

杨晓杰,张少华,李为争,等. 粮食作物病虫害用药规律——基于对应分析途径的简明图解[J]. 江苏农业科学,2022,50(7):1-9.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.07.001

粮食作物病虫害用药规律 ——基于对应分析途径的简明图解

杨晓杰¹, 张少华¹, 李为争^{1,2}, 邢怀森¹, 原国辉^{1,2}

(1. 河南农业大学植物保护学院,河南郑州 450002; 2. 河南省新型农药创制与应用重点实验室,河南郑州 450002)

摘要:为保证粮食安全,在粮食作物病虫害的化学防治中,农药的选用必须兼顾防治效果和经济性。虽然我国已经在粮食作物上登记了大量杀虫剂和杀菌剂,但传统统计方法无法处理作物-病虫害-农药之间错综复杂的关系,为此采用对应分析法挖掘我国 2010 年 1 月 1 日之后登记用于防治小麦、玉米和水稻病虫害的农药数据,以期揭示防治粮食作物病虫害用药的一般规律,并提供科学的推荐用药方案。(1)小麦病虫害推荐用药。地下害虫防治推荐用辛硫磷、二嗪磷或噻虫胺,蚜虫防治推荐用吡虫啉,红蜘蛛防治推荐用阿维菌素,吸浆虫防治推荐用毒死蜱,锈病防治选用顺序为氟环唑>粉唑醇>醚菌酯>环丙唑醇≈己唑醇,黑穗病防治推荐用戊唑醇,全蚀病、黑穗病和纹枯病同时发生时用苯醚甲环唑防治,赤霉病防治推荐用多菌灵或甲基硫菌灵,白粉病防治推荐用三唑酮或吡唑醚菌酯。(2)玉米病虫害推荐用药。地下害虫防治推荐用氟虫腈、丁硫克百威或毒死蜱,灰飞虱和玉米蚜防治推荐用噻虫嗪,玉米螟防治推荐用苏云金杆菌或辛硫磷,大斑病防治推荐用吡唑醚菌酯,丝黑穗病防治推荐用戊唑醇,茎基腐病防治推荐用咯菌腈+精甲霜灵。(3)水稻病虫害推荐用药。钻蛀性螟虫防治推荐用三唑磷、阿维菌素类似物或甲氧虫酰肼,稻飞虱防治选用顺序为吡蚜酮>吡虫啉>噻虫嗪>噻嗪酮>烯啶虫胺,稻纵卷叶螟防治推荐用阿维菌素类似物,稻曲病防治推荐用戊唑醇,恶苗病防治推荐用咪鲜胺及其锰盐,立枯病防治推荐用噁霉灵,纹枯病防治推荐用噻呋酰胺或己唑醇,稻瘟病防治选用顺序为三环唑>春雷霉素>稻瘟酰胺>稻瘟灵>枯草芽孢杆菌。此外,还讨论了对应分析法在植物保护其他领域的潜在应用。

关键词:粮食作物;小麦;玉米;水稻;杀菌剂;杀虫剂;对应分析;用药规律

中图分类号: S482;S435.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)07-0001-09

2020 年中央“一号文件”《关于抓好“三农”领域重点工作确保如期实现全面小康的意见》提出,确保粮食安全始终是治国理政的头等大事。随着气候变化、耕作栽培方式改变和农作物复种指数提高,我国农作物病虫害呈多发、频发、重发态势,特别是草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)、小麦条锈病、稻飞虱、二化螟(*Chilo suppressalis*)、小麦蚜虫、棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)等重大病虫害^[1-3]。不合理用药会导致防效不理想、农药残留超标、农产品品质下降,严重威胁国家粮食安全^[4-5]。高效的植物保护措施能够挽回粮食损失约 1 亿 t/年,占总产量的 1/6,相当于争取了 2 000 万 hm²/年隐形耕

地^[6]。“十四五”期间,《全国农业可持续发展规划(2015—2030 年)》要求我国粮食作物耕、种、收的综合机械化率达到 85% 以上,但轮作、间作等农业防治法会造成种植格局的杂化,不利于该目标的实现,而化学防治法与农业机械化的普遍趋势兼容性最强。《农作物病虫害防治条例》(国令第 725 号)要求牢固树立“公共植保、绿色植保、科学植保”的理念,继续贯彻“预防为主、综合防治”的方针,深入推进绿色防控与统防统治融合发展,大力提倡科学安全用药^[1]。许多重大病虫害高效防控的关键,仍然是在兼顾防治效果和经济性的前提下如何科学选择农药的问题^[7]。

党的十九届五中全会全面擘画了“十四五”规划目标和 2035 年远景目标,明确指出贯通植保专业大数据,按照“顶层设计、系统整合、数据集成、综合展示”的思路,通过汇集现有信息系统数据资源,强化数据挖掘和综合应用,形成病虫害信息“一张图”^[8]。截至 2021 年 6 月 7 日,中国农药信息网

收稿日期:2021-07-08

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0300706)。

作者简介:杨晓杰(1996—),女,河南项城人,硕士,从事农业昆虫与害虫防治研究。E-mail: xiaojieyang923@163.com。

通信作者:原国辉,硕士,教授,从事化学生态学研究。E-mail:

hnydygh@126.com。

(www.chinapesticide.org.cn) 已登记小麦杀虫剂 1 010 种, 小麦杀菌剂 1 179 种, 玉米杀虫剂 454 种, 玉米杀菌剂 276 种, 水稻杀虫剂 4 055 种, 水稻杀菌剂 2 470 种, 为大数据荟萃分析提供了丰富源泉。由于农药办理登记时必然通过大量田间药效验证, 在市场运作中不断进行产量、销量、用量的动态微调, 因此可将其视为农药应用经验的信息库。然而, 针对特定防治对象, 究竟选择哪种农药才是科学合理的? 一种农药可以兼治许多靶标, 而一种有害生物可选择的农药又非常多, 传统统计方法无法处理作物-病虫害-农药之间这种错综复杂的关系。

Beh 等开发的对应分析 (correspondence analysis) 是解析多变量、多类别错综复杂关系的强力工具^[9]。其基本思想是首先对列联表数据进行主成分分析降维, 然后在低维空间以散点图的形式展示行变量和列变量中各类别点的相似性或伴随性^[10-12]。国外已将其广泛用于古生物学、社会学、经济学、语言学、生态学、医学和心理学等领域^[13], 但在植物保护领域尚未充分认识到其重要意义。为此, 笔者分析 2010 年 1 月 1 日之后取得登记的三大粮食作物病虫害用药, 构建每种粮食作物害虫-杀虫剂和病害-杀菌剂“一张图”, 旨在解决农药科学选择的难题。

1 信息来源和数据处理

1.1 信息来源

登录中国农药信息网, 依次点击“数据中心”“登记信息”“农药登记数据”。“农药类别”中输入“杀虫剂”或“杀菌剂”, “作物/场所”中输入“小麦”“玉米”或“水稻”, 共 6 个农药类型-作物的搜索条件组合。查询 2010 年 1 月 1 日后登记的单剂, 然后逐条点击登记证超级链接, 将登记证号、农药名称、作物、防治对象复制到 Excel 中。如果同一个登记证涉及同一作物上 2 种及 2 种以上的防治对象, 则每种防治对象单独占 1 行。

1.2 数据预处理

1.2.1 防治对象上下位概念问题 某些登记证防治对象描述模糊, 如“地下害虫”, 并不清楚其主要针对的是蛴螬、蝼蛄、金针虫还是地老虎。此时有 2 种处理方式, 一是删除模糊的登记证信息条目, 但会损失一定信息量; 二是合并为上位概念, 但不能反映特殊有害生物用药特征。本研究采用第 2 种方

法。这样的案例包括: (1) 小麦“苗期蚜虫”和“麦蚜”合并为“蚜虫”, “蛴螬”“蝼蛄”和“金针虫”合并为“地下害虫”; (2) 小麦“叶锈病”和“条锈病”合并为“锈病”, “腥黑穗病”和“散黑穗病”合并为“黑穗病”; (3) 玉米“金针虫”“小地老虎 (*Agrotis ypsilon*)”“蛴螬”和“蝼蛄”合并为“地下害虫”; (4) 玉米存在“稻飞虱 (PD20182887)”“飞虱 (PD20140496)”和“灰飞虱 (*Laodelphax striatellus*)” 3 类登记对象, 但水稻白背飞虱 (*Sogatella furcifera*) 和褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*) 很少危害玉米, 而灰飞虱却能传播玉米粗缩病毒, 因此, 将这些统统归入“灰飞虱”; (5) 水稻“褐飞虱”“飞虱”“灰飞虱”合并为“稻飞虱”, “象甲”和“稻水象甲 (*Lissorhoptrus oryzophilus*)”合并为“稻水象甲”, “蓟马”和“稻蓟马”合并为“稻蓟马”; (6) “水稻纹枯病 (PD20201073)”和“纹枯病”合并为“纹枯病”; “细条病 (PD20142170)”经核实和“细菌性条斑病”病原完全相同, 修正为后者; (7) 水稻“立枯病”和“烂秧病”是由多种尚存在争议的病原引起的^[14-15], 本研究将其作为 2 种不同病害。

1.2.2 相似农药的合并 部分农药活性成分仅是异构体差别、官能团少量修饰或微生物生理小种等, 对其进行合并处理。这样的案例包括: (1) 小麦上“高效氯氰菊酯”和“氯氰菊酯”合并为“氯氰菊酯”; (2) 玉米上“苏云金杆菌 G033A (PD20171726)”合并入“苏云金杆菌”, “阿维菌素”和“甲氨基阿维菌素苯甲酸盐”并称“阿维菌素类似物”, “氯氰菊酯”和“顺式氯氰菊酯”合并为“氯氰菊酯”; (3) 水稻上“阿维菌素”“甲氨基阿维菌素”“甲氨基阿维菌素苯甲酸盐”“5% 阿维菌素微乳剂 (PD20180988)”和“阿维菌素苯甲酸盐”合并为“阿维菌素类似物”, “杀螺胺乙醇胺盐”和“杀螺胺”合并为“杀螺胺类”; (4) 水稻上“咪鲜胺锰盐”和“咪鲜胺”并称“咪鲜胺类”, “解淀粉芽孢杆菌 LX-11 (*Bacillus amyloliquefaciens*) (PD20190018)”并入“解淀粉芽孢杆菌”。

1.2.3 部分登记信息修正 部分登记信息与防治对象不吻合, 必须结合植物保护常识判断。这样的案例包括: (1) “杀螺胺乙醇胺盐 (PD20110164)”和“氰氨化钙 (PD20110256)”登记类别为“杀菌剂”, 但在水稻上防治对象却是“福寿螺 (*Pomacea canaliculata*)”, 修正入“杀虫剂”类别; (2) “苦参碱 (PD20132710)”和“蛇床子素 (PD20182169)”的登

记类别均为“杀虫剂/杀菌剂”,但水稻上防治对象分别仅有“稻飞虱”和“纹枯病”,将其分别修正为“杀虫剂”类别和“杀菌剂”类别;(3)“苜蓿磺隆(PD20101253)”登记类别为“杀菌剂”,但水稻上防治对象为“阔叶杂草及莎草科杂草”,剔除;(4)“二化螟性信息素(PD20200312 和 PD20190003)”登记的是混剂(顺-9-十六碳烯醛、顺-13-十八碳烯醛、顺-11-十六碳烯醛),但性信息素成分和配比特异性很强,应当视为“单剂”,这 2 条登记证信息也应补充到原始数据进行分析。

1.3 对应分析操作

在登记信息右侧新建 1 列“权重”,权重因子均赋值为 1(同一登记证防治多种对象,每条农药-靶标对应信息均赋予 1 的权重因子)。然后,分别对农药名称和防治对象替换为连续性数值编码。

在 SPSS 19.0 变量视图中新建农药名称(数值型名义变量)、作物(字符串名义变量)、防治对象(数值型名义变量)和权重(度量型变量)4 个变量,把登记信息导入数据视图。对权重进行加权后,依次点击“分析”“降维”“对应分析”,将“农药名称”和“防治对象”分别作为行变量和列变量,并分别点击行变量和列变量的“定义范围”定义其最小值(输入“1”)和最大值(输入该类别连续性编码的最大值),采用欧氏距离度量法完成初步对应分析。查看结果窗口中对应表中的行有效边际,该值为 1,意味着只有 1 个生产厂家认为某种农药针对某种防治对象是有效的,不具有代表性,在对应分析中剔除相应登记证条目。然而,登记证数量与登记年份有关,登记较晚的农药往往登记证较少,故登记频次难以反映某种农药严格意义上的防治效果;此外,有的防治对象仅仅出现了 1 次,登记农药也仅有 1 种,这类防治对象会随着上述剔除操作一并删除,如登记证 PD20181615 中的甾烯醇和小麦花叶病毒病,PD20183984 中的啮螨酯和玉米螨类,PD20121813 中的低聚糖素和玉米粗缩病,从而导致局部地区非常重要的防治对象在对应分析图上无法表达出来。为了兼顾结论普适性和前瞻性,将这些比较稀少的登记证条目个案单独列出。

剔除相关登记条目后,对各变量其他类别重新连续性编码,再次执行对应分析。在结果输出窗口中找到每种农药、每种防治对象的坐标值(X, Y),在 Origin 2021 中制作双变量复合散点图。

2 图的解读

现以 1 张虚拟的对应分析图(图 1)来说明其解读方法。假设散点 A 为某防治对象,散点 $B \sim I$ 为几种农药,绘制一系列正向矢量(从坐标原点出发并通过某散点的有向射线)辅助解读。

2.1 推荐用药

防治对象 A 正向矢量一侧的 B, C, D, E 视为可选用药,而不推荐防治对象 A 负向矢量一侧的 F, G, H 等 3 种农药。

2.2 防效认可度

在 B, C, D, E 中,离坐标原点(0,0)位置越远的散点对应的农药,登记证越多,防效认可程度越高。例如, C 被生产厂家认可的程度高于 B, D, E 。

2.3 登记靶标专一性

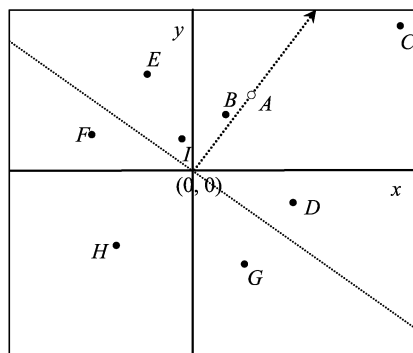
在 B, C, D, E 中,某种农药正向矢量和防治对象 A 的正向矢量夹角越小,表示该农药登记靶标专一性越强,也就是说,有更多厂家认为该农药仅能防治 A 。例如,农药 B 对防治对象 A 的登记靶标专一性要强于 C, D, E 。

2.4 有望兼治的防治对象和防治谱相似的农药

2 种防治对象正向矢量夹角越小,越容易用同种农药实现兼治;相应地,2 种农药正向矢量夹角越小,防治谱越相似。

2.5 用药特征不明显的防治对象

离坐标原点越近的病虫害农药登记证越少,适宜选择广谱性农药搭配使用。



实心圆点表示农药;空心圆点表示一个假想的防治对象
图1 对应分析解读方法示意

3 粮食作物病虫害用药规律

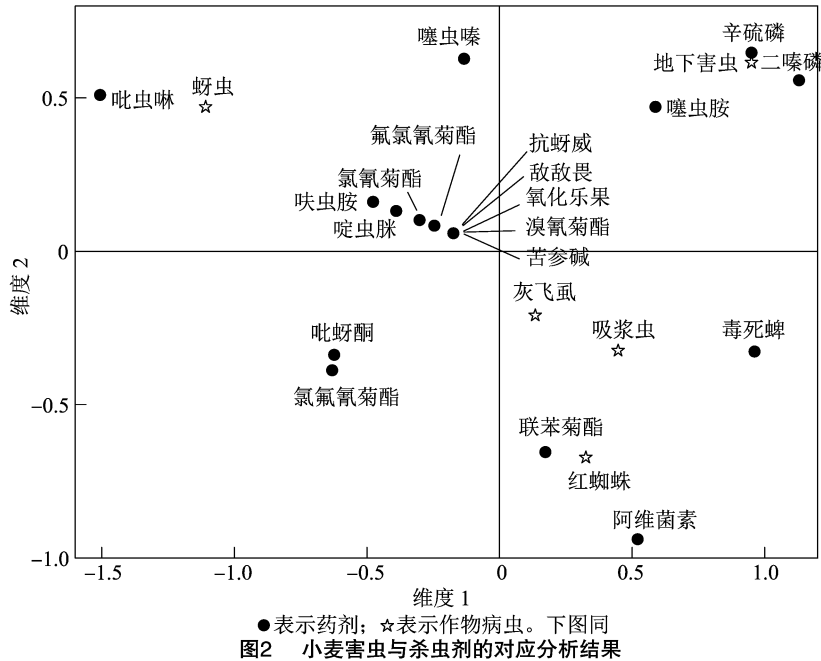
3.1 小麦杀虫剂用药规律

小麦蚜虫、地下害虫和螨类用药特征较突出,而吸浆虫、灰飞虱防治则用药特征不明显;杀虫剂

方面以吡虫啉、辛硫磷、二嗪磷和阿维菌素办理登记证较多。

麦田地下害虫防治效果被认可度最高的是辛硫磷和二嗪磷, 登记频次较低的杀虫剂有噻虫胺, 其中辛硫磷和噻虫胺的登记靶标专一性略高于二嗪磷。小麦蚜虫防治效果认可度最高且登记靶标专一性较强的是吡虫啉, 共办理了 150 个登记证 (简称“150 次”, 下同), 其他适宜使用的杀虫剂还有噻虫啉、吡蚜酮和氯氟氰菊酯, 但登记靶标专一性不强, 而呋虫胺、啶虫脒、氯氰菊酯、氟氯氰菊酯

等登记频次较低且防治谱非常相似; 抗蚜威、敌敌畏、氧化乐果、溴氰菊酯和苦参碱高密度聚集在坐标原点附近, 每种杀虫剂仅有 2 家单位登记。小麦红蜘蛛用药认可度方面, 阿维菌素略高于联苯菊酯。小麦吸浆虫杀虫剂登记频次较高的是毒死蜱, 但毒死蜱也是重要的地下害虫防治药剂, 故其散点位于小麦吸浆虫和地下害虫正向矢量夹角之间, 可以兼治二者。小麦灰飞虱用药特征不明显, 目前登记的单剂只有吡蚜酮 (图 2)。



3.2 小麦杀菌剂用药规律

小麦锈病用药特征最明显, 其次是赤霉病、全蚀病、黑穗病、白粉病, 用药特征最不明显的是纹枯病和根腐病; 小麦杀菌剂登记频次最高的 4 种是苯醚甲环唑、氟环唑以及作用机制相似的多菌灵和甲基硫菌灵。小麦锈病防治用药认可度表现为氟环唑 > 粉唑醇 > 醚菌酯 > 环丙唑醇 ≈ 己唑醇, 较少使用的有嘧啶核苷类抗菌素。小麦全蚀病、黑穗病和纹枯病同时发生时, 可选择其正向矢量交叉区域中的苯醚甲环唑兼治。戊唑醇尽管靶标登记专一性不强, 但在黑穗病上登记频次很高 (22 次)。防治这 3 种病害较少使用的有硅噻菌胺、噻呋酰胺和木霉菌。小麦赤霉病防治用药登记频次最多的是多菌灵和甲基硫菌灵, 从植物保护角度而言, 这 2 种杀菌剂作用机制相似, 且往往会产生交互抗性。小麦白粉病防治用药登记靶标专一性强且认可程度较高

的是三唑酮 (19 次) 和吡唑醚菌酯 (8 次)。尽管戊唑醇和粉唑醇相对于上述 2 种杀菌剂在白粉病上登记频次更高 (分别为 23、9 次), 但戊唑醇在黑穗病 (22 次) 上以及粉唑醇在锈病 (13 次) 上也有很高的登记频次, 因此尽管这些广谱性杀菌剂也可用来防治白粉病, 但在白粉病单独发生时不推荐作为防治药剂, 以便延缓病原菌抗药性的发育 (图 3)。

3.3 玉米杀虫剂用药规律

玉米害虫用药特征比较明显的是灰飞虱、地下害虫、玉米螟; 氟虫腈和噻虫啉办理登记证最多。尽管二点委夜蛾 (*Athetis lepigone*) 是地下害虫, 但用药特征却与蛀穗、食叶类害虫相似。其中, 草地贪夜蛾近年才传入我国, 目前已登记的杀虫剂并不多。另外, 二点委夜蛾、黏虫这类偶发性害虫登记用药也不多, 反映了生产厂商在收益与风险之间进行权衡。玉米地下害虫防治效果认可度表现为氟虫

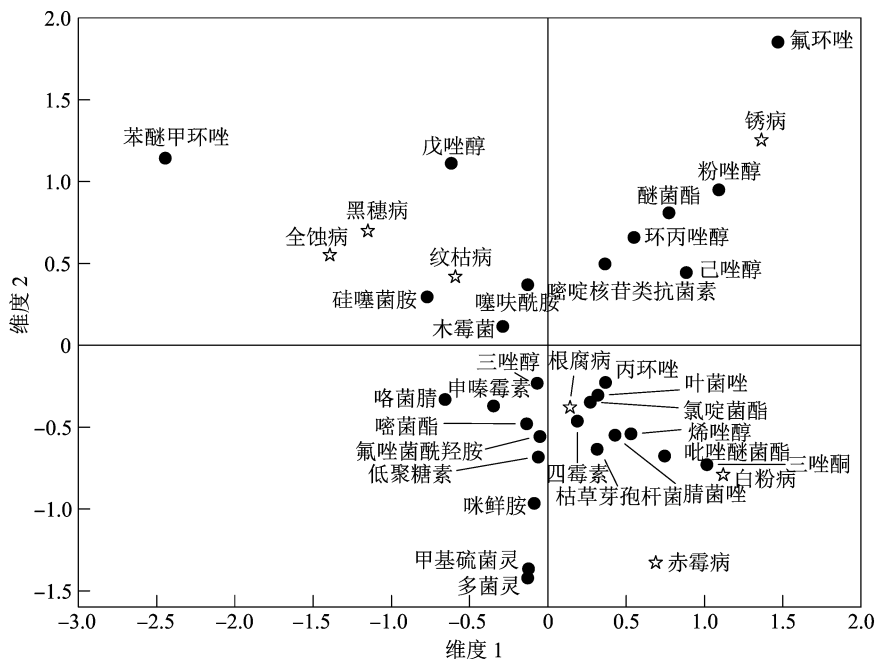


图3 小麦病害与杀菌剂的对应分析结果

腈 > 毒死蜱 > 丁硫克百威 > 氯氰菊酯。毒死蜱以土壤处理方式施用,其他3种均为包衣剂。刺吸式口器的害虫(灰飞虱、蚜虫)中,灰飞虱受重视程度更高,可能是由于其还能间接传播玉米粗缩病。防治这2种害虫认可度最高且登记靶标专一性最强的是噻虫嗪,较少使用的是吡虫啉和噻虫胺。

第四象限中涉及的害虫种类多,且生物农药种类所占比例较大。玉米螟防治用药登记频次最高的是辛硫磷(8次),苏云金杆菌和球孢白僵菌登记频次大致相当(分别为6、5次),氯虫苯甲酰胺也有相对较高的登记频次(4次)。第四象限其他3种害虫的防治登记农药均较少,其中黏虫登记的杀虫剂有氯虫苯甲酰胺(PD20100677、PD20171109)、乙酰甲胺磷(PD20101948)、球孢白僵菌(PD20180788)和氯氟氰菊酯(PD20110291);防治草地贪夜蛾登记的杀虫剂有甘蓝夜蛾核型多角体病毒(PD20150817)、金龟子绿僵菌CQMa421(PD20171744)和球孢白僵菌(PD20190002);防治二点委夜蛾登记的杀虫剂有甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(PD20132150、PD20141273)和氯虫苯甲酰胺(PD20100677)(图4)。

3.4 玉米杀菌剂用药规律

防治玉米大斑病认可度最高的是吡唑醚菌酯(12次),较少使用的是井冈霉素。防治玉米丝黑穗病认可度最高的是戊唑醇(32次),灭菌唑和苯醚甲环唑应用较少且均有5家单位登记。登记用于防治

玉米茎基腐病的杀菌剂远远多于黑粉病、小斑病和纹枯病。其中,防治玉米茎基腐病登记最多的杀菌剂是咯菌腈(6次),主要是作为拌种剂使用,较少使用的是精甲霜灵,其他3种病害登记的杀菌剂屈指可数。防治黑粉病登记用药分别是苯醚甲环唑(PD20141612)和氟唑环菌胺(PD20150321),而防治玉米纹枯病和玉米小斑病目前仅有井冈霉素取得登记(PD20150331,1个登记证同时涉及2个病害靶标)(图5)。

3.5 水稻杀虫剂用药规律

稻飞虱、稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)和钻蛀性螟虫[含二化螟和三化螟(*Scirpophaga incertulas*)]用药特征最明显,其他次要害虫还有蚜虫、潜叶蝇、大螟(*Sesamia inferens*)(属于钻蛀性夜蛾类害虫)、叶蝉、稻瘿蚊(*Orseolia oryzae*)和稻水象甲。阿维菌素类似物、吡蚜酮和三唑磷登记最多。

刺吸式害虫稻飞虱用药特征比蚜虫更明显。稻飞虱杀虫剂中按照认可度表现为吡蚜酮 > 吡虫啉 > 噻虫嗪 > 噻嗪酮 > 烯啶虫胺。稻纵卷叶螟防治效果认可度最高的是阿维菌素类似物,其次是毒死蜱和茚虫威,使用较少的是苏云金杆菌。

第三象限以蛀茎蛾类(二化螟、三化螟、大螟)危害最大,危害方式和防治用药相似,归纳分析如下:防治蛀茎蛾类登记用药最多的是三唑磷(33次),其次是阿维菌素类似物(17次)和甲氧虫酰胺。另外,防治福寿螺登记的2种杀虫剂分别是杀

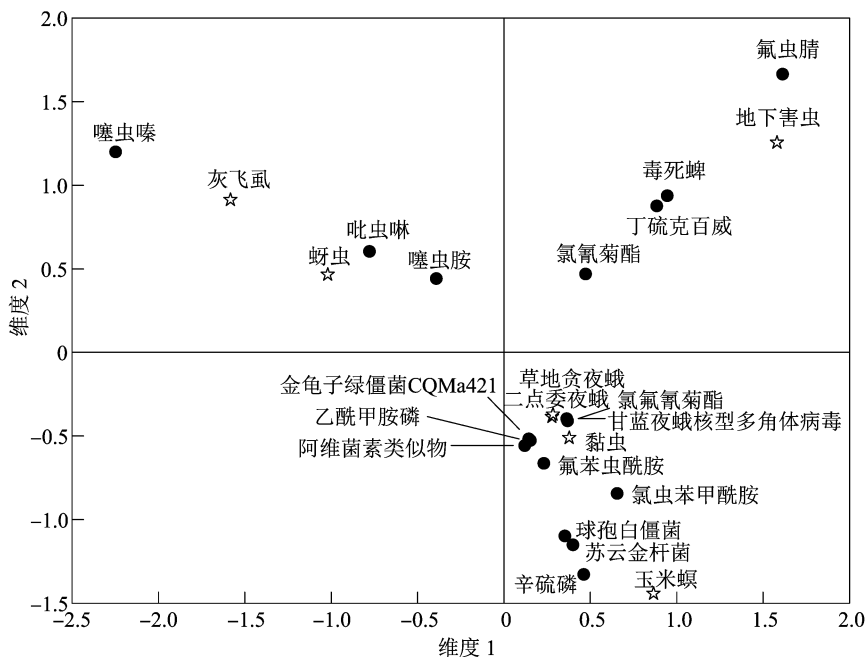


图4 玉米害虫与杀虫剂的对应分析结果

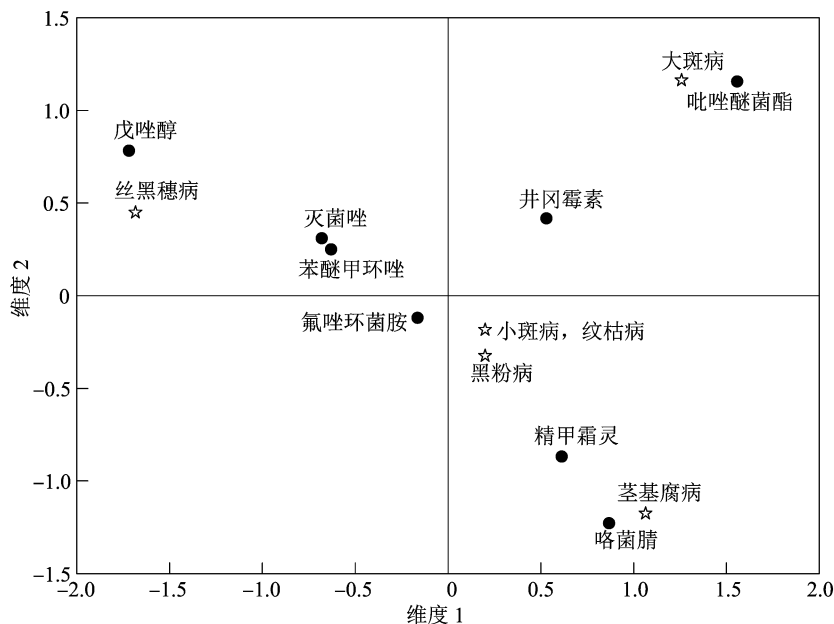


图5 玉米病害与杀菌剂的对应分析结果

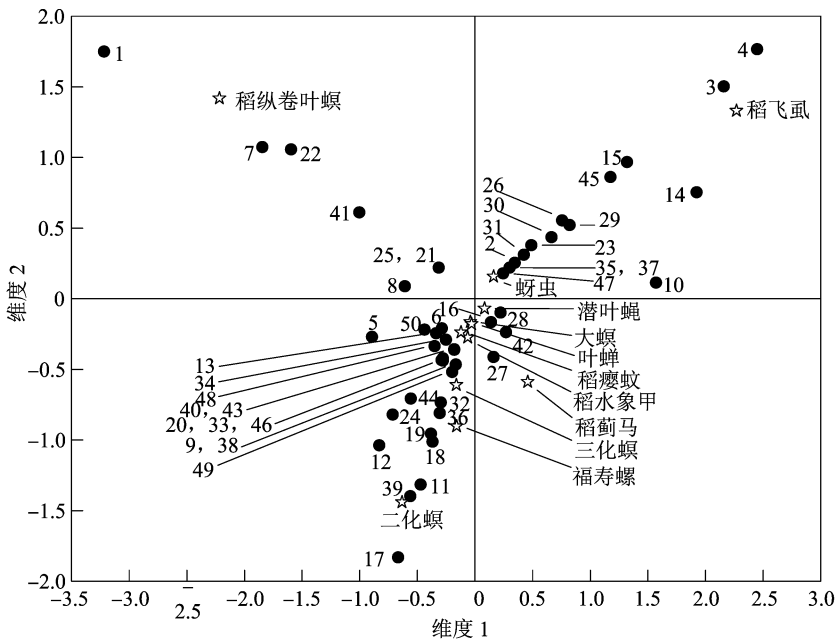
螺胺(29次)和四聚乙醛(8次)。稻飞虱和稻蓟马同时发生时,可以选择噻虫嗪兼治(图6)。

3.6 水稻杀菌剂用药规律

稻瘟病、稻曲病和纹枯病用药特征最明显;其次是恶苗病和立枯病。戊唑醇、噻唑酰胺、己唑醇和三环唑登记最多。

稻曲病、恶苗病和立枯病有望用同种杀菌剂兼治。其中,稻曲病防治效果认可度最高且登记靶标专一性最强的是戊唑醇(39次);恶苗病防治效果认可度最高的是咪鲜胺类(25次),另外咯菌腈和恶霉

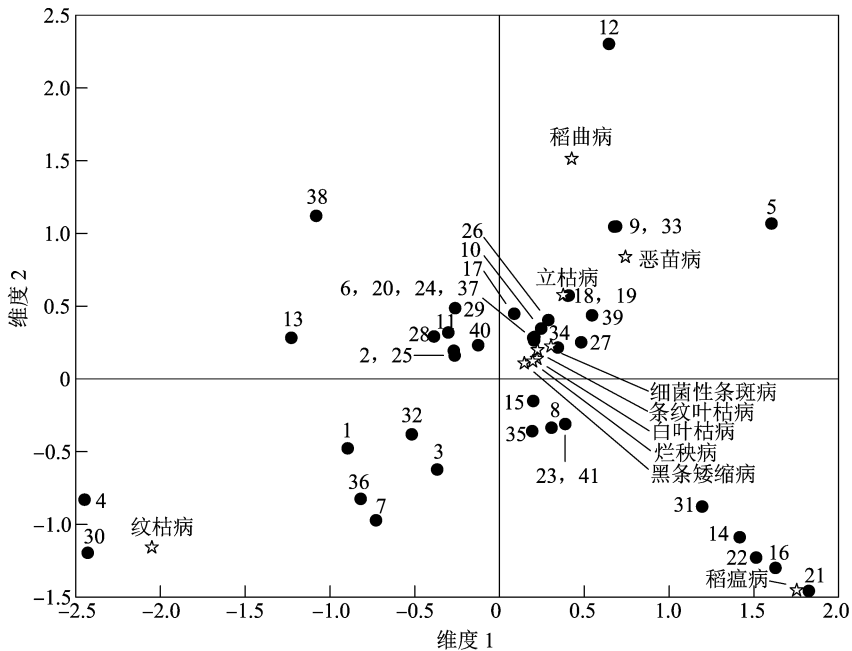
灵应用也较多;立枯病防治效果认可度最高且登记靶标专一性最强的是恶霉灵(18次)。纹枯病防治效果认可度最高的是噻唑酰胺(104次)和己唑醇(108次)。稻瘟病防治效果认可度最高的是三环唑(44次),其他杀菌剂按照认可度表现为春雷霉素>稻瘟酰胺>稻瘟灵>枯草芽孢杆菌。其他登记证办理较少的水稻不常见病害防治用药的简单统计结果如下:防治水稻细菌性条斑病,氯溴异氰尿酸和辛菌胺醋酸盐各登记4次;防治水稻条纹叶枯病,香菇多糖登记7次;防治水稻白叶枯病,氯溴异氰尿



- 1—阿维菌素类似物；2—氟啶虫酰胺；3—吡虫啉；4—吡蚜酮；5—丙溴磷；6—稻丰散；7—毒死蜱；8—多杀霉素；9—二嗪磷；10—呋虫胺；11—甲氧虫酰胺；12—氯虫苯甲酰胺；13—氟氟虫脲；14—噻虫嗪；15—噻虫酮；16—醚菊酯；17—三唑磷；18—杀虫单；19—杀虫双；20—啶硫磷；21—苦皮藤素；22—茚虫威；23—仲丁威；24—杀螟丹；25—辛硫磷；26—异丙威；27—甲萘威；28—苦参碱；29—噻虫胺；30—噻虫嗪；31—速灭威；32—四聚乙醛；33—金龟子绿僵菌 CQMa421；34—环虫酰胺；35—敌敌畏；36—丁硫克百威；37—啉虫脒；38—二化螟性诱剂；39—杀螺胺类；40—灭线磷；41—苏云金杆菌；42—马拉硫磷；43—水胺硫磷；44—乙酰甲胺磷；45—烯啶虫胺；46—溴氰虫酰胺；47—乙虫腈；48—乙基多杀菌素；49—乐果；50—球孢白僵菌

图6 水稻害虫与杀虫剂的对应分析结果

酸登记 3 次；防治水稻烂秧病，乙蒜素登记 4 次，精 2 次（图 7）。
甲霜灵登记 3 次；防治水稻黑条矮缩病，毒氟磷登记



- 1—苯醚甲环唑；2—丙环唑；3—多菌灵；4—己唑醇；5—咪鲜胺类；6—蜡质芽孢杆菌；7—啞菌酯；8—吡唑醚菌酯；9—咯菌腈；10—精甲霜灵；11—嘧啶核苷类抗菌素；12—戊唑醇；13—井冈霉素；14—稻瘟灵；15—丙硫唑；16—春雷霉素；17—淀粉芽孢杆菌；18—香菇多糖；19—氯溴异氰尿酸；20—噻唑锌；21—三环唑；22—稻瘟酰胺；23—异稻瘟净；24—毒氟磷；25—申啉霉素；26—噻森铜；27—乙蒜素；28—络氨铜；29—蛇床子素；30—噻呋酰胺；31—枯草芽孢杆菌；32—低聚糖素；33—噁霉灵；34—四霉素；35—多抗霉素；36—甲基硫菌灵；37—噻霉酮；38—氟环唑；39—辛菌胺醋酸盐；40—肟菌酯；41—烯丙苯唑啉

图7 水稻病害与杀菌剂的对应分析结果

3.7 低登记频次农药总结

随着气候变化、贸易往来、耕作制度变迁、生物入侵、病虫抗性发育等过程,粮食作物病虫害也会发生相应变化,出现一些次要病虫害上升为主要病虫害的情况。在这种情况下,对应分析得出的规律

未必适应未来更长时间尺度。因此,将目前已经在三大粮食作物上取得登记但只有 1 家农资生产企业认可的登记证信息(本研究称为“农药-靶标单一对应关系”)汇总如表 1 所示。

表 1 小麦、玉米、水稻上农药-靶标单一对应关系的登记证信息总结

登记证号	作物	农药名称	靶标	登记证号	作物	农药名称	靶标
PD20100757	小麦	倍硫磷	吸浆虫	PD20172813	水稻	抑食肼	稻纵卷叶螟
PD20101948	小麦	乙酰甲胺磷	黏虫	PD20171751	水稻	四氯虫酰胺	稻纵卷叶螟
PD20130834	小麦	丁硫克百威	地下害虫	PD20130365	水稻	短稳杆菌	稻纵卷叶螟
PD20160335	小麦	氟啶虫胺腈	蚜虫	PD20182433	水稻	甘蓝夜蛾核型多角体病毒	稻纵卷叶螟
PD20190012	小麦	双丙环虫酯	蚜虫	PD20171740	水稻	三氟苯嘧啶	稻飞虱
PD20171744	小麦	金龟子绿僵菌	蚜虫	PD20171719	水稻	啶虫啉	稻飞虱
PD20181911	小麦	球孢白僵菌	蚜虫	PD20160336	水稻	氟啶虫胺腈	稻飞虱
PD20161004	小麦	藜芦碱	蚜虫	PD20170900	水稻	耳霉菌	稻飞虱
PD20131555	小麦	三唑磷	蚜虫	PD20184014	水稻	环氧虫啉	稻飞虱
PD20171719	小麦	啶虫啉	蚜虫	PD20100739	水稻	杀螟硫磷	二化螟
PD20121670	小麦	氰烯菌酯	赤霉病	PD20170766	水稻	印楝素	二化螟
PD20190005	小麦	丙硫菌唑	赤霉病	PD20120413	水稻	丁虫脒	二化螟
PD20160347	小麦	咪鲜胺铜盐	赤霉病	PD20142155	水稻	哒螨灵	稻水象甲
PD20184026	小麦	多黏类芽孢杆菌	赤霉病	PD20172751	水稻	中生菌素	白叶枯病
PD20160289	小麦	萎锈灵	锈病	PD20190022	水稻	沼泽红假单胞菌 PSB-S	稻瘟病
PD20161321	小麦	灭菌唑	黑穗病	PD20101657	水稻	福美双	稻瘟病
PD20101627	小麦	五氯硝基苯	黑穗病	PD20152199	水稻	荧光假单胞杆菌	稻瘟病
PD20190266	小麦	氟唑菌苯胺	纹枯病	PD20130864	水稻	三乙膦酸铝	稻瘟病
PD20150331	小麦	井冈霉素	纹枯病	PD20190020	水稻	补骨脂种子提取物	稻瘟病
PD20110208	小麦	混合氨基酸铜	纹枯病	PD20160356	水稻	解淀粉芽孢杆菌 B7900	稻瘟病
PD20140874	小麦	荧光假单胞杆菌	全蚀病	PD20183957	水稻	粉唑醇	纹枯病
PD20130411	小麦	地衣芽孢杆菌	全蚀病	PD20131752	水稻	氟酰胺	纹枯病
PD20130369	小麦	大黄素甲醚	白粉病	PD20200738	水稻	氟唑菌酰胺	纹枯病
PD20171623	小麦	蛇床子素	白粉病	PD20100358	水稻	井冈霉素(20%)	纹枯病
PD20181615	小麦	甾烯醇	花叶病毒病	PD20100836	水稻	井冈霉素(5%)	纹枯病
PD20180772	玉米	松毛虫赤眼蜂	玉米螟	PD20110520	水稻	氧化亚铜	纹枯病
PD20171751	玉米	四氯虫酰胺	玉米螟	PD20141264	水稻	醚菌酯	纹枯病
PD20210223	玉米	硫双威	地下害虫	PD20190021	水稻	嗜硫小红卵菌 HNI-1	稻曲病
PD20200295	玉米	溴氰虫酰胺	地下害虫	PD20181308	水稻	波尔多液	稻曲病
PD20141394	玉米	甲硫磷	地下害虫	PD20110530	水稻	碱式硫酸铜	稻曲病
PD20183984	玉米	唑螨酯	螨类	PD20121670	水稻	氰烯菌酯	恶苗病
PD20181052	玉米	吡蚜酮	灰飞虱	PD20101619	水稻	敌磺钠	立枯病
PD20183433	玉米	呋虫胺	蚜虫	PD20101203	水稻	甲基立枯磷	立枯病
PD20121813	玉米	低聚糖素	粗缩病	PD20131756	水稻	寡雄腐霉菌	立枯病
PD20161626	玉米	咪霉灵	茎基腐病	PD20181621	水稻	甲基营养型芽孢杆菌 LW-6	细菌性条斑病
PD20190266	玉米	氟唑菌苯胺	丝黑穗病	PD20181615	水稻	甾烯醇	黑条矮缩病
PD20181893	玉米	枯草芽孢杆菌	大斑病	PD20101043	水稻	盐酸吗啉胍	条纹叶枯病
PD20131530	玉米	啶菌酯	丝黑穗病	PD20180623	水稻	宁南霉素	条纹叶枯病
PD20160345	玉米	四霉素	丝黑穗病	PD20101385	水稻	苦参碱	条纹叶枯病

4 结论

本研究将粮食作物病虫害用药规律描绘成简明的“一张图”,蕴含着丰富的信息,无论对于粮食种植户、农药产销商还是植保行业的技术指导、植物保护教材的修订都有良好的借鉴意义。得出如下结论:(1)小麦病虫害。地下害虫推荐用辛硫磷、二嗪磷、噻虫胺防治;蚜虫优先选择吡虫啉,还可以选择噻虫啉、吡蚜酮和氯氟氰菊酯;红蜘蛛用阿维菌素防治;吸浆虫用毒死蜱防治;防治锈病可按照“氟环唑>粉唑醇>醚菌酯>环丙唑醇≈己唑醇”的顺序选择使用;单独发生的黑穗病推荐用戊唑醇防治,在全蚀病、黑穗病和纹枯病同时发生的情况下可用苯醚甲环唑兼治;赤霉病推荐用多菌灵或甲基硫菌灵进行防治,但最好与其他杀菌剂轮换使用;白粉病用三唑酮和吡唑醚菌酯防治。(2)玉米病虫害。地下害虫用氟虫腈或丁硫克百威拌种,或用毒死蜱进行土壤处理;灰飞虱和玉米蚜虫用噻虫啉包衣防治;玉米螟建议用生物农药苏云金杆菌或辛硫磷在大喇叭口期丢心防治;其他食叶类害虫推荐用甲氨基阿维菌素苯甲酸盐或氯虫苯甲酰胺喷雾;大斑病用吡唑醚菌酯喷雾防治;丝黑穗病用戊唑醇包衣防治;茎基腐病用咯菌腈+精甲霜灵拌种。(3)水稻病虫害。钻蛀性螟虫用三唑磷、阿维菌素类似物或甲氧虫酰肼喷雾防治;防治稻飞虱按照“吡蚜酮>吡虫啉>噻虫啉>噻嗪酮>烯啶虫胺”的顺序选择用药;稻纵卷叶螟用阿维菌素类似物喷雾防治;稻曲病用戊唑醇喷雾防治;恶苗病用咪鲜胺及其锰盐防治;立枯病用噻霉灵防治;纹枯病采用噻呋酰胺或己唑醇防治;防治稻瘟病可以按照“三环唑>春雷霉素>稻瘟酰胺>稻瘟灵>枯草芽孢杆菌”的顺序选择使用。

在本研究用药规律的实践应用中,需要注意登记证防治对象的命名偏好性。例如,“红蜘蛛”和“螨类”,“蛴螬”和“金龟甲”,应当注意查找这些害虫的多种别称,然后从图上寻找最合适的农药。如果某种害虫的种类得到了确切鉴定但对应分析图上找不到合适用药,可以从其上位概念的类别中寻找合适的农药,例如针对麦二叉蚜,就按照图2中“蚜虫”的散点寻找合理的杀虫剂。由于对应分析难以处理登记年限的早晚问题,以及混剂中活性成分的增效作用或相对贡献问题,本研究仅统计了2010年之后登记的较新型农药,并且仅采集了单剂的登记信息,

并将登记频次过低的(或许是新型的)农药单独列出,从而兼顾到了结论的普适性和前瞻性。

本研究的启示如下:(1)在喷施农药时,如果遇到2种及以上害虫(或者病害)同时发生,可以观察对应分析图上这些靶标正向矢量的夹角是否很小,如果是,就可用1种散落在2个靶标正向矢量所夹区域中等价广谱性农药兼治,减少施药次数,降低人力和农药成本;(2)正向矢量夹角非常小的农药,避免复配在一起,因为其防治谱或作用机制非常近似,容易产生交叉抗性;(3)农药负面作用有时需要长期应用才会凸现出来,进而被列入禁限用名录。当某些农药品种因抗药性或残留问题被禁用而新型替代产品尚未研发成功时,可以首先根据对应分析图上与防治对象正向矢量夹角 $<90^\circ$ 的原则确定可用农药范围,再根据这些可用农药的散点离坐标原点的远近顺序构建应急用药体系。

参考文献:

- [1]郭子平. 贯彻落实《农作物病虫害防治条例》切实保护粮食生产安全[J]. 湖北植保,2020(1):3.
- [2]夏敬源. 大力推广农业科技成果努力确保国家粮食安全[J]. 中国农技推广,2011,27(8):4-8.
- [3]姜玉英,刘万才,黄冲,等. 2019全国农作物重大病虫害发生趋势预报[J]. 中国植保导刊,2019,39(2):36-39.
- [4]向涛,綦勇. 粮食安全、食品安全与贸易:基于农药使用强度的跨国面板数据分析[J]. 国际贸易问题,2014(7):33-41.
- [5]许保疆,游一,薛华政,等. 科技支撑国家粮食安全的思考及建议[J]. 农业科技管理,2020,39(4):25-29.
- [6]徐树仁,刘万才,曾娟,等. 我国植物保护70年回顾与展望[J]. 中国植保导刊,2021,41(4):29-32.
- [7]张长青,甄鑫平. 我国粮食种植户减施农药存在的问题及对策研究[J]. 辽宁经济,2019,(11):9-11.
- [8]王一杰,邸菲,辛岭. 我国粮食主产区粮食生产现状、存在问题及政策建议[J]. 农业现代化研究,2018,39(1):37-47.
- [9]Beh E J, Lombardo R. Correspondence analysis: theory, practice and new strategies[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014.
- [10]曹玉茹. 基于SPSS对应分析的定性数据分析方法研究[J]. 福建电脑,2018,34(10):4-6,20.
- [11]孙道志. 统计分析中对应分析方法应用[J]. 黄山学院学报,2006,8(3):13-16.
- [12]陶凤梅. 对应分析的数学模型[D]. 长春:吉林大学,2005.
- [13]Freudenthal M, Martín - Suárez E, Gallardo J A, et al. The application of correspondence analysis in palaeontology [J]. Comptes Rendus Palevol,2009,8(1):1-8.
- [14]杨青霁. 种子包衣诱导水稻抗镰刀菌立枯病生防细菌筛选及鉴定研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2020.
- [15]于兴东. 水稻主要病害及其防治方法[J]. 安徽农学通报,2008,14(10):37,102.