瓜果实中存在农药残留的情况，残留农药以嘧霉胺、多菌灵、啶虫脒、烯酰吗啉等为主，甲维盐、哒螨灵、三唑磷的风险较高[5]。研发构建西瓜果实中农药残留降解速率的预测模型，利于“防患于未然”，降低西瓜果实农药残留水平，提高消费安全保障能力。气象条件是影响农产品农药残留水平的重要因子，如降雨量是影响胡萝卜中敌敌畏残留消解水平的重要因子[6]，温度和光照强度均能提高油菜叶中啶虫脒、吡虫啉的消解速率[7]，新鲜水果和蔬菜中农药残留水平与最低和最高温度间存在相关性[8]，阳光、降水和温度是影响樱桃嘧啶威、三氟菌酯、吡唑醚菌酯、苯唑嗪、咯菌腈、环丙啶、戊唑醇和啶酰菌胺残留水平的重要因素[9]。关于西瓜果实农药残留水平与多项气象因子关联性的系统研究还未见报道。鉴于此，笔者团队在前期探讨分析新疆西瓜农药残留种类的基础上[10]，在哈密市、乌鲁木齐市、疏勒县布设了田间试验，采集增施10种农药后2 h、7 d、14 d的西瓜果实样品，通过超高效液相色谱串联质谱仪、气相色谱仪分析样品中10种农药的残留水平，进而结合对应的8项气象数据，采用可视化偏最小二乘(PLS)分析，开展西瓜果实10种农药残留降解速率预测模型的研究与构建，以期为西瓜果实农药残留水平的科学预测及预警提供数据参考与技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

根据新疆西瓜种植区域分布，结合区域气象条件的差异性，2023年在新疆哈密(编号为A)、乌鲁木齐(B~C)、疏勒县设置试验点(编号为D)，其中乌鲁木齐试验点分2批种植，种植时间分别为5月20日(编号为B)、6月15日(编号为C)，哈密和疏勒县试验点各种植1批，种植时间分别为5月8日和4月23日。上述试验点种植的西瓜品种为金城25号，由新疆农业科学院选育，每批次种植300株。参照GB/T 19557.27－2022《植物品种特异性(可区别性)、一致性和稳定性测试指南 西瓜》[11]进行种植和田间管理。

喷施的10种农药分别是甲维盐、哒螨灵、苯醚甲环唑、二嗪磷、阿维菌素、咪鲜胺、虫螨腈、甲氰菊酯、氯氰菊酯、氯氟氰菊酯，购买于当地农资市场。果实成熟前21 d按照推荐剂量施用。施用后分别于2 h、7 d、14 d采集西瓜果实样品进行农药残留检测。每次采集3~5个整瓜，果实经切分、匀浆后置于−18 ℃下冷冻备用。气压、降水量、平均温度、最大风速、极大风速、日照时长、0 cm地温及相对湿度8种气象数据通过环境气候数据服务平台查询获得。

### 1.2 残留农药检测方法

参照GB/T 20769－2008[12]对甲维盐、哒螨灵、

苯醚甲环唑、阿维菌素、咪鲜胺、虫螨腈6种农药残留进行定量，参照NY/T 761—2008[13]对二嗪磷、甲氰菊酯、氯氰菊酯、氯氟氰菊酯4种农药残留进行定量。

### 1.3　模型构建

为进一步探讨农药残留降解速率与气象因子间的关系，将气压、降水量、平均温度、最大风速、极大风速、日照时长、0 cm地温及相对湿度通过公式(1)进行归一化处理。

$$A=(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})；\quad (1)$$

$$Y_{(m)残留量}=Y_{2\ h\sim7\ d(m)降解速率}\times d_{天数}；\quad (2)$$

$$Y_{(m)残留量}=Y_{7\ d\sim14\ d(m)降解速率}\times d_{天数}。\quad (3)$$

式中，$X$为农药残留降解速率，$X_{max}$为测定指标的最大值，$X_{min}$为测定指标的最小值；$Y_{残留量}$为果实农药残留量，$Y_{降解速率}$为不同时间段果实农药残留消解速率，m为10种施用农药。

### 1.4　数据分析

采用SIMCA13.0进行正交偏最小二乘法(OPLS)、PLS分析，探讨不同西瓜果实农药残留水平与气象因子间的潜在关系；使用Origin2021绘制残留消解动态图。

## 2　结果与分析

### 2.1　西瓜果实样品农药残留水平的测定

表1为不同试验点西瓜果实样品的农药残留检测水平，甲维盐、哒螨灵、苯醚甲环唑、二嗪磷、阿维菌素、咪鲜胺、虫螨腈、甲氰菊酯、氯氰菊酯、氯氟氰菊酯10种农药中，残留极大值为0.658 320 mg·kg$^{-1}$。苯醚甲环唑、二嗪磷、咪鲜胺、氯氟氰菊酯4种农药残留检出率为100%，甲维盐、哒螨灵、阿维菌素、虫螨腈、甲氰菊酯、氯氰菊酯6种农药检出率分别为91.6%、48.0%、61.7%、55.0%、70.0%、26.7%。以上结果表明，相同农药因采集地点的不同，其残留水平存在差异。

### 2.2　不同试验点西瓜样品农药残留消解动态

喷药2 h、7 d、14 d后，10种农药残留的消解动态如图1所示。甲维盐、哒螨灵、苯醚甲环唑、二嗪磷、阿维菌素、咪鲜胺、虫螨腈、甲氰菊酯、氯氰菊酯、氯氟氰菊酯10种农药残留的消解速率均符合2 h~7 d高于7~14 d的趋势。2 h~7 d，B、C试验点样品二嗪磷、阿维菌素、咪鲜胺、苯醚甲环唑、虫螨腈5种农药残留消解速率高于A、D两个试验点，D试验点2 h~7 d的甲维盐、氯氰菊酯、氯氟氰菊酯3种农药残留消解速率高于A、B、C三个试验点。

**表1　西瓜样品农药残留情况**

**Table 1　Pesticide residue level in watermelon samples**

| 农药种类 Type of pesticide | 地区 Region | 残留水平 Residue level/(mg·kg$^{-1}$) |
|---|---|---|
| 甲维盐 Mebendazole | A | 0.000 003~0.000 124 |
| | B | 0.000 004~0.000 021 |
| | C | ND |
| | D | 0.000 007~0.000 026 |
| 哒螨灵 Dama Ling | A | ND |
| | B | ND~0.000 999 |
| | C | ND~0.001 780 |
| | D | ND~0.002 722 |
| 苯醚甲环唑 Benzoylmethylazole | A | 0.169 119~0.658 320 |
| | B | 0.000 325~0.001 528 |
| | C | 0.178 485~0.279 425 |
| | D | 0.008 356~0.125 472 |
| 二嗪磷 Diazinon | A | 0.000 044~0.000 452 |
| | B | 0.001 051~0.003 901 |
| | C | 0.000 341~0.006 896 |
| | D | 0.000 009~0.005 315 |
| 阿维菌素 Avermectin | A | ND~0.001 266 |
| | B | 0.003 368~0.141 823 |
| | C | 0.001 034~0.006 221 |
| | D | ND |
| 咪鲜胺 Prochloraz | A | 0.002 207~0.007 352 |
| | B | 0.042 452~0.109 587 |
| | C | 0.004 457~0.152 259 |
| | D | ND~0.005 901 |
| 甲氰菊酯 Fenpropathrin | A | ND |
| | B | ND~0.004 037 |
| | C | ND~0.012 465 |
| | D | 0.001 933~0.014 408 |
| 氯氰菊酯 Cypermethrin | A | ND~0.010 671 |
| | B | ND~0.004 037 |
| | C | ND~0.006 624 |
| | D | ND~0.027 386 |
| 氯氟氰菊酯 Cyfluthrin | A | ND~0.005 841 |
| | B | ND~0.009 469 |
| | C | 0.006 207~0.024 658 |
| | D | ND~0.013 909 |
| 虫螨腈 Pyridaben | A | ND |
| | B | ND~0.000 691 |
| | C | ND |
| | D | ND~0.018 331 |

注：ND表示未检测出。

Note: ND represents “not detected”.

### 2.3　不同试验点气候条件差异性分析

图2为不同试验点2 h~7 d气压、降水量、平均温度、最大风速、极大风速、日照时长、0 cm地温及

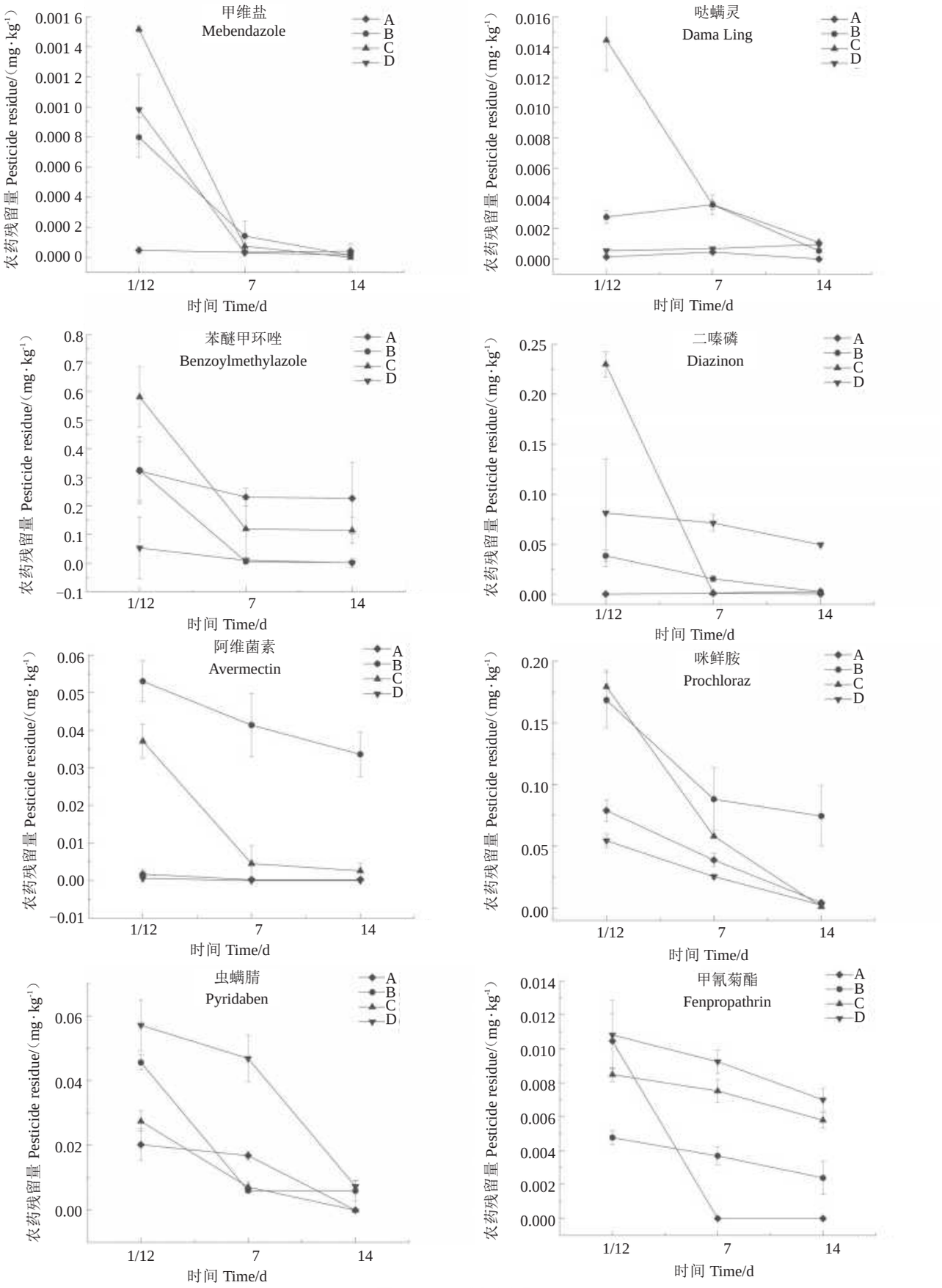



**图 1　农药残留消解动态**

**Fig. 1　Dynamic of pesticide residue degradation**

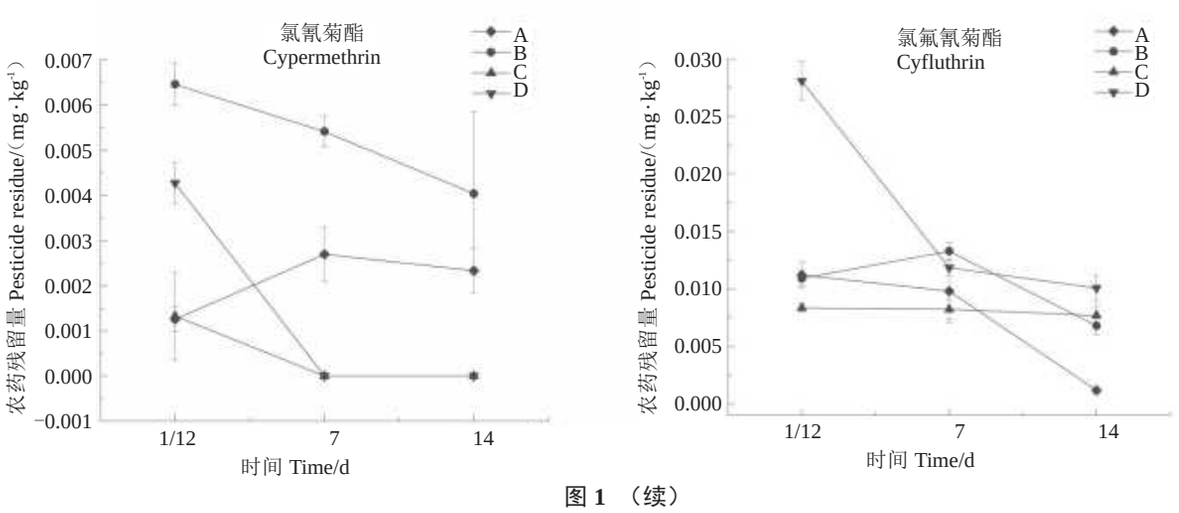



**图 1 （续）**

**Fig. 1 （Continued）**

相对湿度 8 个气象因子的差异分析结果。A 点气压相较 B、C、D 3 个试验点具有明显差异，D 试验点最大风速和极大风速高于 A、B、C 试验点；A、B、D 3 个试验点的平均气温及 0 cm 地温整体上高于 C 试验点；C 试验点较 A、B、D 3 个试验点的降水量及相对湿度具有一定差异。

7~14 d 4 个试验点气压、降水量、平均温度、最大风速、极大风速、日照时长、0 cm 地温、相对湿度 8 项气候因子详见图 3。A 试验点气压高于 B、C、D 3 个试验点。D 试验点最大风速、极大风速波动幅度高于 A、B、C 3 个试验点。A、D 试验点的 0 cm 地温整体上高于 B、C 试验点。4 个试验点的日照时长波动幅度均较大。A 试验点平均气温整体上高于其他 3 个试验点。C 试验点的降水量及相对湿度波动幅度高于其他 3 个试验点。由此可知，不同试验点气象条件存在差异，该差异成为导致不同试验点西瓜果实 10 种农药残留水平差异的重要因子之一。

### 2.4　不同试验点施药后不同阶段气象因子的判别分析

由图 4 可知，施药后 2 h~7 d 时间段内 4 个试验点中，A 试验点与 B 试验点及其他试验点的气象条件存在较大差异，B 试验点与 C 试验点、B 试验点与 D 试验点气象条件存在差异，但差异程度相对较低。2 h~7 d 时间段内，A 试验点、B 试验点受日照时长、平均气温、0 cm 地温的影响远大于其他试验点，C 试验点受相对湿度、降水量的影响程度较高，D 试验点较其他试验点受最大风速、极大风速的影响更为明显。

由图 5 可知，施药后 7~14 d 时间段内，A 试验点受平均气温和 0 cm 地温的影响程度更高。B 试验点、C 试验点受相对湿度、降水量的影响较为明显。D 试验点差异表征气象因子为日照时长、极大风速、最大风速。与 A、B、C 3 个试验点相比，D 试验点受日照时长、极大风速、最大风速的影响更大。

### 2.5　果实中 10 种农药残留消解预测模型的研究与构建

10 种农药残留在 2 h~7 d 的降解速率与 8 种气象因子间的 PLS 结果（图 6）显示，影响残留降解速率的主要气象因子因农药残留种类的不同而有所差异，其中影响样品中哒螨灵、二嗪磷、阿维菌素、咪鲜胺、虫螨腈、甲氰菊酯残留降解速率的主要气象因子为最大风速、极大风速和平均气温；影响西瓜果实虫螨腈、甲氰菊酯残留降解速率的主要气象因子还有相对湿度；此外，氯氰菊酯和氯氟氰菊酯还受日照时长的影响。由此可以得出：施药 2 h~7 d 时间段，西瓜果实农药残留降解速率主要影响因子为最大风速、极大风速、平均气温、相对湿度和日照时长。

利用 SIMCA13.0 将 PLS 分析进行数字化处理及多元线性拟合，进一步处理即可得到 10 种农药残留水平量化的预测模型，具体如表 2 所示。

模型检验结果显示：$Q^2$ 极大值为 0.978，$Q^2$ 极小值为 0.512，$Q^2$ 均大于 0.5，说明该模型拟合程度佳，可用于表征自变量与因变量间的量化关系。

10 种农药残留在 7~14 d 的降解速率与 8 种气象因子间的 PLS 分析结果见图 7，影响样品中甲维盐、哒螨灵、阿维菌素残留降解速率的主要气象因子为最大风速、极大风速和日照时长；影响西瓜果实氯氰菊酯、氯氟氰菊酯残留降解速率的主要气象

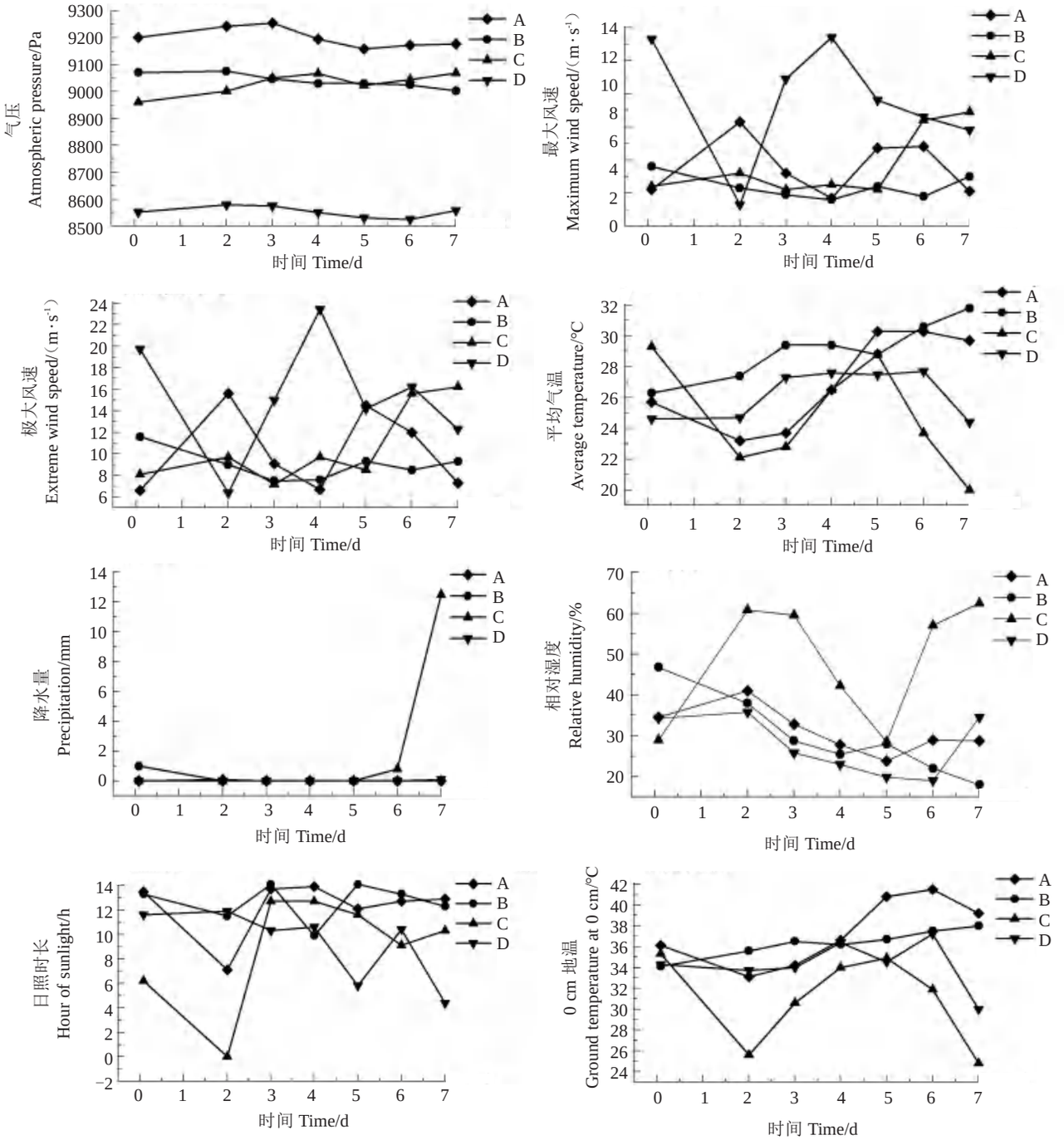



**图 2　2 h~7 d 气候因子差异**

**Fig. 2　Difference in climatic factors from 2 h to 7 d**

因子为相对湿度及日照时长。由此分析，施药 7~14 d 内，影响果实 10 种农药残留降解速率的主要气象因子为最大风速、极大风速、相对湿度及日照时长。

将 PLS 分析进行数字化处理及多元线性拟合，进一步处理即可得到 10 种农药残留水平量化预测模型，具体如表 3 所示。

模型检验结果显示，$Q^2$ 极大值为 0.971，极小值为 0.706，均大于 0.5，这说明模型拟合效果较好，可表征自变量和因变量间的量化关系。

## 3　讨论与结论

随时间延长，农产品中农药残留水平呈先快速降低后缓慢降低的趋势。蒋雪松等[14]研究结果表明，农药残留水平在初期会快速下降，但随着时间推移，残留水平的降解速度会逐渐减慢。乔海霞

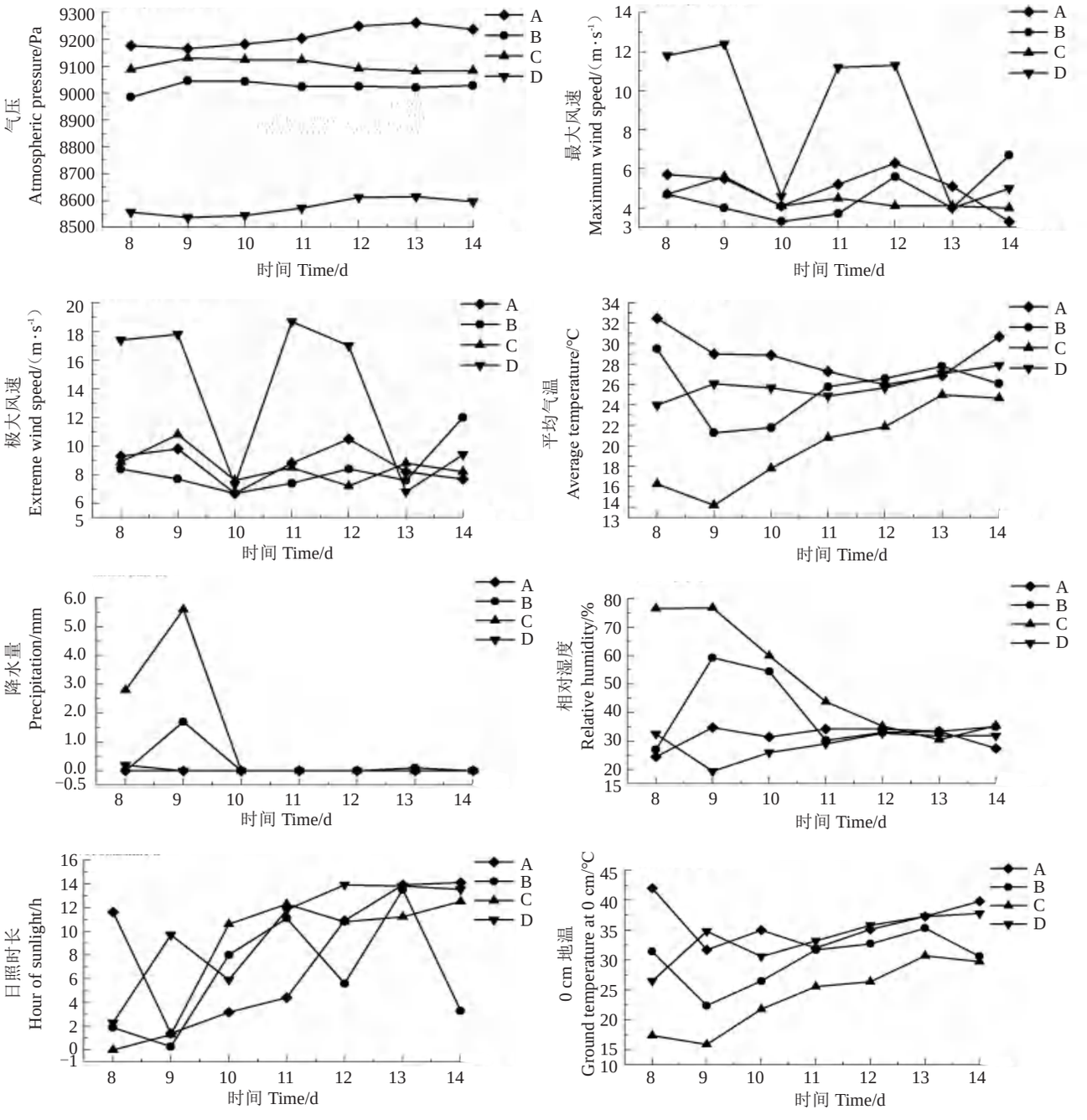



**图 3　7 d~14 d 气象因子差异**

**Fig. 3　Difference in climate factors from 7 d to 14 d**

等[15]研究发现，果蔬中农药残留水平先快速降低是因为此阶段农药残留水平高，易降解；随着残留水平的降低，残留的农药多为难以降解的部分，导致降解速率变慢。Wangsy 等[16]开展了杀菌剂降解水平与木瓜果实中水解酶关联性的研究，结果显示，前期木瓜果实中杀菌剂降解迅速，关键氨基酸残基 S67 在降解过程中起重要作用；后期木瓜果实中杀菌剂降解速率变慢，可能与该酶的降解效率下降有关。本研究西瓜果实中 10 种农药的残留水平呈 2 h~7 d 的降解速率大于 7~14 d，与前人的研究结果一致，但其与哪些酶的活性有关，还需进一步研究证实。

王迎菲等[17]通过对农药残留消解的不同方式进行研究，结果表明，农药残留降解过程分水解、光解。水解受温度、pH、浓度、重金属离子等因素的影响。光解是农药在环境中的自然降解过程之一，与紫外线强度、所在环境的 pH 有一定的关系。刘津伶等[18]研究几种农药在不同条件下的光解过程，不

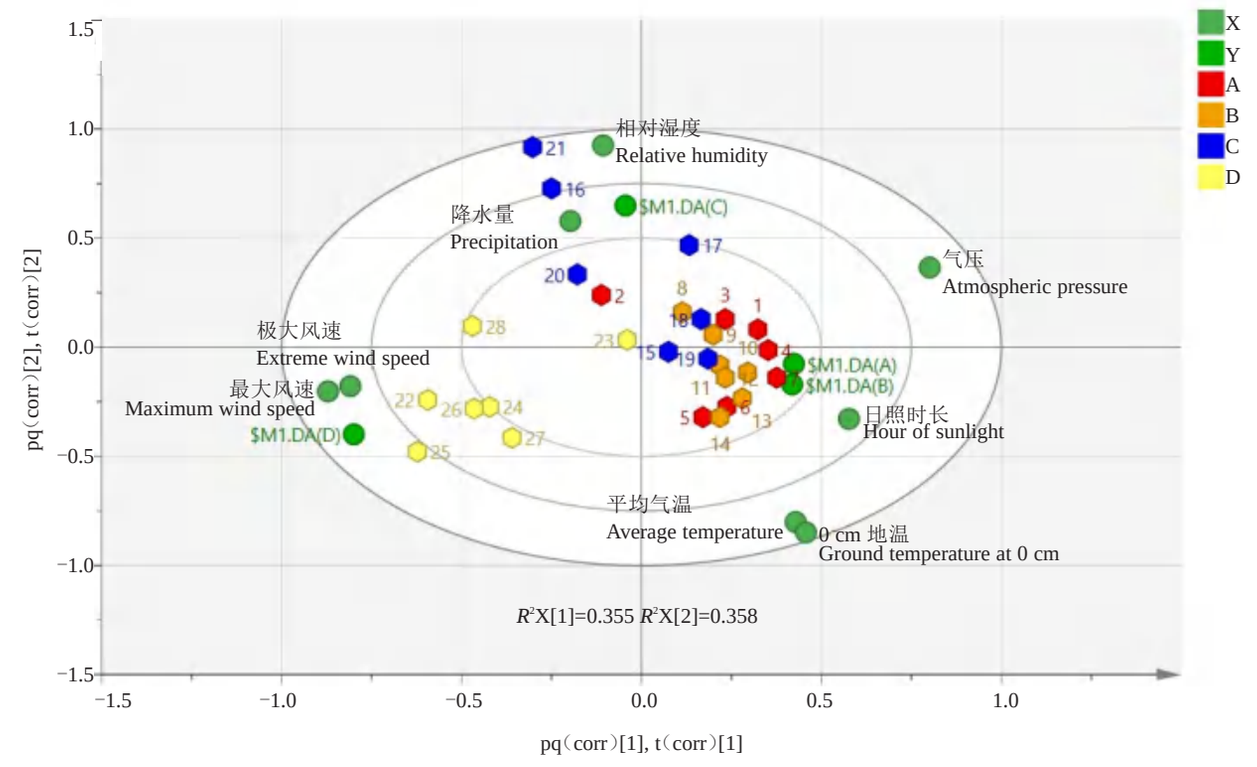



**图 4　不同试验点施药后 2 h~7 d 气象因子 OPLS-DA 分析**

**Fig. 4　OPLS-DA analysis of meteorological factors 2 hours to 7 days after application at different test sites**

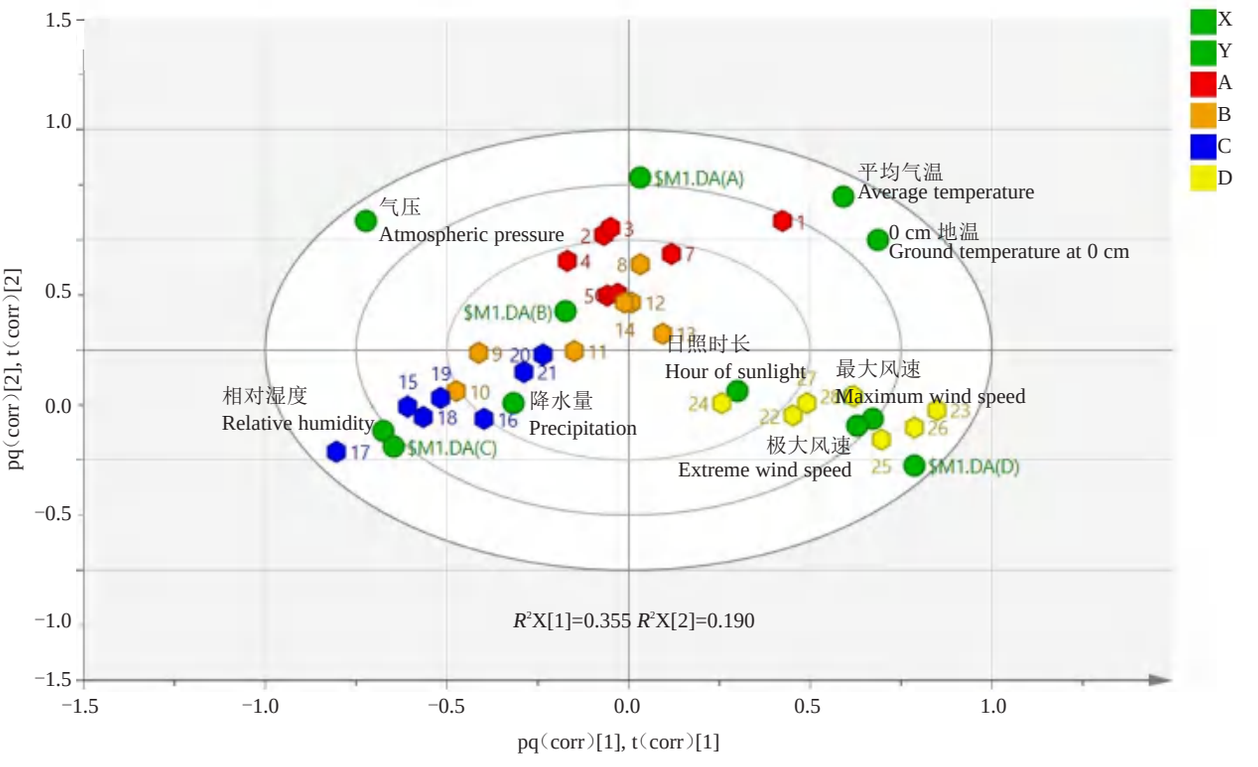



**图 5　不同试验点施药后 7~14 d 气象因子 OPLS-DA 分析**

**Fig. 5　OPLS-DA analysis of meteorological factors 7 – 14 days after application at different test sites**

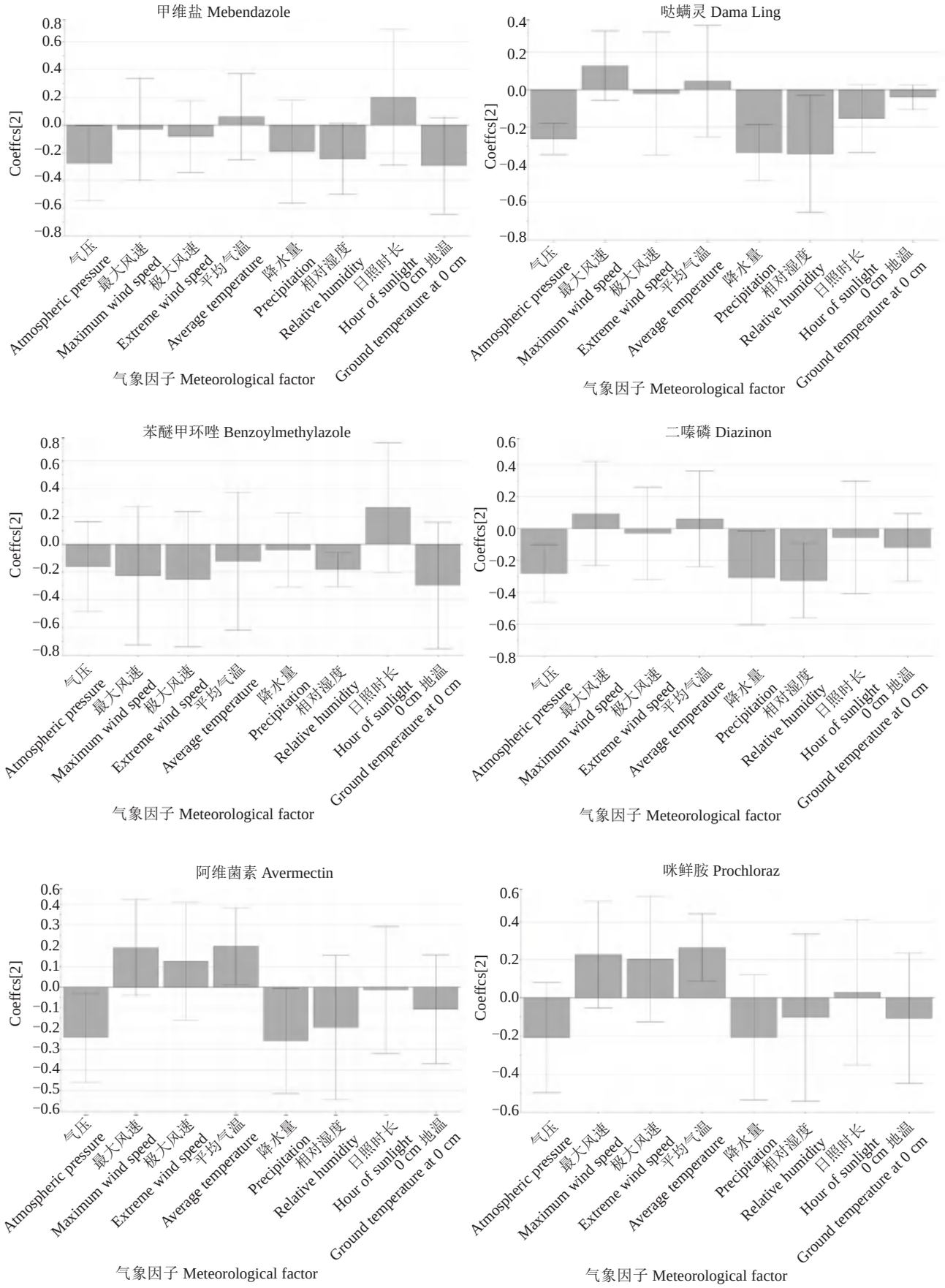



**图 6　2 h~7 d 10 种农药可视化 PLS 分析**

**Fig. 6　Visualization of PLS analysis of 10 pesticides at 2 h-7 d**

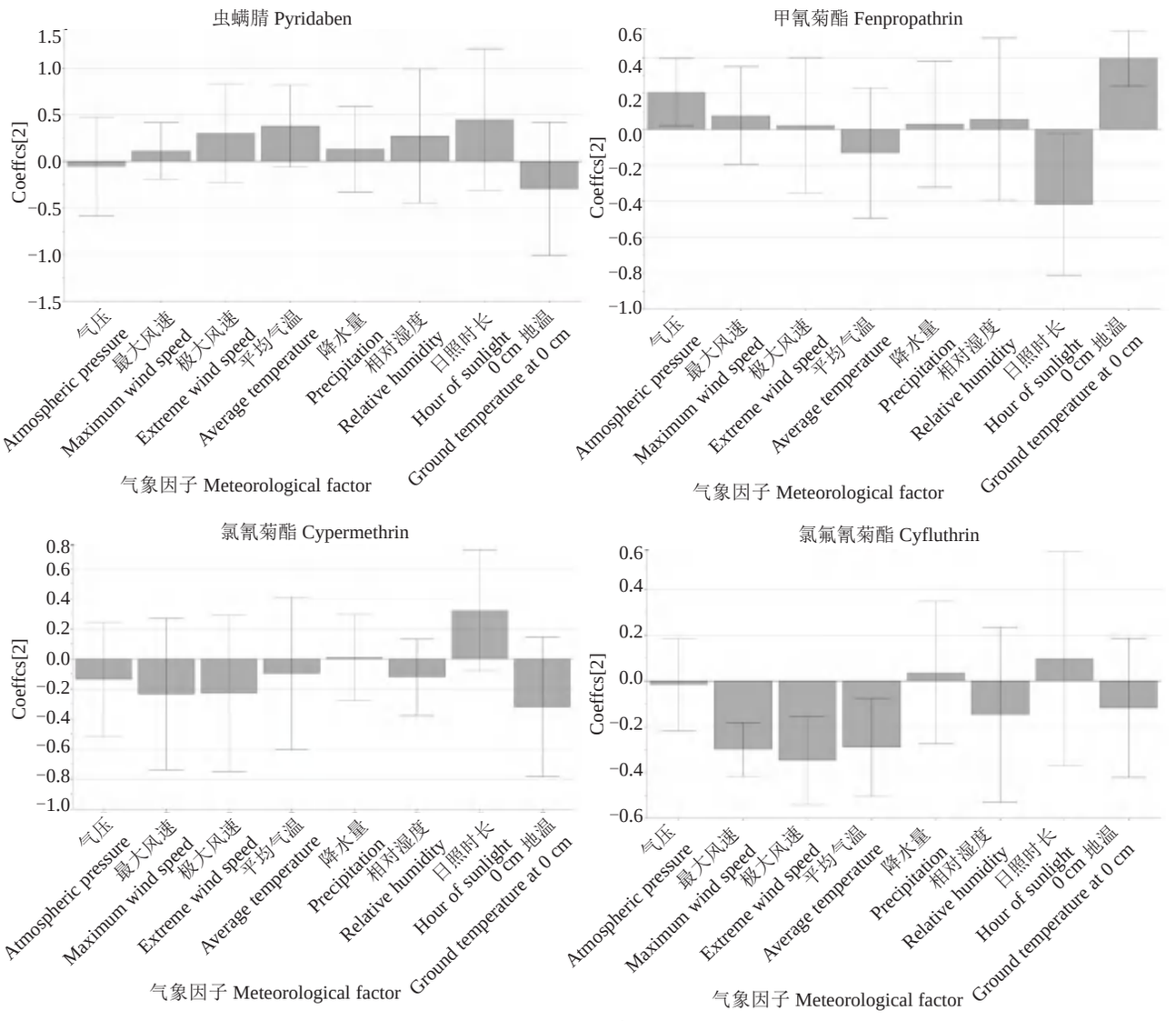



**图 6 （续）**

**Fig. 6 （Continued）**

同光源对农药的光解影响较大，采用合适的光源能够大大缩减农药的半衰期。山国军[19]研究了不同温度对西葫芦农药残留降解的影响，结果表明，温度较高时，西葫芦对甲氰菊酯吸收快，果实中农药峰值高，降解速度快；温度较低时，吸收慢，峰值低，降解速度慢，与本文的研究结果一致。温度影响农产品农药残留水平的可能原因是：农药水溶性会随温度的变化而发生改变，从而影响消解速率[20]；高温环境下，生物酶活性增强，加速农药分解；适当提高温度会加快能降解农药的微生物增殖，影响降解速率[21]；高温可提高分子运动速度和活性，促进光子的吸收和反应物质的传递[22]，提高农药降解速率等。另外，湿度也是影响农药残留降解速率的重要气象因子，有报道显示，增加湿度会提高溶于水农药的占比，增加光照强度可提高水中的氧化基团（如OH-）活性，加快农药的氧化降解[23]；适宜的湿度（如土壤最大持水量的 60%）能够促进微生物的生长和代谢，加快农药降解[24]。本文多种气象因子与西瓜果实中 10 种农药残留水平间存在潜在关系，其原因还有待于进一步深入研究探讨。

综上所述，不同时间段西瓜果实中 10 种农药残留的降解速率存在差异，其中 2 h~7 d 高于 7~14 d，2 h~7 d 西瓜果实 10 种农药残留降解速率与 8 项气象因子间的多元线性方程 $Q^2$ 极大值为 0.978，$Q^2$ 极小值为 0.512，影响 10 种农药残留降解速率的主要气象因子为日照时长、降水量、最大风速、极大风速；构建的 7~14 d 西瓜果实 10 种农药残留降解速率多元线性方程 $Q^2$ 极大值为 0.971，极小值为 0.706，主要影响因子为日照时长、降水量、最大风速、极大风速及相对湿度，说明 2 h~7 d 及 7~14 d 所

表 2　2 h~7 d 多元线性拟合方程

**Table 2　2 h-7 d multiple linear regression equation**

| 因变量<br>Dependent variable | 自变量<br>Independent variable |
|---|---|
| $Y_1$ | $-0.275\ 221X_1-0.030\ 542\ 9X_2-0.082\ 828\ 3X_3+0.060\ 689\ 9X_4-0.191\ 522X_5-0.243\ 745X_6+0.200\ 262X_7-0.293\ 727X_8$ |
| $Y_2$ | $-0.261\ 872X_1+0.127\ 736X_2-0.020\ 977\ 6X_3+0.045\ 063\ 1X_4-0.334\ 966X_5-0.342\ 102X_6-0.153\ 929X_7-0.040\ 616\ 5X_8$ |
| $Y_3$ | $-0.160\ 578X_1-0.226\ 596X_2-0.252\ 231X_3-0.121\ 438X_4-0.040\ 377\ 7X_5-0.182\ 491X_6+0.264\ 864X_7-0.296\ 14X_8$ |
| $Y_4$ | $-0.279\ 593X_1+0.095\ 078\ 3X_2-0.030\ 095\ 5X_3+0.061\ 769\ 7X_4-0.309\ 564X_5-0.325\ 126X_6-0.055\ 161X_7-0.117\ 761X_8$ |
| $Y_5$ | $-0.243\ 677X_1+0.191\ 66X_2+0.125\ 361X_3+0.197\ 636X_4-0.259\ 832X_5-0.195\ 574X_6-0.014\ 231\ 4X_7-0.106\ 666X_8$ |
| $Y_6$ | $-0.209\ 015X_1+0.227\ 475X_2+0.204\ 206X_3+0.264\ 928X_4-0.207\ 952X_5-0.103\ 908X_6+0.028\ 928\ 5X_7-0.107\ 217X_8$ |
| $Y_7$ | $-0.053\ 985\ 8X_1+0.114\ 486X_2+0.304\ 033X_3+0.379\ 812X_4+0.132\ 005X_5+0.273\ 976X_6+0.449\ 87X_7-0.294\ 225X_8$ |
| $Y_8$ | $0.207\ 223X_1+0.077\ 578\ 4X_2+0.022\ 953\ 2X_3-0.131\ 629X_4+0.029\ 101\ 1X_5+0.057\ 435\ 4X_6-0.416\ 46X_7+0.394\ 997X_8$ |
| $Y_9$ | $-0.136\ 493X_1-0.235\ 073X_2-0.228\ 077X_3-0.097\ 072\ 1X_4+0.0091\ 062\ 6X_5-0.122\ 356X_6+0.323\ 286X_7-0.319\ 434X_8$ |
| $Y_{10}$ | $-0.016\ 273\ 3X_1-0.298\ 93X_2-0.346\ 173X_3-0.289\ 572X_4+0.037\ 104\ 5X_5-0.147\ 006X_6+0.097\ 442\ 9X_7-0.117\ 121X_8$ |

注：$X_1$~$X_8$分别代表气压、最大风速、极大风速、平均气温、降水量、相对湿度、日照时长和 0 cm 地温。$Y_1$~$Y_{10}$分别代表甲维盐、哒螨灵、苯醚甲环唑、二嗪磷、阿维菌素、咪鲜胺、虫螨腈、甲氰菊酯、氯氰菊酯、氯氟氰菊酯的降解速率。下同。

Note: $X_1$-$X_8$ represent atmospheric pressure, maximum wind speed, extreme wind speed, average temperature, precipitation, relative humidity, duration of sunshine, soil temperature at 0 cm, respectively. $Y_1$-$Y_{10}$ represent the degradation rate of mebendazole, dama Ling, benzoylmethylazole, diazinon, avermectin, miflamide, cypermethrin, cypermethrin, cyfluthrin, pyridaben, respectively. The same below.

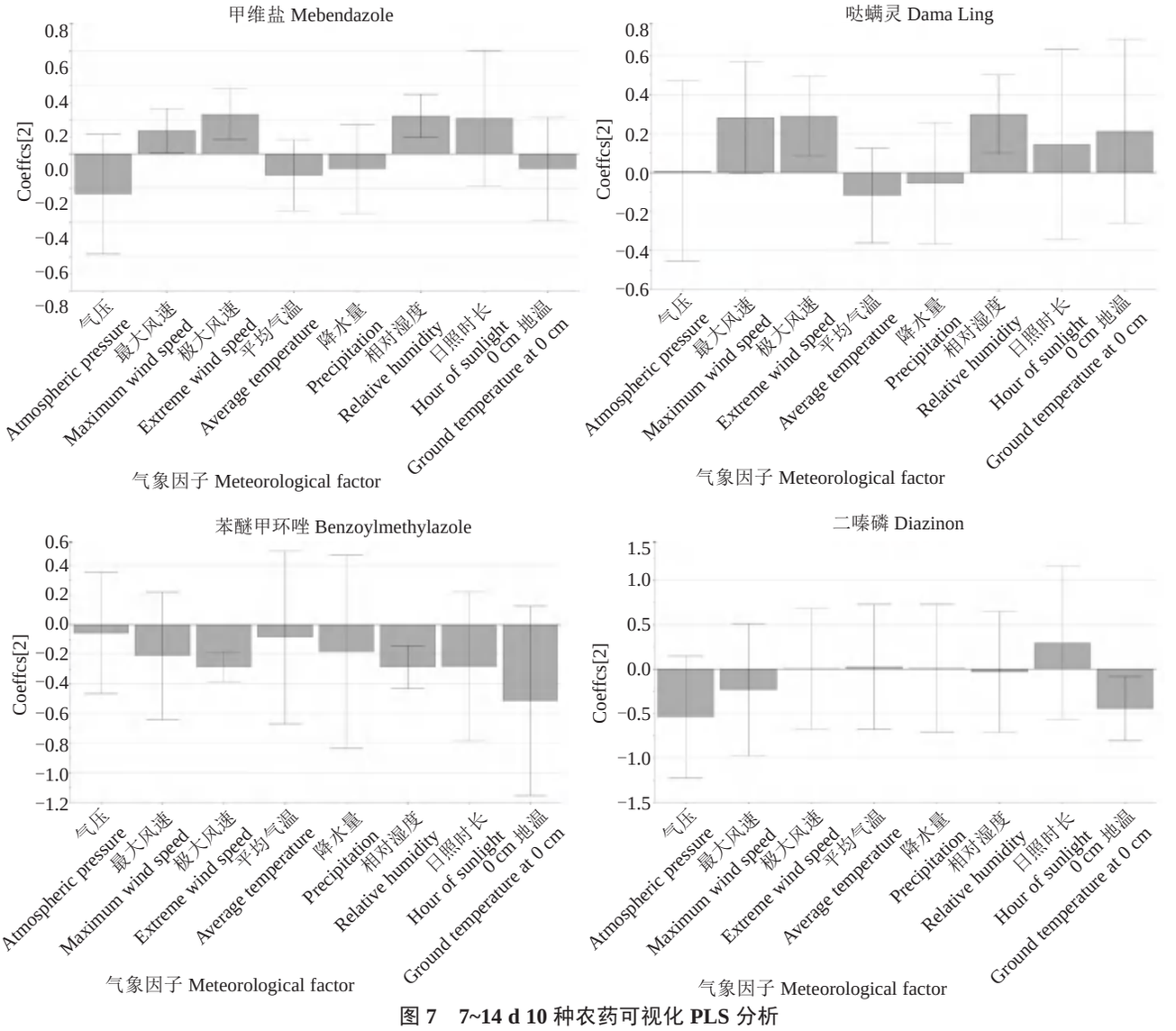



图 7　7~14 d 10 种农药可视化 PLS 分析

**Fig. 7　Visualization of PLS analysis of ten pesticides at 7-14 d**

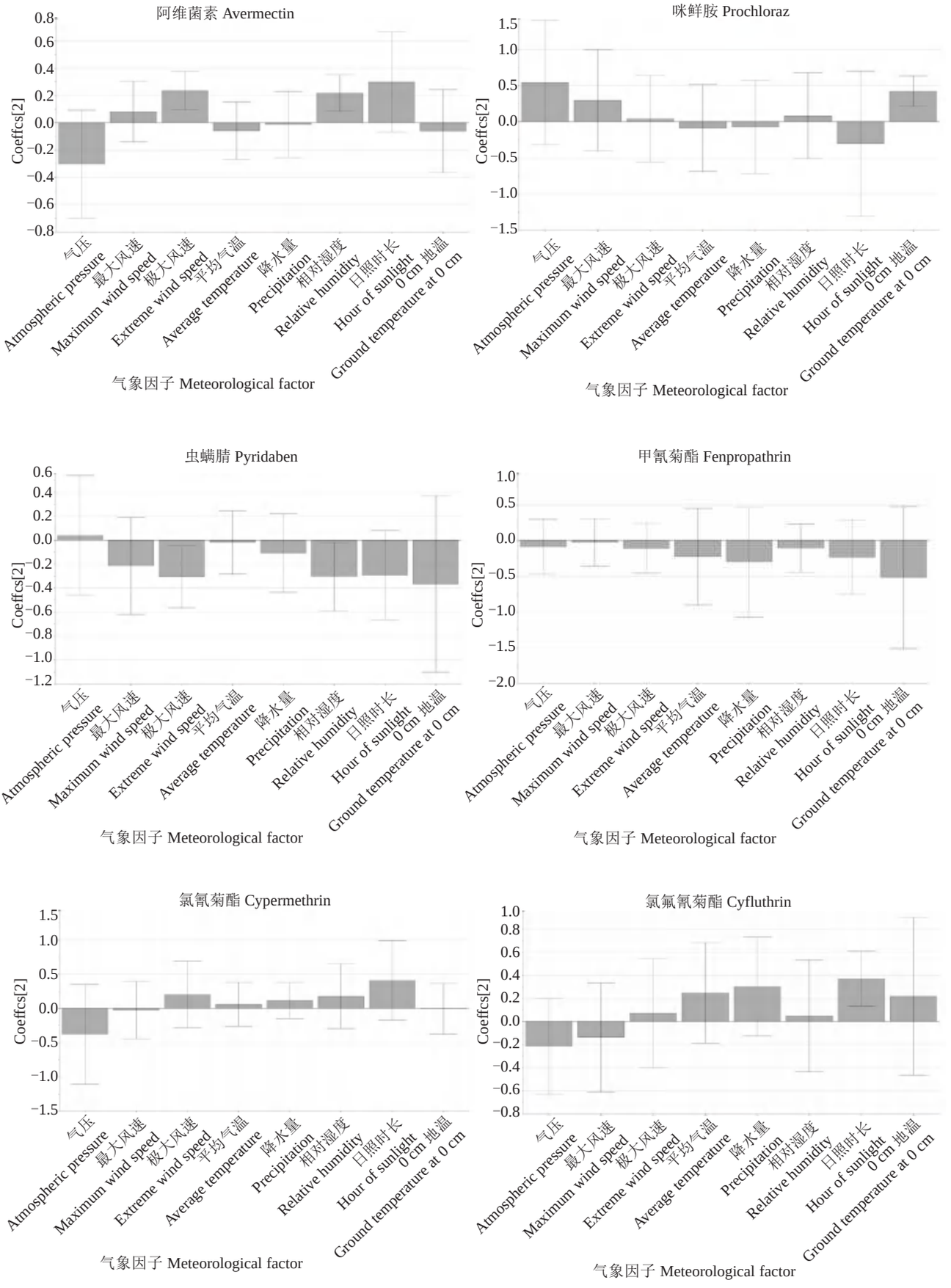



**图 7 （续）**

**Fig. 7 （Continued）**

表3　7~14 d多元线性拟合方程

Table 3　Multivariate linear fitting equations for 7-14 d

| 因变量<br>Dependent variable | 自变量<br>Independent variable |
|---|---|
| $Y_1$ | $-0.232\ 867X_1+0.136\ 053X_2+0.231\ 212X_3-0.123\ 197X_4-0.087\ 497\ 8X_5+0.221\ 916X_6+0.208\ 504X_7-0.087\ 245\ 4X_8$ |
| $Y_2$ | $0.008\ 835\ 03X_1+0.282\ 419X_2+0.291\ 354X_3-0.117\ 649X_4-0.054\ 340\ 2X_5+0.299\ 289X_6+0.144\ 339X_7+0.212\ 651X_8$ |
| $Y_3$ | $-0.055\ 588\ 4X_1-0.209\ 861X_2-0.283\ 785X_3-0.085\ 808\ 8X_4-0.183\ 772X_5-0.286\ 746X_6-0.281\ 071X_7-0.513\ 711X_8$ |
| $Y_4$ | $-0.540\ 315X_1-0.231\ 769X_2+0.007\ 946\ 85X_3+0.026\ 320\ 1X_4+0.011\ 914\ 9X_5-0.030\ 863\ 9X_6+0.294\ 69X_7-0.443\ 552X_8$ |
| $Y_5$ | $-0.303\ 809X_1+0.082\ 646\ 4X_2+0.235\ 807X_3-0.058\ 956\ 9X_4-0.013\ 683\ 8X_5+0.219\ 003X_6+0.299\ 82X_7-0.060\ 978\ 8X_8$ |
| $Y_6$ | $0.542\ 702X_1+0.298\ 444X_2+0.042\ 074\ 8X_3-0.088\ 564\ 2X_4-0.070\ 484\ 6X_5+0.083\ 999\ 1X_6-0.304\ 674X_7+0.425\ 428X_8$ |
| $Y_7$ | $0.040\ 121\ 2X_1-0.215\ 201X_2-0.305\ 795X_3-0.019\ 193\ 1X_4-0.108\ 232X_5-0.304\ 929X_6-0.292\ 371X_7-0.366\ 629X_8$ |
| $Y_8$ | $-0.091\ 833\ 3X_1-0.029\ 579\ 8X_2-0.111\ 693X_3-0.228\ 141X_4-0.302\ 861X_5-0.109\ 941X_6-0.234\ 849X_7-0.521\ 57X_8$ |
| $Y_9$ | $-0.378\ 86X_1-0.024\ 230\ 1X_2+0.205\ 227X_3+0.062\ 178\ 7X_4+0.116\ 603X_5+0.178\ 028X_6+0.410\ 073X_7-0.006\ 862\ 14X_8$ |
| $Y_{10}$ | $-0.217\ 74X_1-0.139\ 959X_2+0.071\ 798\ 5X_3+0.247\ 552X_4+0.302\ 073X_5+0.047\ 241\ 4X_6+0.369\ 886X_7+0.218\ 266X_8$ |

拟合的多元线性方程均能很好地表征自变量与因变量之间的拟合效果。本研究结果可为西瓜果实农药残留水平的科学有效预测提供参考。

## 参考文献


[1] 庞荣丽，解鑫，郭琳琳，等.我国西瓜甜瓜质量安全标准现状分析[J].中国瓜菜，2022，35(11)：1-10.

[2] 倪艳华，李忠阳.食品农药污染现状及监督管理对策[J].中国卫生监督杂志，2005，12(1)：58-60.

[3] 李干琼，王志丹.新疆西瓜甜瓜绿色生产调查研究[J].中国瓜菜，2020，33(6)：59-62.

[4] Sivaperumal P，Thasale R，Kumar D，et al.Human health risk assessment of pesticide residues in vegetable and fruit samples in Gujarat State，India[J].Heliyon，2022，8(10)：e10876.

[5] 杨茜，武潇楠，魏丽萍，等.西瓜农药残留的风险评估[J].现代食品科技，2022，38(6)：296-303.

[6] 华阳.农药残留值模型及风险评估研究[D].长沙：长沙理工大学，2020.

[7] 庾琴，秦曙，王霞，等.温度、光照及生物因子对啶虫脒和吡虫啉在油菜叶面消解的影响[J].农药学学报，2006，8(2)：147-151.

[8] Einsiedel D，Welk S L，Zujko N，et al.Investigating the correlation of analytical data on pesticide residues in fruits and vegetables with local climatic condition[J].Environmental Research，2024，252：118743.

[9] Bilkova A，Knapova P，Suran P，et al.Effect of storage conditions on content of pesticide residues in sweet cherries[J].Food Chemistry：X，2022，13：100185.

[10] 韦凯丽，周晓龙，闫巧俐，等.新疆甜瓜农药残留膳食风险评估[J].食品与机械，2019，35(8)：90-95.

[11] GB/T 19557.27－2022　植物品种特异性(可区别性)、一致性和稳定性测试指南 西瓜[S].

[12] GB/T 20769－2008　水果和蔬菜中450种农药及相关化学品残留量的测定 液相色谱-串联质谱法[S].

[13] NY/T 761－2008　蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定[S].

[14] 蒋雪松，王维琴，许林云，等.农产品/食品中农药残留快速检测方法研究进展[J].农业工程学报，2016，32(20)：267-274.

[15] 乔海霞，潘少香，曹宁.果蔬农药残留快速检测技术研究进展[J].中国果菜，2024，44(9)：12-18.

[16] Wang S Y，Wang Y X，Yue S S，et al.G-site residue S67 is involved in the fungicide-degradingactivity of atau class glutathione *S*-transferase from *Carica papaya*[J].Journal of Biological Chemistry，2024，300(4)：107123.

[17] 王迎菲，张莹，赵梓彤，等.环境中残余农药降解行为的研究[J].云南化工，2020，47(8)：34-36.

[18] 刘津伶，马利民，李卫卫.4种有机农药在水中的光降解对比研究[J].四川环境，2019，38(1)：29-35.

[19] 山国军.日光温室西葫芦喷药后在不同温度下的残留降解规律研究[J].农业科技与信息，2020(16)：49-50.

[20] 郭燕云.双孢蘑菇中栽培基质及温湿度变化对三种农药残留的影响[D].上海：上海海洋大学，2022.

[21] Cycoń M，Markowicz A，Borymski S，et al.Imidacloprid induces changes in the structure，genetic diversity and catabolic activity of soil microbial communities[J].Journal of Environmental Management，2013，131：55-65.

[22] Zhou Y，Li X，Zhang Y，et al.Impact of temperature on photodegradation pathways of triazole fungicides[J].Environmental Science & Technology，2019，53(12)：6784-6793.

[23] 方晓航，仇荣亮.农药在土壤环境中的行为研究[J].土壤与环境，2002，(1)：94-97.

[24] Zhang Y，Xu S，Li X，et al.Soil moisture regulates microbial community assembly and metabolic pathways for pesticide degradation[J].Environment International，2021，146：106243.