



ISSN 1727-1320 (Print),
ISSN 2308-6459 (Online)

ВЕСТНИК ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

PLANT PROTECTION NEWS

2023 TOM 106 ВЫПУСК 2
 VOLUME ISSUE



Санкт-Петербург
St. Petersburg, Russia

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФУНГИЦИДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ОТ БОЛЕЗНЕЙ В БЕЛАРУСИ

Н.А. Крупенько

Институт защиты растений, аг. Прилуки, Беларусь

e-mail: krupenko_natalya@mail.ru

В статье проанализированы физико-химические свойства фунгицидов, которые применяются в Беларуси для защиты зерновых культур от болезней, и их влияние на мобильность в тканях растения. Основными показателями, позволяющими спрогнозировать системность фунгицидов, являются растворимость в воде, липофильность (коэффициент распределения – LogP), а также константа диссоциации (pKa). Чем выше коэффициент распределения у неполярных соединений, тем выше их несистемные свойства, и наоборот. Для полярных молекул чем ниже константа диссоциации, тем выше их подвижность в растении. Сведения о системности фунгицидов дают также представление о характере их действия на патологический процесс. Так, у несистемных (контактных) молекул с высокими значениями LogP есть сродство (аффинность) к восковому слою кутикулы, благодаря которому они накапливаются в нем, что обуславливает хорошие защитные (профилактические) свойства за счет их способности препятствовать прорастанию спор. Действующие вещества с акропетальными свойствами, способные перемещаться в ксилеме, обладают хорошими лечебными свойствами, поскольку после обработки они передвигаются от места нанесения и могут затормозить развитие мицелия, который уже проник в ткани растения.

Ключевые слова: зерновые культуры, фунгициды, липофильность, растворимость в воде, подвижность в растении, контактные свойства, полярность

Поступила в редакцию: 12.03.2023

Принята к печати: 27.06.2023

Интенсификация технологий возделывания зерновых культур во всем мире привела к росту применения средств защиты растений, в том числе фунгицидов (Долженко и др., 2021; Михайликова, Стребкова, 2015; Jeschke, 2016). Это в свою очередь обусловило появление на рынке средств защиты растений большого количества препаратов и действующих веществ. Так, Гришечкина и соавторы (2020) отмечают, что с 1990 г. произошел существенный рост числа разрешенных для применения фунгицидов и действующих веществ – в 2.3 и 3 раза соответственно.

В условиях Беларуси химический метод также активно развивался (Буга, 2013). Так, в настоящее время в «Государственный реестр ...» для защиты зерновых культур от болезней включены фунгициды из 11 химических классов.

Несмотря на это, нередко случаи, когда информация о новых действующих веществах и химических классах, особенно недавно появившихся на рынке средств защиты растений, немногочисленна и не затрагивает особенностей их поведения в растении (подвижности) и характера действия на патологический процесс, а зачастую и вовсе отсутствует. В то же время даже для известных соединений и классов, которые давно используются в сельскохозяйственной практике, информация о способности передвигаться в растениях весьма противоречива и зачастую субъективна.

В связи с этим мы проанализировали фунгициды, применяемые в Беларуси (здесь и далее под этим словом мы подразумеваем действующее вещество, обладающее

фунгицидной активностью), с точки зрения физико-химических свойств, поскольку именно их подвижность позволяет охарактеризовать (спрогнозировать) поведение соединений в растении. С другой стороны, зная подвижность молекул внутри тканей растения, можно предполагать их действие на определенные стадии патологического процесса (Latin, 2011).

К основным таким свойствам действующих веществ, показывающих подвижность молекул фунгицидов, относятся: растворимость молекул в воде, липофильность и константа диссоциации (Altenburger et al., 1993; Shen, Wania, 2005).

Сведения об анализируемых действующих веществах, их химической классификации и основных физико-химических свойствах, представлены в таблице 1.

Растворимость в воде – это максимальное количество молекул, способных раствориться в воде. Растворимость выражают в мг/л или ppm (**p**arts **p**er **m**illion) и вычисляют экспериментально обычно при температуре 20–25 °С (Maskay et al., 2006). Чем больше гидрофильных групп в молекуле, тем она полярнее (гидрофильнее), и соответственно, более аффинна к воде, что обеспечивает хорошую растворимость и способность перемещаться (Maskay et al., 2006).

В зависимости от растворимости соединения можно разделить на 7 групп: от нерастворимых (например, мөтрафенон, биксафен и др.) до чрезвычайно высококорастворимых (металаксил и металаксил-М) (таблица 2).

Таблица 1. Коэффициенты распределения (LogP) и константы диссоциации кислот (pKa) для действующих веществ фунгицидов

Класс ¹	Химическая группа ¹	Действующее вещество ¹	LogP ²	pKa ²	Растворимость в воде при 20–25 °С (мг/л) ²
Фениламиды	ацилаланины	металаксил	1.75	0	8400
		металаксил-М (=мефеноксам)	1.71	н/п	26000
Метилбензимидазолкарбаматы (МБК)	бензимидазолы	карбендазим	1.48	4.2	8.0
		тиабендазол	2.39	4.73	30
Арил-фенил-кетоны	тиофанаты	тиофанат-метил	1.40	7.28	18.5
	бензофеноны	метрафенон	4.3	н/п	0.492
Карбоксамиды (SDHI)	оксатиин-карбоксамиды	карбоксин	2.3	0.5	134
		бензовиндифлупир	4.3	н/п	0.98
	пиразол-4-карбоксамиды	биксафен	3.3	н/п	0.49
		изопиразам	4.25	н/п	0.55
		пентиопирад	4.62	10.0	1.375
		пидифлуметофен	3.8	–	1.5
		седаксан	3.3	–	14.0
		флуксапироксад	3.13	12.58	3.44
пиридинил-этил-бензамиды	флуопирам	3.3	н/п	16.0	
Стробилурины (QoI)	метокси-акрилаты	азоксистробин	2.5	н/п	6.7
		крезоксим-метил	3.4	н/п	2.0
	метокси-карбаматы	пикоксистробин	3.6	н/п	3.1
	оксимино-ацетаты	пираклостробин	3.99	н/п	1.9
Анилопиримидины	дигидро-диоксазины	флуоксастробин	2.86	н/п	2.56
Азанафталины	анилопиримидины	ципродинил	4.0	4.44	13
Фенилпирролы	квиназолиноны	проквиназид	5.5	н/п	0.93
Азолы (DMI)	фенилпирролы	флудиоксонил	4.12	0	1.8
		имидазолы	имазалил	2.56	6.49
	прохлораз		3.5	3.8	26.5
	дифеноконазол		4.36	1.07	15.0
	триазолы	метконазол	3.85	11.38	30.4
		мефентрифлуконазол	3.4	3.0	0.81
		пропиконазол	3.72	1.09	150
		тебуконазол	3.7	5.0	36
		триадименол	3.18	н/п	72
		триадимефон	3.18	–	70
		тритриконазол	3.29	н/п	9.3
		флутриафол	2.3	2.3	95.0
	ципроконазол	3.09	н/п	93	
эпоксиконазол	3.3	н/п	7.1		
триазолинтионы	протиоконазол	2.0	6.9	22.5	
Амины («морфолины»)	морфолины	фенпропиморф	4.5	6.98	4.32
	пиперидины	фенпропидин	2.9	10.13	530
	спирокетал-амины	спироксамин	2.89	6.9	405
Дитиокарбаматы	карбаматы	тирам	1.84	8.19	18.0

Примечание – ¹ согласно FRAC; ² – согласно PPDB; н/п – не применимо.

Таблица 2. Растворимость действующих фунгицидов, применяемых в Беларуси

ppm*	Характеристика*	Действующие вещества
< 1	Нерастворимое	Метрафенон, бензовиндифлупир, биксафен, изопиразам, проквиназид, мефентрифлуконазол,
1–10	Очень низкая	Карбендазим, пентиопирад, пидифлуметофен, флуксапироксад, азоксистробин, крезоксим-метил, пикоксистробин, пираклостробин, флуоксастробин, флудиоксонил, тритриконазол, эпоксиконазол,
11–50	Низкая	Тиабендазол, тиофанат-метил, седаксан, флуопирам, ципродинил, дифеноконазол, метконазол, тебуконазол, протиоконазол, фенпропиморф, тирам
51–150	Средняя	Карбоксин, прохлораз, пропиконазол, триадименол, триадимефон, флутриафол, ципроконазол,
151–500	Высокая	Имазалил, спироксамин
500–5000	Очень высокая	Фенпропидин,
> 5000	Чрезвычайно высокая	Металаксил, металаксил-М

Примечание «*» – цит. по Pereira et al., 2016.

Table 1. Partition coefficient (LogP) и dissociation constant (pKa) for fungicides

Chemical class ¹	Chemical group ¹	Active ingredient ¹	LogP ²	pKa ²	Solubility in water at 20–25 °C (mg L ⁻¹) ²
Phenylamides	acylalanines	metalaxyl	1.75	0	8400
		metalaxyl-M (=mefenoxam)	1.71	n/a	26000
Methyl Benzimidazole Carbamates	benzimidazoles	carbendazim	1.48	4.2	8.0
		thiabendazole	2.39	4.73	30
Aryl-phenyl-ketones	thiophanates	thiophanate-methyl	1.40	7.28	18.5
	benzophenone	metrafenone	4.3	n/a	0.492
Succinate-Dehydrogenase Inhibitors	oxathiin-carboxamides	carboxin	2.3	0.5	134
		benzovindiflupir	4.3	n/a	0.98
	pyrazole-4-carboxamides	bixafen	3.3	n/a	0.49
		isopyrazam	4.25	n/a	0.55
		penthiopyrad	4.62	10.0	1.375
		pydiflumetofen	3.8	–	1.5
		sedaxane	3.3	–	14.0
		fluxapyroxad	3.13	12.58	3.44
	pyridinyl-ethyl-benzamides	fluopyram	3.3	n/a	16.0
	Quinone Outside Inhibitors	methoxy-acrylates	azoxystrobin	2.5	n/a
kresoxim-methyl			3.4	n/a	2.0
methoxy-carbamates		pycoxystrobin	3.6	n/a	3.1
oximino-acetates		pyraclostrobin	3.99	n/a	1.9
Anilino-pyrimidines	dihydro-dioxazines	fluoxastrobin	2.86	n/a	2.56
		cyprodinil	4.0	4.44	13
Azanaphthalenes	quinazolinone	proquinazid	5.5	n/a	0.93
Phenylpyrroles	phenylpyrroles	fludioxonil	4.12	0	1.8
		imazalil	2.56	6.49	184
Demethylation Inhibitors	imidazoles	prochloraz	3.5	3.8	26.5
		difenoconazole	4.36	1.07	15.0
	triazoles	metconazole	3.85	11.38	30.4
		mefentrifluconazole	3.4	3.0	0.81
		propiconazole	3.72	1.09	150
		tebuconazole	3.7	5.0	36
		triadimenol	3.18	n/a	72
		triadimefon	3.18	–	70
		triticonazole	3.29	n/a	9.3
		flutriafol	2.3	2.3	95.0
		cyproconazole	3.09	n/a	93
		epoxiconazole	3.3	n/a	7.1
	triazolinthiones	prothioconazole	2.0	6.9	22.5
	Amines («morpholines»)	morpholines	fenpropimorph	4.5	6.98
piperidines		fenpropidin	2.9	10.13	530
spiroketal-amines		spiroxamine	2.89	6.9	405
Dithiocarbamates	dithiocarbamates	thiram	1.84	8.19	18.0

Notes – ¹ according FRAC, 2022; ² – according PPDB; n/a – not applicable.

Table 2. Solubility in water of fungicides active ingredients applied in Belarus

ppm*	Description*	Active ingredients
< 1	Insoluble	Metrafenone, benzovindiflupir, bixafen, isopyrazam, proquinazid, mefentrifluconazole
1–10	Very low	Carbendazim, penthiopyrad, pydiflumetofen, fluxapyroxad, azoxystrobin, kresoxim-methyl, picoxystrobin, pyraclostrobin, fluoxastrobin, fludioxonil, triticonazole, epoxiconazole
11–50	Low	Thiabendazole, thiophanate-methyl, sedaxane, fluopyram, cyprodinil, difenoconazole, metconazole, tebuconazole, prothioconazole, fenpropimorph, thiram
51–150	Intermediate	Carboxin, prochloraz, propiconazole, triadimenol, triadimefon, flutriafol, cyproconazole
151–500	High	Imazalil, spiroxamine
500–5000	Very high	Fenpropidin
> 5000	Extremely high	Metalaxyl, metalaxyl-M

Note «*» – citations of Pereira et al., 2016.

Липофильность

Кутикула листа является одним из первых естественных барьеров на пути действия фунгицидов, при этом одни молекулы способны проникать через кутикулярный слой, другие – нет. Для того, чтобы спрогнозировать поведение действующего вещества при попадании на лист растения, необходимо понимать его физико-химические особенности.

Наиболее полезным для этого является такое свойство, как липофильность молекулы, которая показывает ее сродство к органическим веществам, т.е. ее способность растворяться в липофильных растворах (Baker et al., 1992; Wang, Liu, 2007). Для описания липофильности молекул используют коэффициент распределения – показатель, вычисляемый экспериментально при помощи стандартной системы октанол – вода, а логарифм этого значения, который принято обозначать $\text{Log}P (= \text{Log}K_{ow})$, и есть искомая величина (Briggs, 1981).

Значение коэффициента распределения характеризует липофильность молекулы, а следовательно, и ее способность проникать в кутикулу. Чем она выше, тем ниже подвижность действующего вещества в кутикуле. Очень липофильные молекулы ($\text{Log}P > 4$) после нанесения на растения проникают в восковой слой и накапливаются в нем, а в растении перемещаются локально, в некоторых

случаях – трансламнарно (с обработанной стороны листа на необработанную). Напротив, вещества с низкой липофильностью проникают в апопласт и симпласт и способны перемещаться в растении (Pontzen, Baur, 2011).

Исследования свидетельствуют, что для веществ,двигающихся по апопласту, оптимальный коэффициент распределения составляет 1.5–3.0 как после обработки корней (Briggs et al., 1992; Sicbaldi et al., 1997), так и листьев (Stevens et al., 1988).

Липофильные свойства позволяют молекуле проникать сквозь биологические мембраны растений, однако ограничивают ее дальнейший транспорт. Низкое значение $\text{Log}P$ говорит о гидрофильности молекулы, т.е. ее способности свободно перемещаться внутри растения, но в то же время об определенных проблемах при проникновении через восковой слой кутикулы (Wang, Liu, 2007). Следовательно, для неполярных (гидрофобных) молекул значения $\text{Log}P > 4$ свидетельствуют о контактных свойствах.

Фунгициды, за исключением фосэтила алюминия, не способны передвигаться по флоэме (Latin, 2011). Среди используемых в республике действующих веществ преобладают несистемные молекулы с коэффициентом распределения до 3.2 (таблица 3).

Таблица 3. Липофильность (коэффициент распределения) действующих веществ фунгицидов, применяемых для защиты зерновых культур в Беларуси

Коэффициент распределения – $\text{Log}P$ (подвижность)	Действующие вещества
0–3.2 (подвижные в ксилеме)	Метрафенон, бензовиндифлупир, биксафен, изопаиразам, пентиопирад, пидифлумефен, седаксан, флуопирам, крезоксим-метил, пикоксистробин, пираклостробин, ципродинил, проквиназид, флудиоксонил, прохлораз, дифеноконазол, метконазол, мифентрифлуконазол, пропиконазол, тебуконазол, тритриконазол, ципроконазол, эпоксиконазол, фенпропиморф
3.2–7 (контактные)	Металаксил, металаксил-М, карбендазим, тиофанат-метил, карбоксин, флукаспироксад, азоксистробин, флуоксастробин, имазалил, триадименол, триадимефон, флутриафол, протиоконазол, фенпропидин, спироксамин, тирам

Table 3. Lipophilicity (partition coefficient) of active ingredients of fungicides applied in Belarus for cereal crops protection

Partition coefficient – $\text{Log}P$ (mobility)	Active ingredients
0–3.2 (xylem movement)	Metrafenone, benzovindiflupir, bixafen, isopyrazam, penthiopyrad, pydiflumetofen, sedaxane, fluopyram, kresoxim-methyl, picoxystrobin, pyraclostrobin, cyprodinil, proquinazid, fludioxonil, prochloraz, difenoconazole, metconazole, mifentrifluconazole, propiconazole, tebuconazole, triticonazole, cyproconazole, epoxiconazole, fenpropimorph
3.2–7 (contact)	Metalaxyl, metalaxyl-M, carbendazim, thiophanate-methyl, carboxin, fluxapyroxad, azoxystrobin, fluoxastrobin, imazalil, triadimenol, triadimefon, flutriafol, prothioconazole, fenpropidin, spiroxamine, thiram

На рисунке 1 представлено распределение фунгицидов по липофильности (а) и растворимости в воде (б). Подавляющее большинство (43.9%) из используемых в республике действующих веществ по коэффициенту распределения находятся в диапазоне 3–4 и слабо растворяются в воде ($\lg 10$ для большинства составляет 0–2). Интересно отметить, что с точки зрения физико-химических свойств

между представленными данными нет противоречий: поскольку большая часть фунгицидов проявляет сильные липофильные свойства, обеспечивающие их накопление в восковом слое кутикулы. Для их эффективного и продолжительного действия важна также их устойчивость к смыванию осадками (дождеустойчивость), что и обеспечивает такой параметр, как низкая растворимость в воде.

Константа диссоциации кислоты

Для слабых кислот или аминов коэффициент распределения будет сильно зависеть от рН и константы диссоциации молекулы (рКа) (Potzen, Baur, 2011), которая показывает силу кислотных свойств молекулы. Значение рКа для каждой конкретной молекулы определяется значением

рН (обычно 5–8), при котором она является нейтральной (Horsby et al., 1996). Если молекула диссоциирует при определенном значении рН, она проявляет свойства ионизированного вещества, а следовательно, способна двигаться по симпласту через ионные каналы (Юрин и др., 2014;

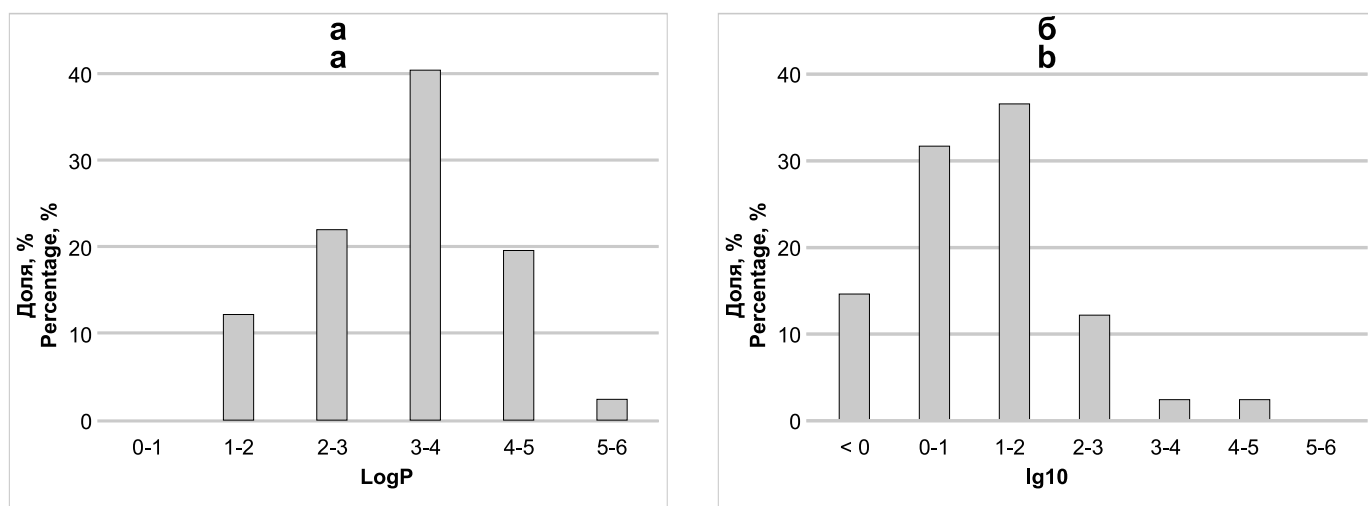


Рисунок 1. Распределение фунгицидов по физико-химическим свойствам: а – липофильность; б – растворимость
Log P – липофильность, lg10 – десятичный логарифм показателя растворимости

Figure 1. Distribution of fungicides according their physical-chemical properties: а – lipophilicity; б – solubility
Log P – lipophilicity, lg10 – decimal logarithm of solubility

Kleier, 1988). Чем ниже значение константы диссоциации кислоты, тем более сильные кислотные свойства у молекулы и тем выше ее растворимость (и подвижность) (Horsby et al., 1996). Действующие вещества, проявляющие свойства слабых кислот, способны перемещаться по флоэме. К таким молекулам относятся, например, многие гербициды (Bromilow et al., 1990), однако среди фунгицидов таким образом перемещается только фосэтил алюминия (Latin, 2011).

Тем не менее, фунгициды из класса аминов (морфолитов) могут ионизироваться при более низких значениях pH в апопласте. Например, у тридеморфа, фенпропиморфа и

спироксамина значения рKa находятся в пределах 6.5–7.0, поэтому их липофильность является более низкой. Это обеспечивает указанным действующим веществам хорошее перемещение в ксилеме (Chamberlain et al., 1998; Inoue et al., 1998).

Для графического отображения подвижности действующих веществ в растениях можно использовать модель Бромиллова (Bromilow et al., 1990) (рисунок 2). На оси X отображены значения липофильности (коэффициента распределения), по оси Y – константы диссоциации (для полярных молекул).

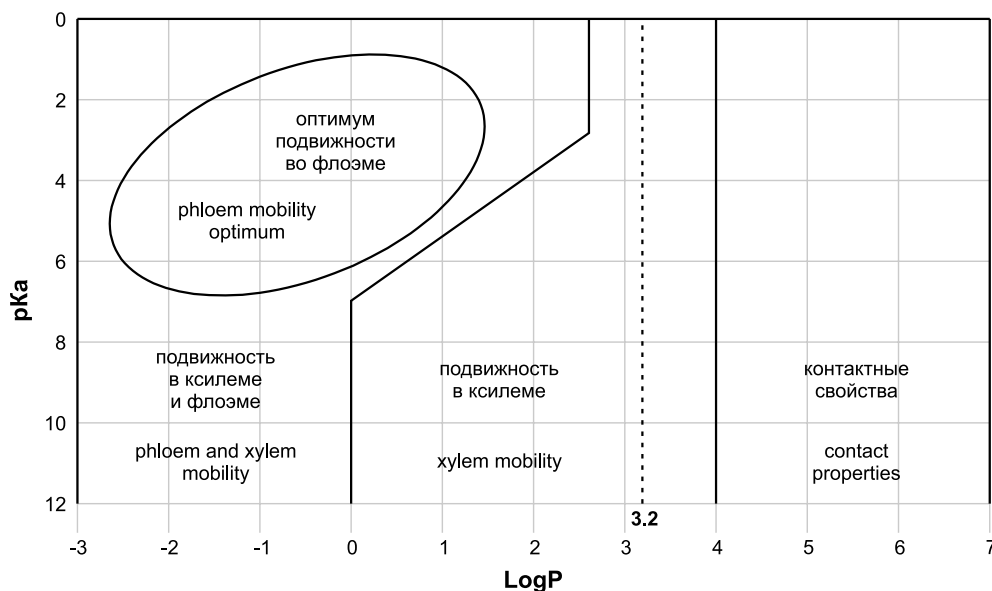


Рисунок 2. Модель Бромиллова для прогнозирования мобильности действующих веществ фунгицидов в растениях (Bromilow, 1990)

Figure 2. Bromilow’s model for prediction of fungicides mobility in plants (Bromilow, 1990)

Как отмечалось выше, чем выше значение LogP у анализируемого фунгицида, тем ниже его подвижность в растении, и наоборот. На модели Бромиллова LogP = 3.2 показывает границу между системностью и контактными свойствами. При значениях показателя свыше 4

молекула имеет ярко выраженные липофильные (гидрофобные) свойства, тогда как при LogP = 0 возрастает гидрофильность.

Модель Бромиллова позволяет спрогнозировать поведение молекул в растении, а также дает представление об их

влиянии на патологический процесс. Например, в химической группе триазолов подвижность варьирует от системного флутриафола ($\text{Log}P = 2.3$; $\text{pKa} = 2.3$) до локального, практически неподвижного, дифенокконазола ($\text{Log}P = 4.36$; $\text{pKa} = 1.07$).

Заключение

Проанализированы данные о влиянии физико-химических свойств молекул на их поведение в растениях и особенностях действия на патологический процесс. Основными показателями, позволяющими спрогнозировать системность фунгицидов, являются растворимость в воде, липофильность (коэффициент распределения), а также константа диссоциации. Чем выше коэффициент распределения у неполярных соединений, тем выше их несистемные свойства, и наоборот. Для полярных молекул чем ниже константа диссоциации, тем выше их подвижность в растении. Понимание системности фунгицидов дает также представление о характере действия на патологический процесс. Несистемные (контактные) молекулы с высокими значениями $\text{Log}P$ (например, у проквиназида $\text{Log}P = 5.5$) после обработки растения преимущественно

Таким образом, понимание поведения действующих веществ в тканях растения позволяет получить представление о том, на какие этапы патологического процесса они действуют (Caffi, Rossi, 2018).

депонируются в восковом слое кутикулы, т.к. имеют сходство к нему. Это обуславливает хорошие защитные (профилактические) свойства у таких фунгицидов за счет их способности препятствовать прорастанию спор.

В то же время почти все триазолы обладают акропетальной системностью (перемещаются в ксилеме), что обуславливает хорошие лечебные (постинфекционные) свойства, т.к. после обработки они передвигаются в тканях растения и способны затормозить развитие мицелия, который уже успел проникнуть в ткани растения.

Хорошими системными свойствами обладают, например, действующие вещества из классов фениламида (металаксил и металаксил-М), а также метилбензимидазолкарбаматы (карбендазим, тиабендазол, тиофанат-метил).

Библиографический список (References)

- Буга СФ (2013) Теоретические и практические основы химической защиты зерновых культур от болезней в Беларуси. Несвиж: «Несвижская укрупненная типография им. С. Будного». 240 с.
- Гришечкина ЛД, Долженко ВИ, Кунгурцева ОВ, Ишкова ТИ и др (2020) Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов. *Агрехимия* 9:32–47. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090070>
- Долженко ВИ, Сухорученко ГИ, Лаптев АБ (2021) Развитие химического метода защиты растений в России. *Защита и карантин растений* 4:3–13
- Михайликова ВВ, Стребкова НС (2015) Использование средств защиты растений в Российской Федерации. *Агрехимия* 12:56–59
- Юрин ВМ, Демидчик ВВ, Филипцова ГГ, Кудряшов АП и др (2014) Минеральное питание, физиология стресса и адаптация растений. Учебно-методическое пособие. Мн, БГУ. 103 с.
- Altenburger R, Boedeker W, Faust M, Grimme LH (1993) Comparative hazard identification for pesticides: interrelations between physico-chemical properties, tonnages, and occurrence in surface waters. *Sci Total Environ* 134:1633–1654. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(05\)80166-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(05)80166-4)
- Baker EA, Hayes AL, Butler RC (1992) Physicochemical properties of agrochemicals: their effects on foliar penetration. *Pestic Sci* 34:167–182. <https://doi.org/10.1002/ps.2780340212>
- Briggs GG (1981) Theoretical and experimental relationships between soil adsorption, octanol-water partition coefficients, water solubilities, bioconcentration factors, and the parachor. *J Agric Food Chem* 29, 1050–1059. <https://doi.org/10.1021/jf00107a040>
- Briggs GG, Bromilow RH, Evans AA (1982) Relationship between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. *Pestic Sci* 13:495–504. <https://doi.org/10.1002/ps.2780130506>
- Bromilow RH, Chamberlain K, Evans A (1990) Physicochemical aspects of phloem translocation of herbicides. *Weed Sci* 38:305–314. <https://doi.org/10.1017/S0043174500056575>
- Caffi T, Rossi V (2018) Fungicide models are key components of multiple modelling approaches for decision-making in crop protection. *Phytopathol Mediter* 57(1):153–169. https://doi.org/10.14601/Phytopathol_Miditerr-22471
- Chamberlain K, Patel S, Bromilow RH (1998) Uptake by roots and translocation to shoots of two morpholine fungicides in barley. *Pest Sci* 54(1):1–7. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9063\(199809\)54:1<1::aid-ps792>3.0.co;2-o](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9063(199809)54:1<1::aid-ps792>3.0.co;2-o)
- FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2_15.03.2023
- Hornsby AG, Wauchope RD, Herner AE (1996) Pesticide properties in the environment. New York, Springer-Verlag, 227 p.
- Inoue J, Chamberlain K, Bromilow RH (1998) Physicochemical factors affecting the uptake by roots and translocation to shoots of amine bases in barley. *Pest Sci* 54(1):8–21. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9063\(199809\)54:1<8::aid-ps793>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9063(199809)54:1<8::aid-ps793>3.0.co;2-e)
- Jeschke P (2016) Progress of modern agricultural chemistry and future prospects. *Pest Manag Sci* 72:433–455. <https://doi.org/10.1002/ps.4190>
- Kleier DA (1988) Phloem mobility of xenobiotics. *Plant Physiol* 86:803–810 [https://doi.org/0032-0889/88/0803/08\\$01.00/0](https://doi.org/0032-0889/88/0803/08$01.00/0)
- Latin RA (2011) A practical guide to turfgrass fungicides. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA. 270 p.
- Mackay D, Shiu WY, Ma KC, Lee SC (2006) Handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. 2 ed. 1. 925 p.
- Pereira VJ, Cunha JPAR, de Moraes TP, Ribeiro-Oliveira JP et al (2016) Physical-chemical properties of pesticides: concepts,

- applications, and interactions with the environment. *Biosci J* 32(2):627–641
- Potzen R, Baur P (2011) Impact of physicochemical parameters on fungicide activity. In: Dehne HW, Deising HB, Gisi U, Kuck KN et al (eds) *Modern Fungicides and Antifungal Compounds VI*:307–316
- PPDB: Pesticide Properties DataBase. <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/> (12.03.2023)
- Shen L, Wania F (2005) Compilation, evaluation, and selection of physical-chemical property data for organochlorine pesticides. *J Chem Engineering datas* 50(3):742–768
- Sicbaldi F, Sacchi GA, Trevisan M, Del Re et al (1997) Root uptake and xylem translocation of pesticides from different chemical classes. *Pest Sci* 50(2):111–119. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9063\(199706\)50:2<111::aid-ps573>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9063(199706)50:2<111::aid-ps573>3.0.co;2-3)
- Stevens PJ, Baker EA, Anderson NH (1988) Factors affecting the foliar absorption and redistribution of pesticides. 2. Physicochemical properties of the active ingredient and the role of surfactant *Pest Sci* 24:31–53
- Wang CJ, Liu ZQ (2007) Foliar uptake of pesticides – present status and future challenge. *Pestic Biochem Physiol* 87:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2006.04.004>

Translation of Russian References

- Buga SF (2013) [Theoretical and practical basis of chemical protection of cereals against diseases in Belarus]. Nesvizh: «Nesvizh consolidated printing house S. Budny». 240 p (In Russian)
- Dolzhenko VI, Sukhoruchenko GI, Laptiev AB (2021) [Development of chemical method of plant protection in Russia] *Zaschita i karantin rasteniy* 4:3–13 (In Russian)
- Grishechkina LD, Dolzhenko VI, Kungurtseva OV, Ishkova TI et al (2020) [Development of research on formatting current range of fungicides] *Agrochimia* 9:32–47. <https://doi.org/10.31857/S0002188120090070> (In Russian)
- Michailikova VV, Strebkova NS (2015) [Use of plant protection agents in Russian Federation] *Agrochimia* 12:56–59 (In Russian)
- Yurin VM, Demidchik VV, Philiptsova GG, Kudryashov AP et al (2014) [Mineral nutrition, stress physiology and plants adaptation. Teaching manual] Mn, BSU. 103 p.

Plant Protection News, 2023, 106(2), p. 93–99

OECD+WoS: 4.01+AM (Agronomy)

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-2-15781>

Mini-review

PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF FUNGICIDES APPLIED FOR PROTECTION OF CEREALS AGAINST DISEASES IN BELARUS

N.A. Krupenko

Institute of plant protection, ag. Priluki, Minsk district, Belarus

e-mail: krupenko_natalya@mail.ru

Physical and chemical properties of fungicides applied for protection of cereals against diseases in Belarus and their mobility in plant tissues are analyzed. The main properties allowing to predict plant mobility of fungicides are water solubility, lipophilicity (partition coefficient – LogP), and dissociation constant (pKa). The higher partition coefficient in nonpolar molecules, the higher are their nonsystemic (contact) properties, and vice versa. For polar molecules, the lower dissociation constant, the higher their mobility in plants. Information of fungicides plant mobility allows to understand their action on pathological process. In nonsystemic (contact) molecules with high LogP have affinity to wax layer of cuticle. Therefore they have good protection (prevention) properties because of their ability to prevent spores germination. Molecules with acropetal properties have good curative action because of their mobility in xylem away from application site. Therefore they may prevent mycelium development after its penetration in plant tissues.

Keywords: cereal crops, fungicides, lipophilicity, water solubility, mobility in plant, contact properties, polarity

Submitted: 12.03.2023

Accepted: 27.06.2023