

长江流域冬小麦农药减量增效评价指标研究与应用

束放¹, 郭永旺¹, 秦萌¹, 赵中华¹, 王海波², 唐启义^{3*}

(1. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 2. 江苏省植物保护植物检疫站, 南京 210036;

3. 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310058)

摘要 本文基于2015年—2019年全国农户农药购买和使用情况的抽样调查,对长江流域5省16个县(市、区)冬小麦用药情况8个指标的监测数据进行了统计分析。结果表明,以农药毒性指数评价小麦农药减量增效好于其他指标,该指标可为定量、合理评估小麦科学安全使用农药提供依据,并可作为政府决策、技术部门指导小麦生产用药和减量使用的参考。

关键词 冬小麦; 农药毒性指数; 农药减量增效

中图分类号: S48 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020640

Study and application of the evaluation indexes of wheat pesticide reduction and efficiency in the Yangtze River Basin

SHU Fang¹, GUO Yongwang¹, QIN Meng¹, ZHAO Zhonghua¹, WANG Haibo², TANG Qiyi^{3*}

(1. National Agro-technical Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 2. Plant

Protection and Plant Quarantine Station of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China;

3. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract Based on the sampling survey of farmers' pesticide purchase and use in China from 2015 to 2019, the monitoring data of eight indicators of winter wheat drug use in 16 counties (cities, districts) of five provinces in the Yangtze River Basin were statistically analyzed. The results showed that the toxicity index was better than other indexes in evaluating the reduction and efficiency of wheat pesticides. This index can provide a basis for quantitative and reasonable evaluation of the scientific and safe use of pesticides in wheat, and can be used as a reference for government decision-making and technical departments to guide the use of pesticides in wheat production.

Key words winter wheat; pesticide toxicity index; pesticide reduction and efficiency

冬小麦是我国主要粮食作物之一,不同年份、不同地域小麦病虫害发生情况不同,冬小麦上农药的使用品种和用药量波动较大。一直以来,人们对农作物上农药减量增效的关注点主要在农药商品量(实物量)和折百量(有效成分量)上,但由于各个农药品种的含量、对靶标生物毒性以及对环境的影响千差万别,仅靠商品量和折百量等传统指标不足以客观评价农药减量增效工作^[1-5]。作者依托全国农药械信息管理系统(ACMIS),对2015年—2019年长江流域冬小麦用药的农户抽样调查数据进行统计分析,以期通过对冬小麦亩用药商品量、亩用药折百

量、毒性强度等指标进行综合分析,筛选出能够多角度反映农药用量变化趋势、减量控害走向的指标,明确能供政府、技术部门指导小麦生产用药,合理评估小麦用药的科学指标,为农药科学安全使用和农药减量增效提供依据。

1 材料与方法

1.1 农药使用数据来源及调查指标

选择长江中下游的江苏、浙江、安徽、湖北、四川5省,共计16县(市、区)(表1)开展了农药使用情况调查和数据收集。

收稿日期: 2020-11-30 修订日期: 2021-01-06

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200500)

* 通信作者 E-mail: qytang@zju.edu.cn

表 1 冬小麦农药使用调查监测试点分布情况

Table 1 Distribution of pesticide use investigation and monitoring sites in winter wheat

省份 Province	县(市、区)数/个 Number of counties(cities,districts)	县(市、区) Counties(cities,districts)
江苏 Jiangsu	6	盐都区、丰县、金坛市、张家港市、高邮市、楚州区
浙江 Zhejiang	2	平湖市、萧山区
安徽 Anhui	4	凤台县、颍上县、譙城区、东至县
湖北 Hubei	1	荆州区
四川 Sichuan	3	广汉市、苍溪县、三台县

从全国农药械信息管理系统(ACMIS)中调取 2015 年—2019 年冬小麦农药使用量数据,包括中低毒面积比例、亩用药商品量、亩用药折百量、亩用药成本、防治次数、桶混次数、毒性指数、毒性强度等 8 个指标,其定义和计算公式如下:

中低毒面积比例=中低毒农药防治面积/该作物农药防治总面积×100%;

亩用药商品量=农药商品用量/该作物种植面积;

亩用药折百量=Σ[某农药亩用药商品量×该农药有效成分含量];

亩用药成本=Σ[某农药亩用药商品量×某农药单价]。

防治次数=某种作物整个生长季节用药次数。

桶混次数=某种作物整个生长季节用药亩次/该作物种植面积。

毒性^[6]是指某种农药对非靶标生物(天敌昆虫、人畜等)的毒害能力。毒性指数是单位面积农作物上所使用的农药对非靶标生物(天敌昆虫、人畜等)毒害程度的度量。在评价农药毒性过程中,将中等毒性的农药种类的毒性因子系数取值为 1(作为基准)。鉴于不同等级毒性农药对非靶标生物的影响随农药浓度呈指数增加^[7],因此其他毒性等级农药种类的毒性因子系数(I_n)取值用下面公式来表达:

$$I_n = 4^{n-3}$$

n 为毒性级别,各种农药毒性为微毒、低毒、中等毒、高毒和剧毒时,其毒性级别值分别为 1,2,3,4 和 5。因此通过该式可得各个级别农药毒性因子系数 $I_1 \sim I_5$ 分别为 0.062 5,0.25,1.0,4.0 和 16.0。然后定义毒性指数计算公式为:

毒性指数=Σ[某种农药亩用药折百量×某种农药毒性因子系数 I_n]。

农药毒性指数越高,对非靶标生物,即对环境生物的毒害能力越强。

毒性强度=毒性指数/亩用药折百量。

1.2 调查原则及方法

农药使用量调查主要以农作物种植生态区划为依据,既考虑农作物种植特点,又考虑生态地理条件对农作物病虫害发生的影响。

在选择布点时考虑了以下几个原则:一是一致性。试点县农业生产水平、社会经济条件的相对一致性。二是代表性。试点县作物种植结构、耕作制度特点的代表性。三是典型性。常年病虫发生、用药特点及地理区域的典型性。四是规范性。试点县调查农户样本的规范性。

每个试点县调查 30 个农户(含种植大户)作为样本点。样本点选择原则是:选择 3~5 个乡镇,每个乡镇选择 6~10 个可反映当地农药使用水平的种植大户、普通农户。

1.3 数据分析

根据长江流域 16 个县(市、区)冬小麦农药使用数据,包括中低毒面积比例(%)、亩用药商品量($\text{g}/667\text{m}^2$)、亩用药折百量($\text{g}/667\text{m}^2$)、亩农药成本($\text{元}/667\text{m}^2$)、防治次数(次)、桶混次数(次)、毒性指数及毒性强度,采用 DPS 数据处理系统 V 18.10 高级版^[8]进行方差分析、回归分析、R 型因子聚类分析,以及因子分析,筛选可以科学反映农药使用变化趋势的调查指标。

方差分析 P 值用以识别每个农药指标在评价小麦农药使用在年度间或地点间的差异性是否有统计学意义。 $P \geq 0.05$,可认为年度或地点间农药用量水平差异不显著; $P < 0.05$,认为年度或地点间农药用量水平有显著差异;如果 $P < 0.01$ 则认为差异极显著。

R 型因子聚类是将各个因子按其相似性进行聚类,相似程度高的某几个指标,可能在评价农药使用水平过程中有相互重叠的效应。筛选出来的指标应尽可能具有某个类别的代表性且因子间重叠部分较小。

R 型因子分析是对 R 型聚类分析的进一步量化统计分析。本研究采用最大似然法提取因子,提取的各个公共因子载荷的平方和为共同度,它反映了

提取的几个公共因子对该变量变化的解释程度。剩下的不能解释的部分为特殊方差。提取公共因子之后,对因子实施极大正交旋转,以简化因子结构。通过因子分析,将我们定义的 8 个指标划分为若干个抽象的因子类型。每个公共因子都提取了(或集中表达了)某几种农药用量指标的特征。因此通过因子分析确定哪些指标用于评价小麦农药减量增效更

有意义。

2 结果与分析

2.1 冬小麦农药用量评价指标方差分析

2015 年—2019 年长江流域 5 省 16 个县(市、区)冬小麦农药用量抽样调查指标方差分析结果见表 2 和 3。

表 2 2015 年—2019 年试点县(市、区)冬小麦农药使用各个指标方差分析

Table 2 Analysis of variance of each indicator of pesticide use in winter wheat in pilot counties (cities and districts) from 2015 to 2019

县(市、区) Counties (cities,districts)	中低毒面积比例/% Area proportion of medium- and low- toxicity pesticides	亩用药商品量/ g·(667m ²) ⁻¹ Commodity quantity of pesticides per 667 m ²	亩用药折百量/ g·(667m ²) ⁻¹ Net amount of pesticides used per 667 m ²	亩用药成本/ 元·(667m ²) ⁻¹ Pesticide cost per 667 m ²
丰县 Fengxian	88.61±5.76	193.72±67.10	58.86±17.37	25.70±9.04
金坛市 Jintan	96.49±6.46	327.94±119.39	123.04±43.86	36.04±20.75
张家港市 Zhangjiagang	100.00±0.00	258.59±67.60	100.01±16.36	26.26±14.12
楚州区 Chuzhou	96.02±2.12	532.35±162.05	156.88±45.57	35.43±6.23
盐都县 Yandu	88.81±9.98	427.26±116.66	143.61±38.39	34.22±3.89
高邮市 Gaoyou	95.41±1.51	455.00±87.10	118.75±36.95	45.76±11.44
萧山区 Xiaoshan	95.56±9.94	291.51±106.65	116.42±41.18	21.99±12.40
平湖水 Pinghu	97.97±2.70	260.52±42.34	101.69±14.47	26.24±2.68
凤台县 Fengtai	98.15±2.42	225.59±100.32	46.46±15.60	22.93±4.43
颍上县 Yingshang	86.54±5.24	204.86±38.69	51.98±11.31	22.05±2.71
谯城区 Qiaocheng	76.81±5.37	251.30±69.07	52.91±5.05	16.95±3.98
东至县 Dongzhi	98.72±2.86	150.60±63.03	39.87±18.07	16.76±2.72
荆州区 Jingzhou	98.05±1.99	297.66±68.75	82.52±15.18	26.10±9.50
广汉市 Guanghan	90.73±11.15	160.09±34.08	50.55±10.76	18.73±6.77
三台县 Santai	82.90±21.92	182.93±26.93	45.85±10.45	22.27±8.59
苍溪县 Cangxi	91.78±15.89	156.07±27.16	37.66±18.03	21.37±3.52
F	3.373 6	9.626 3	11.675 1	5.256 2
P	0.000 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0

县(市、区) Counties (cities,districts)	防治次数/次 Control times	桶混次数/次 Mixing times of barrel	毒性指数 Toxicity index	毒性强度 Intensity of toxicity
丰县 Fengxian	2.47±0.54	4.12±0.71	46.99±46.34	71.76±48.05
金坛市 Jintan	3.41±1.06	5.42±2.38	40.69±9.44	40.30±29.97
张家港市 Zhangjiagang	2.82±0.96	4.45±1.42	24.31±3.93	24.32±0.46
楚州区 Chuzhou	4.02±0.37	10.17±3.08	40.89±11.91	26.05±1.01
盐都县 Yandu	3.08±0.20	6.34±0.64	52.12±14.72	36.93±7.47
高邮市 Gaoyou	2.99±0.20	7.09±0.95	38.94±15.00	32.26±3.52
萧山区 Xiaoshan	2.32±0.26	3.30±0.21	31.14±10.55	26.94±3.70
平湖水 Pinghu	2.73±0.31	4.39±0.22	38.83±6.75	38.13±2.89
凤台县 Fengtai	2.31±1.17	3.44±1.04	12.28±3.86	26.56±1.15
颍上县 Yingshang	2.76±0.27	4.46±0.28	23.47±7.43	45.42±12.74
谯城区 Qiaocheng	2.98±0.35	4.84±0.77	56.94±44.07	105.72±79.08
东至县 Dongzhi	2.22±0.72	4.05±1.00	10.05±4.52	25.16±1.77
荆州区 Jingzhou	3.29±0.35	4.43±1.07	26.16±5.57	32.01±6.43
广汉市 Guanghan	1.55±1.06	3.68±1.50	14.18±3.33	28.06±2.02
三台县 Santai	1.73±0.90	3.05±1.11	24.11±3.76	53.76±8.03
苍溪县 Cangxi	2.29±0.52	3.19±0.46	10.35±4.06	28.70±6.06
F	5.145 4	11.461 0	3.865 0	3.871 5
P	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 1

表 3 16 个监测试点县(市、区)2015 年—2019 年间冬小麦农药使用指标方差分析

Table 3 Analysis of variance for each indicator of pesticide use in winter wheat of 16 pilot counties (cities,districts) from 2015 to 2019

年份 Year	中低毒面积比例/% Area proportion of medium- and low- toxicity pesticides	亩用药商品量/ g · (667m ²) ⁻¹ Commodity quantity of pesticides per 667 m ²	亩用药折百量/ g · (667m ²) ⁻¹ Net amount of pesticides used per 667 m ²	亩用药成本/ 元 · (667m ²) ⁻¹ Pesticide cost per 667 m ²
2015	85.58±15.35	262.11±150.24	86.00±50.97	18.32±8.70
2016	92.70±8.46	308.38±161.27	87.91±46.89	24.25±9.05
2017	95.69±6.40	293.04±142.44	84.68±52.46	27.70±9.71
2018	95.13±8.02	265.37±121.43	83.54±45.08	28.54±12.49
2019	94.19±7.32	238.60±82.64	72.58±33.43	32.06±12.10
<i>F</i>	4.288 8	1.815 2	0.849 2	7.208 0
<i>P</i>	0.004 1	0.137 7	0.499 7	0.000 1

年份 Year	防治次数/次 Control times	桶混次数/次 Mixing times of barrel	毒性指数 Toxicity index	毒性强度 Intensity of toxicity
2015	2.26±0.87	3.80±1.98	31.09±15.33	40.61±23.75
2016	2.84±0.75	5.15±3.07	42.24±38.19	52.64±58.31
2017	2.94±0.69	5.19±1.98	28.91±18.25	36.30±19.16
2018	2.50±1.22	4.88±1.72	26.22±12.13	34.09±13.24
2019	2.90±0.49	4.85±1.44	25.11±10.27	37.00±14.62
<i>F</i>	3.609 0	3.544 0	2.591 7	1.451 1
<i>P</i>	0.010 6	0.011 6	0.045 4	0.228 4

不同县(市、区)各个农药用量指标的方差分析结果(表 2)表明,各项指标 *F* 值较大、显著性检验 *P* 值均小于 0.01,达到极显著水平。表明不同指标在各个地区(区县)之间,至少有一个区县与其他县存在极显著差异。

不同年份各个农药用量指标的方差分析结果(表 3)表明,亩用药成本、中低毒面积比例、防治次数、桶混次数及毒性指数的显著性 *P* 值小于 0.05,表明这几个指标在年度间存在显著差异,其中亩用药成本和中低毒面积比例有逐年上升的趋势。毒性指数作为衡量农药对非环境靶标毒性的指标,从 2016 年开始呈逐年下降的趋势。

以年份作为自变量 *x*,各项指标作为因变量 *y* 进行直线回归分析,发现只有亩用药成本与年份之间可建立直线回归方程: $y=-6\ 381.835+3.177x$,其相关系数 $r=0.967$, $F=43.10$, $P=0.007\ 3$,显示出显著上升趋势。这可能跟物价逐年上升,而这里没有对农药成本进行物价指数调整有关。

亩用药商品量、亩用药折百量和毒性强度,年份间统计检验差异不显著($P>0.05$)。尽管他们没有

达到统计学上的显著水平,但这 3 个指标除毒性强度 2019 年略有上升,其他显示的趋势都是从 2016 年开始逐年下降。

2.2 冬小麦农药用量评价指标的 R 型因子聚类分析

R 型聚类分析结果表明(图 1),8 个评价长江流域冬小麦农药用量指标,当类间距离大于 0.6 时可聚为 2 大类,一类是表述农药用量的,包括亩用药商品量、亩用药折百量、桶混次数、亩用药成本和防治次数等 5 个指标,且亩用药商品量和亩用药折百量两个指标相似性程度很高。另一类是表述农药毒性的,包括毒性强度、毒性指数和中低毒面积比例 3 个指标,这 3 个指标的相似程度也较高。因此,小麦农药用量评价从农药用量和农药毒性两个方面进行分析较为合理。

2.3 冬小麦农药用量评价指标因子分析

进一步采用因子分析方法对 8 个评价长江流域冬小麦农药用量的指标进行各指标关系的综合分析,得到两个综合因子,其旋转后的综合因子见表 4。

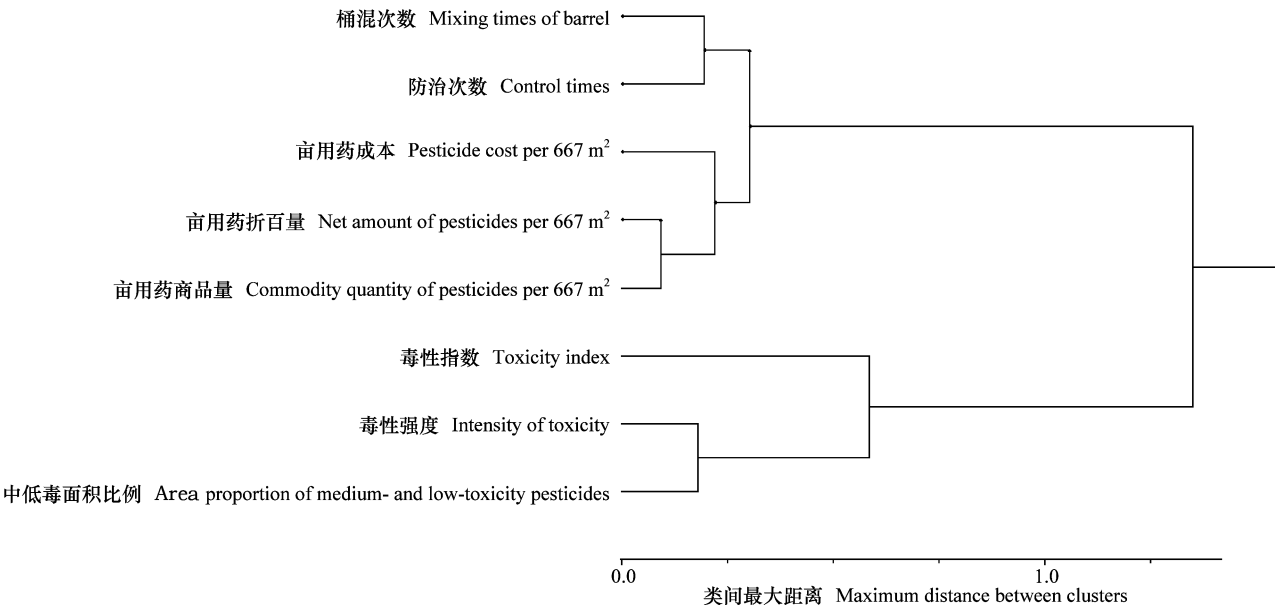


图 1 8 个冬小麦农药使用量评价指标的相似性聚类分析图

Fig. 1 Similarity clustering analysis chart of eight evaluation indexes of pesticide use reduction in winter wheat

表 4 长江流域冬小麦农药用量指标的因子分析¹⁾

Table 4 Factor analysis of pesticide dosage indexes of winter wheat in the Yangtze River Basin

指标 Index	载荷系数 Load factor		共同度 Communality	特殊方差 Special variance
	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2		
中低毒面积比例/% Area proportion of medium- and low-toxicity pesticides	0.130 1	−0.373 7	0.156 6	0.843 4
亩用药商品量 Commodity quantity of pesticides per 667 m ²	0.927 2	0.040 4	0.861 4	0.138 6
亩用药折百量 Net amount of pesticides used per 667 m ²	0.975 5	−0.089 4	0.959 6	0.040 4
亩用药成本 Pesticide cost per 667 m ²	0.639 4	−0.141 1	0.428 7	0.571 3
防治次数 Control times	0.610 8	−0.021 3	0.373 5	0.626 5
桶混次数 Mixing times of barrel	0.728 9	0.009 3	0.531 4	0.468 6
毒性指数 Toxicity index	0.560 2	0.795 7	0.947 0	0.053 0
毒性强度 Intensity of toxicity	−0.100 3	0.994 7	0.999 5	0.000 5
方差贡献 Variance contribution rate	4.432 2	2.133 0		
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	55.400 0	82.070 0		

1) 共同度：各个公共因子载荷的平方和。
Communality: The sum of squares of each load factor.

表 4 结果表明,第一个主因子在亩用药商品量、亩用药折百量、亩用药成本、防治次数、桶混次数及毒性指数这 6 个变量上有较大的载荷,该因子主要反映农药用量的使用水平,可将该因子称为农药用量因子;第二个主因子在毒性强度、毒性指数和中低毒面积比例这 3 个指标上有较大载荷,这 3 个指标都是描述农药毒性大小的,因此该主因子可称为农药毒性因子。这与上述 8 个因子的 R 型聚类分析结果基本一致。因子 1 和因子 2 的累计方差贡献为 55.40% 和 82.07%,解释系统变化程度已相当可观。

在第一个主因子中,除毒性强度外其余因子载荷系数均为正,表明这些因子指标越大,农药用量水平越高。这类因子中,载荷系数较大的是亩用药商品量、亩用药折百量;因此衡量农药使用量大小的评价以亩用药商品量、亩用药折百量因子指标为宜。在第二个主因子中,毒性强度和毒性指数的载荷系数为正,而中低毒面积比例的载荷系数为负,表明中低毒面积比例越大对环境毒性越小,这在评价毒性对环境的影响中也是合理的。毒性强度和毒性指数的载荷系数较大,因此衡量农药对环境毒性影响大小的评价以毒性强度和毒性指数这两因子指标为

宜。在因子分析中,毒性指数在第一主因子和第二主因子上均有较大的载荷系数,其变化不仅影响到农药对环境毒性,而且影响到农药用量,因此可认为农药毒性指数是冬小麦农药减施增效评价的关键因子。

2.4 冬小麦农药用量指标在冬小麦农药减施增效过程中的应用

进行农药减施增效技术效益评价有两方面的考虑,一是在农作物病虫发生时,必须施用适当的农药以挽回病虫对农作物造成的损失;二是采用化学农

药防治病虫时,尽量避免对环境(非靶标生物)造成不良影响,即化学防治带来的环境毒性越小越好。这两个方面就是我们在因子分析中提取得到的两个主因子。在8个指标中,农药毒性指数是唯一一对这两个主因子均有较大影响的农药使用强度指标。

将反映农药使用水平的经典指标(亩用药商品量和亩用药折百量),以及本文提出的农药毒性指数和农药毒性强度指标,以2015年为基数,分析2015年—2019年我国长江流域冬小麦上农药减施增效水平。这4个指标统计汇总结果分别列于表5。

表5 2015年—2019年长江流域冬小麦农药用量指标变化趋势

Table 5 Change trend of pesticide dosage indexes of winter wheat in the Yangtze River Basin from 2015 to 2019								
年份 Year	亩用药商品量/ g · (667m ²) ⁻¹ Commodity quantity of pesticides per 667 m ²	与2015年相比 变化幅度/% Change rate compared with 2015	亩用药折百量/ g · (667m ²) ⁻¹ Net amount of pesticides used per 667 m ²	与2015年相比 变化幅度/% Change rate compared with 2015	毒性指数 Toxicity index	与2015年相 比变化幅度/% Change rate compared with 2015	毒性强度 Intensity of toxicity	与2015年相比 变化幅度/% Change rate compared with 2015
2015	262.11	—	86.00	—	31.09	—	40.61	—
2016	308.38	17.65	87.91	2.22	42.24	35.86	52.64	29.62
2017	293.04	11.80	84.68	—1.53	28.91	—7.01	36.30	—10.61
2018	265.37	1.24	83.54	—2.86	26.22	—15.66	34.09	—16.06
2019	238.60	—8.97	72.58	—15.60	25.11	—19.23	37.00	—8.89

从表5可以看出,自2015年以来冬小麦上的亩用药商品量,2016年—2018年比2015年偏高,2019年呈现下降,但总的趋势不明显。亩用药折百量在2015年—2019年5年中,除2016年以外,指标呈下降的趋势。毒性指数和毒性强度2017年—2019年呈现明显下降的趋势,且毒性指数在年份间存在显著差异(表3)。农药毒性强度比亩用药折百量的下降趋势更为明显。

农药的使用与小麦病虫发生程度密切相关,病虫发生较重时,农药的使用量势必较大。因此在衡量农药使用技术改进,绿色防控的成效,采用本文提出的农药毒性强度指标更为合适。因为该指标揭示了化学农药的使用对环境生物毒性强度的水平(按毒性当量定义,中等毒性为1)。表2中各个地区冬小麦上使用的农药毒性强度有较大差异,说明各地区选用的农药品种不同,从保护环境、绿色防控角度来看,部分地区农药品种结构还存在调优的潜力,可以使农药毒性强度指标进一步下降。

3 讨论

从以上分析可以看出,对小麦用药指标经典的统计学分析,即方差分析和线性回归分析,虽然能看

出各个指标年度间的变化趋势,但在冬小麦用药综合评价体系中,很难甄别各个指标的重要性。并非某个指标在年度间有显著差异、或有某种趋势,该指标就是“重要”的。

小麦用药多指标的R-型聚类分析直观地揭示了各个指标在综合评价体系中的相似关系。它将8个指标分为两个类型:一类指标与农药用量有关(亩用药商品量、亩用药折百量、亩用药成本、防治次数和桶混次数),而另一类指标则与农药毒性有关(中低毒面积比例、毒性指数及毒性强度),这使我们对小麦用药综合评价有了进一步了解,即小麦用药评价包括了农药毒性和农药用量两个方面。

进一步的因子分析结果表明,在小麦农药用量的综合评价中,两个公共因子的累加贡献率已达82.07%。而农药毒性指数在这两个公共因子上均有较大的载荷,因此毒性指数兼具表达农药用量水平和农药毒性强度的意义。

与亩用药商品量、亩用药折百量、防治次数这些针对农作物病虫靶标生物的指标相比,农药毒性指数主要是表达农药施用对环境非靶标生物影响的大小。因此毒性指数的大小也是我们施用到农田中的农药对环境生物,尤其是对人类影响大小的一个

度量。例如阿维菌素和井冈霉素,它们对靶标生物都是高效的。但是它们对环境生物的毒性相差很大,阿维菌素是高毒,而井冈霉素是微毒。

由此我们建议,在农药减施增效的评价工作中,从绿色防控、保护生态环境的角度来看,作物上农药的使用不仅仅是减量,应该是在保障防病治虫,农作物增产增收的前提下,综合考虑选用毒性指数低的农药,鼓励农药减量化走出一条绿色发展道路。

参考文献

[1] 周真,路奎远,于辉,等. 农药使用情况调查、存在的问题及建议[J]. 农药科学与管理,2010,31(4):18-21.

[2] 周增辉,陈晓龙,章志云. 主要农作物农药使用中存在的问题与

(上接 81 页)

[6] 余妙,蒋景龙,任绪明,等. 西洋参根腐病发生与根际真菌群落变化关系研究[J]. 中国中药杂志,2018,43(10):2038-2047.

[7] 张淑婷,周利华,赵文卓. 植物内生细菌对植物健康的作用[J]. 植物医生,2020,33(1):6-11.

[8] 刘海洋,王伟,张仁福,等. 黄萎病不同发生程度棉田土壤中的真菌群落特征分析[J]. 中国农业科学,2019,52(3):455-465.

[9] 罗路云,张卓,金德才,等. 南瓜白粉病不同病情等级下叶际细菌群落结构和多样性[J]. 植物病理学报,2017,47(5):688-695.

[10] 莎娜,张三粉,骆洪,等. 两种土壤碱解氮测定方法的比较[J]. 内蒙古农业科技,2014(6):25-26.

[11] 宋涛,朴世领,陈旸,等. 苹果梨园土壤 pH 和有效磷的变化[J]. 延边大学农学学报,2018,40(3):9-15.

[12] 安家琦,范鹏志,张钰,等. 用原子吸收分光光度计测定土壤速效钾含量[J]. 农业工程技术,2020,40(11):46-47.

[13] 王瑞琨. 用电位法测定土壤 pH 值[J]. 山西化工,2018,38(3):64-65.

[14] 刘燕.《土壤质量 全氮的测定 凯氏法》的方法改进[J]. 化工管理,2020(14):45-46.

[15] 郭鑫,陈魏,张及亮,等. 土壤磷含量的测定方法[J]. 检验检疫学刊,2019,29(2):108-110.

[16] 朱波,倪俊,高丽,等. 土壤全磷全钾同时测定方法研究[J]. 安徽农业科学,2018,46(15):110-111.

[17] HUANG Junsheng, HU Bin, QI Kainin, et al. Effects of phosphorus addition on soil microbial biomass and community composition in a subalpine spruce plantation [J]. European Journal of Soil Biology, 2016, 72: 35-41.

[18] TAN Yong, CUI Yinshan, LI Haoyu, et al. Rhizospheric soil and root endogenous fungal diversity and composition in response to continuous *Panax notoginseng* cropping practices

应对措施[J]. 上海农业科技,2011(2):25.

[3] 金书秦,杜珉. 棉农的农药使用行为及政策建议——基于河北曲周的跟踪性调查[J]. 中国棉花,2013,40(5):1-4.

[4] WILLIAMSON S, BALL A, PRETTY J. Trends in pesticide use and drivers for safer pest management in four African countries [J]. Crop Protection, 2008,27(10):1327-1334.

[5] SNELDERA D J, MASIPIQUEN M D, DE SNOO G R. Risk assessment of pesticide usage by smallholder farmers in the Cagayan Valley (Philippines)[J]. Crop Protection, 2007,27(3):747-762.

[6] 王淑洁. 农药毒性[M]//中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书—农药卷. 北京:中国农业出版社,1993:235-236.

[7] 农业部种植业管理司,农业部农药检定所. 新编农药手册[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,2015.

[8] 唐启义, DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2013.

(责任编辑:杨明丽)

[J]. Microbiological Research, 2017, 194: 10-19.

[19] 宋旭红,王钰,李隆云,等. 石柱黄连根腐病根际土壤细菌微生物生态研究[J]. 中国中药杂志,2017,42(7):1304-1311.

[20] KENNEDY A C, SMITH K L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils [J]. Plant Soil, 1995, 170(1):75-86.

[21] WU Xiong, LI Zhigang, LIU Hongjun, et al. The effective of long-term continuous cropping of black pepper on soil bacterial communities as determined by 454 pyrosequencing [J/OL]. PLoS ONE, 2015, 10(8): e0136946. DOI: 10.1371/journal.pone.0136946.

[22] 缪作清,李世东,刘杏忠,等. 三七根腐病原研究[J]. 中国农业科学,2006,39(7):1371-1378.

[23] 谢学文,赵显榕,孙雪莹,等. 番茄疫霉根腐病生防菌的分离鉴定及其防治效果[J]. 植物病理学报,2020,50(5):610-617.

[24] 朱菲莹,张屹,肖姬玲,等. 生物有机肥对土壤微生物群落结构变化及西瓜枯萎病的调控[J]. 微生物学报,2019,59(12):2323-2333.

[25] 李阳波,何林卫,张薇,等. 黄连须根浸提液对土壤微生物及酶活性的影响[J]. 中国中药杂志,2014,39(11):4205-4210.

[26] FERNANDO S G, EDSON C S, PAULO H P, et al. Nitrogen recovery from fertilizer and use efficiency response to *Bradyrhizobium* sp. and *Azospirillum brasilense* combined with N rates in cowpea-wheat crop sequence [J/OL]. Applied Soil Ecology, 2021, 157: 103764. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103764.

[27] 段佳丽,舒志明,薛泉宏,等. 丹参红叶病发生的微生态机制[J]. 应用生态学报,2013,24(7):1991-1999.

[28] 陆晓菊,官会林,张正芸,等. 三七连作根际土壤微生物区系的 16S rRNA 系统遗传多样性[J]. 微生物学报,2015,55(2):205-213.

(责任编辑:杨明丽)