

· 研究论文 ·

# 光散射技术在 4.5% 高效氯氰菊酯水乳剂 物理稳定性研究中的应用

郭勇飞, 尹明明, 陈福良\*

(农业部农药化学与应用重点开放实验室, 中国农业科学院 植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要:** 证明了将光散射技术用于评价水乳剂稳定性的可行性。通过 4.5% 高效氯氰菊酯水乳剂配方的研制, 证明了来自 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪的稳定性参数 (SI) 可以作为水乳剂稳定性判定的量化指标, 其结果与传统的热贮稳定性和冻融稳定性试验结果一致, SI < 4.0 的 4.5% 高效氯氰菊酯水乳体系具有稳定性。此外, 正交试验结果表明, 乳化剂比对体系的稳定性影响最大, 水质和共乳化剂用量的影响相对较小且差异不显著。选定乳化剂配比后, 水质和共乳化剂对体系物理稳定性的影响是协同作用的结果, 水质可以在较宽的范围内选择, 因而可用自来水配制合格的 4.5% 高效氯氰菊酯水乳剂。

**关键词:** 水乳剂; 物理稳定性; 光散射技术; Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪; 正交试验

DOI 10.3969/j.issn.1008-7303.2010.01.12

中图分类号: TQ450.6 S482.39 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2010)01-0079-06

## Application of light scattering technology for studying the physical stability of beta-cypermethrin 45EW

GUO Yong-fei YIN Ming-ming CHEN Fu-liang\*

(Key Laboratory of Pesticide Chemistry & Application, Ministry of Agriculture, PRC,  
Institute of Plant Protection, CAAS, Beijing 100193, China)

**Abstract** By means of light scattering technology, Stability Index (SI) from Turbiscan Lab Dispersion-stability Analyzer can be used as quantitative indicator to evaluate the stability of preparing beta-cypermethrin 45EW, and the results from SI were in consistency with those of high temperature and freeze-thaw stability test. When SI of beta-cypermethrin 45EW was below 4.0, the emulsion system was found to be stable. Furthermore, the results of the orthogonal experiment indicated that the emulsifier ratio was the most important factor that affect the stability of EW, while co-emulsifier content and water quality had less effect, and the difference of the effects of co-emulsifier content and water quality was not significant. When emulsifier ratio was selected, water quality and co-emulsifier had synergetic effects on physical stability of beta-cypermethrin 45EW. Water with wide range of quality, including tap water, can be used to prepare the beta-cypermethrin 45EW.

**Key words** emulsion in water; physical stability; Light Scattering Technology; turbiscan lab dispersion-stability analyzer; orthogonal experiment

收稿日期: 2009-07-09 修回日期: 2010-01-21

作者简介: 郭勇飞 (1979-), 男, 湖南岳阳人, 硕士研究生, E-mail gyf791@sohu.com; \* 通讯作者 (Author for correspondence): 陈福良 (1963-), 男, 福建仙游人, 博士, 副研究员, 主要从事农药制剂学和生物学研究, 电话: 010-62815939 E-mail chenfu2003@tom.com

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (2009YW08); “十一五”国家科技支撑计划 (2006BAD08A03).

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

水乳剂 (Emulsion in water; EW) 是一种以水为连续相的水包油型 (O/W) 分散体系, 油珠粒径一般在  $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$  之间, 外观通常为乳白色液体, 为热力学不稳定的分散体系<sup>[1-2]</sup>。其体系的物理稳定性取决于乳化剂的作用, 但单纯依靠乳化剂往往不能使水乳剂体系保持需要的经时稳定, 还必须通过添加其他助剂, 如共乳化剂、增稠剂、电解质等, 来提高水乳体系的稳定性<sup>[3-5]</sup>。有关水乳剂的稳定性目前尚无可靠的、快速或量化的评价标准。因此, 研究及评价水乳剂的稳定性对水乳剂的制备具有重要意义。目前的主要研究方法有: 电导法、红外光谱法、Zeta电位法等<sup>[6-8]</sup>。

Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪目前主要用于分析乳状液和悬浮液的稳定性, 可同时检测光散射后背散射光和透射光的强度, 利用随机软件计算出粒子的移动速率、澄清层和浮油层的厚度、颗粒的平均粒径以及分散体系的体积浓度随时间的动态变化等, 能快速分析乳状液或悬浮液体系的沉淀、分相等现象, 定量分析上述现象所发生的速率, 并给出样品的分散稳定性参数, 评价分散体系的稳定性。该项技术在石油化工和食品工业中应用较多, Bordes 等<sup>[9]</sup>、张锐等<sup>[10]</sup>采用多重光散射技术评价了乳状液的稳定性能, 李朋伟等<sup>[11]</sup>采用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪研究了水煤浆稳定性及浆体中煤颗粒的沉降行为, 苏米亚等<sup>[12]</sup>采用稳定性分析仪测定了不同牛奶产品的状态变化, 杭锋等<sup>[13]</sup>以稳定性参数 (SI) 作为超高温灭菌乳货架期的预测值。该项技术在农药领域中的应用仅见张强等<sup>[14]</sup>利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪研究了农药水分散剂 (WG) 悬浮液体系的悬浮稳定性, 在农药水乳剂物理稳定性研究方面的应用尚未见文献报道。

笔者以 4.5% 高效氯氟菊酯水乳剂为研究对象, 利用 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪并结合热贮稳定性和冻融试验研究了各组份对体系物理稳定性的影响。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料与仪器

27% 高效氯氟菊酯 (beta-cypermethrin) 苯油 (江苏扬农化工集团有限公司); 乳化剂: 农乳 500# (十二烷基苯磺酸钙) 及 602# (苯乙基酚聚氧乙烯醚) (沧州鸿源农化有限公司); 共乳化剂: 正丁醇 (分析纯)。

BM E100LX 高剪切混合乳化机 (上海威宇机电

有限公司); Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪 (法国 Fomulaction 公司); DF206 电热恒温干燥箱 (北京市西城区医疗器械二厂)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 采用反相乳化法, 将高效氯氟菊酯苯油、乳化剂、共乳化剂混合均匀, 在低速搅拌下加入水, 于  $5000 \text{ r/min}$  下剪切  $3 \text{ min}$ , 制备水乳剂样品。

1.2.2 样品分析 将待测样品  $20 \text{ g}$  置于测试池中, 采用多次扫描模式, 扫描设定温度为  $36 \text{ }^\circ\text{C}$ 。由图 1 可知, 在扫描 4 h 后, 多数样品的动态扫描曲线几乎无变化, 表明各样品的不稳定性主要表现在扫描初期, 故设定每个样品的扫描时间为 6 h 扫描间隔为  $5 \text{ min}$ 。根据多重光散射原理, 背散射光的强度直接取决于分散相的体积分数和粒子的平均直径, 当体系发生变化时, 背散射光强度和透射光强度也会发生相应的变化, 多次扫描所接收光强的偏差反映了光强的差别程度, 借此可反映体系的稳定程度, 利用 Turbiscan Easysoft 软件进行数据处理, 体系多次扫描后的标准偏差即为表征体系稳定性大小的稳定性参数 (Stability Index, SI), 稳定性参数越小, 表明体系越稳定。

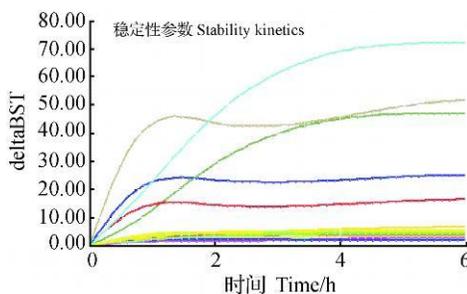


图 1 不同样品的稳定参数随时间的变化

Fig 1 The stability kinetics of formulations in process of the experiment time

1.2.3 热贮稳定性试验 按 GB/T 19136-2003 方法进行, 试样于  $(54 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  的电热恒温箱中贮存 14 d。

1.2.4 冻融稳定性试验 以在冰箱冷冻室 ( $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ ) 贮存 16 h 取出置于  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  下贮存 8 h 为一循环, 3 次循环后, 以样品无油层或固体析出者为合格<sup>[11]</sup>。

### 1.3 正交试验设计

4.5% 高效氯氟菊酯水乳剂的主要组份为有效成份、乳化剂、共乳化剂和水。本试验选取乳化剂、共乳化剂、水质 3 个因素进行研究, 每个因素取 4 个水平, 见表 1。

表 1 4.5% 高效氯氰菊酯水乳剂配方研制正交试验因素水平

Table 1 The factors of orthogonal test of preparing beta-cypermethrin 45EW

水平 Level	乳化剂配比 (W/W) A Emulsifier ratio (602#:500#)	共乳化剂(正丁醇)质量分数 B Co-emulsifier content (n-butanol) (W/W) %	水质 C Water quality
I	6.4	1	蒸馏水 Distilled water (0 mg/L)
II	7.3	2	自来水 Tap water (325 mg/L)
III	8.2	3	标准硬水 Standard hardness water (342 mg/L)
IV	9.1	4	硬水 Hardness water (1000 mg/L)

选用正交表  $L_{16}(4^3)$  进行试验安排, 把因素 A、B、C 置于 1、2、3 列, 第 4、5 列 (D、E 项) 为空白列作为方差分析时的误差估计。利用上述方法配制 16 个配方, 考察各因素对制剂物理稳定性的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 方差和极差分析

正交试验结果及方差分析结果见表 2 表 3。从稳定性参数 (SI) 分析, 表 2 中  $I_j$ 、 $II_j$ 、 $III_j$ 、 $IV_j$  分别为

各因素在 4 个水平下对应的 SI 之和的平均值。从方差检验的 F 值大小可判断出各个因素对试验结果影响的显著性。从表 3 结果可知,  $F_A (= 4.7861) > F_C (= 2.1353) > F_B (= 1.9740)$ 。因此, 在 A (乳化剂配比)、B (共乳化剂用量)、C (水质) 3 个因素中, 对 4.5% 高效氯氰菊酯水乳剂稳定性影响大小的顺序为乳化剂配比 > 水质硬度 > 共乳化剂用量, 乳化剂对比对制剂物理稳定性的影响最大, 水质和共乳化剂用量的影响相对较小且差异不显著。

表 2 4.5% 高效氯氰菊酯水乳剂配方研制正交试验结果

Table 2 The results of orthogonal test of preparing beta-cypermethrin 45EW

试验号 No	A 乳化剂配比 Emulsifier ratio	B 共乳化剂用量 Co-emulsifier content	C 水质 Water quality	D 空白列 Blank column	E 空白列 Blank column	稳定性参数 (SI) Stability Index	热贮稳定性 High temperature stability
1	1	1	1	1	1	3.95	析油 Oil separation
2	1	2	2	2	2	33.3	析油 Oil separation
3	1	3	3	3	3	29.4	析油 Oil separation
4	1	4	4	4	4	26.7	析油 Oil separation
5	2	1	2	3	4	3.71	析油 Oil separation
6	2	2	1	4	3	5.46	析油 Oil separation
7	2	3	4	1	2	45.9	析油 Oil separation
8	2	4	3	2	1	45.5	析油 Oil separation
9	3	1	3	4	2	4.70	析水 Water separation
10	3	2	4	3	1	4.54	析油 Oil separation
11	3	3	1	2	4	3.57	析油 Oil separation
12	3	4	2	1	3	2.03	析油 Oil separation
13	4	1	4	2	3	3.35	合格 up to standard
14	4	2	3	1	4	3.20	合格 up to standard
15	4	3	2	4	1	3.42	合格 up to standard
16	4	4	1	3	2	3.12	合格 up to standard
$I_j^*$	23.39	3.93	4.03	13.76	14.35		
$II_j^*$	25.13	11.62	10.61	21.42	21.74		
$III_j^*$	3.71	20.57	20.71	10.20	10.07		
$IV_j^*$	3.27	19.38	20.16	10.12	9.34		
极差 Range	21.9	16.6	16.7				

\*  $I_j$ 、 $II_j$ 、 $III_j$ 、 $IV_j$  分别为各因素在 4 个水平下对应的 SI 之和的平均值。\*  $I_j$ 、 $II_j$ 、 $III_j$ 、 $IV_j$  is the SI average of levels in factors respectively.

表 3 正交试验方差分析结果

Table 3 The results of ANOVA of orthogonal test of preparing beta-cypermethrin 45EW

因素 Factor	平方和 Sum square (SS)	自由度 Degree of freedom (DF)	均方 Mean square (MS)	F
A	1 731. 162 0	3	577. 053 8	4. 768 1
B	716. 708 4	3	238. 902 8	1. 974 0
C	775. 271 0	3	258. 423 7	2. 135 3
D	338. 036 7	3	112. 678 9	
E	388. 097 7	3	129. 365 9	
误差 Errors	726. 134 4	6		

\*  $F(3, 6)_{0.01} = 9.78, F(3, 6)_{0.05} = 4.76$ .

由表 2 分析上述正交试验样品的热贮稳定性可知, 热贮试验结果与 Turbiscan Lab 分散稳定性分析仪得到的结果基本一致, SI 越小, 则制剂的热贮稳定性也较好, 冻融稳定性试验 (配方 13# ~ 16#) 也合格。进一步分析可知, 在本试验条件下, SI 小于 4 的配方, 大部分热贮稳定性和冻融稳定性合格, 故把 SI = 4 作为稳定性的量化指标。SI > 4 数值越大体系越不稳定; SI ≤ 4 数值越小体系越稳定。

但个别配方虽然 SI 较小, 热贮却不稳定, 如配方 12# SI 为 2.03 但在常温下析油, 对其扫描 25 h 的结果见图 2。究其原因, 配方 12# 在扫描 5 h 时, 体系变化趋于稳定, 但继续扫描至 7 h 时, 体系变化突然趋于剧烈, 至 24 h 时, 又逐渐趋于稳定, 导致其在 5 h 处计算所得的 SI 偏低, 故热贮试验结果与 SI 不一致。水乳剂体系是一个热力学不稳定体系, 最终达到热力学上稳定的平衡状态是油水分离, 因而破乳是必然的结果<sup>[3]</sup>。图 2 中背散射光变化平缓的阶段即是水乳剂体系经时稳定的时间, 至 22 h 油水两相已经完全分离。背散射光的变化速率可以反映体系的均一程度、颗粒大小和浓度, 据此可以判断体系的稳定性。根据反射物理模型, 背散射光的强度与体系的颗粒体积浓度  $\phi$  的平方根成正比, 与颗粒平均粒径  $d$  的平方根成反比, 即  $BS\% = f \sqrt{\frac{\phi}{d}}$  (其中  $f$  为简化常数)。在稳定阶段  $d$  增大, 即油滴开始聚集, 此时 BS 下降, 至 7 h 处, 油滴开始聚集上浮, 导致颗粒体积浓度  $\phi$  增大, 此时 BS 增大, 体系出现破乳, 至 22 h 最终达到平衡<sup>[15]</sup>。

此外, 由极差分析 (表 2) 也可推知, 3 个因素对制剂的物理稳定性均有较大影响, 其中乳化剂配比的变化对体系的稳定性影响最大, 水质硬度、共乳化剂用量的变化对体系稳定性的影响程度相当, 这与上述方差分析的结果基本一致。

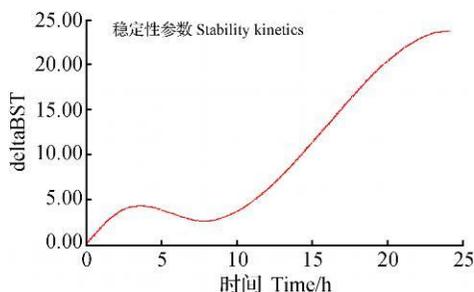


图 2 配方 12# 的稳定动力学

Fig 2 The stability kinetics of formulation 12#

依据各因素在 3 个水平下 SI 的平均值, 作出各因素与水平的关系图 (图 3)。由图 3 可知, 单独考虑各因素的影响时, 水乳剂的稳定性随乳化剂配比中亲水性乳化剂比例的增大、水质硬度及共乳化剂用量的降低而增强。以最佳组合配制制剂, 即当因素 A 乳化剂比例取  $A_4$  水平、因素 B 共乳化剂用量取  $B_1$  水平、因素 C 以蒸馏水配制 ( $C_1$ ) 时, 所制备的制剂应该最稳定, 热贮试验结果见表 4。

由表 4 可知, 单独考虑各因素的作用而得出的最优配方  $A_4B_1C_1$ , 反而不能配制出合格的水乳剂。表明配方的各组份之间存在交互作用, 作为一个整体, 配方的不同组份是通过协同作用共同提升体系稳定性的。

## 2.2 共乳化剂用量对水乳剂物理稳定性的影响

在乳化剂配比 ( $A_4$ ) 和水质 ( $C_1$ , 即蒸馏水) 确定的情况下, 改变共乳化剂的用量对体系稳定性进行调节, 结果见表 4。随着共乳化剂质量分数的提高, SI 值下降, 即水乳体系稳定性增强。取 II ~ IV 水平时, 即  $A_4B_2C_1$ ,  $A_4B_3C_1$  和  $A_4B_4C_1$ , 可制备合格的水乳剂, 这是由于体系的亲油性较强, 需增加所选用的亲油共乳化剂的用量来提高体系的亲油性。在此条件下, 共乳化剂取 III 水平, SI 值最小, 制备的水乳体系最稳定。

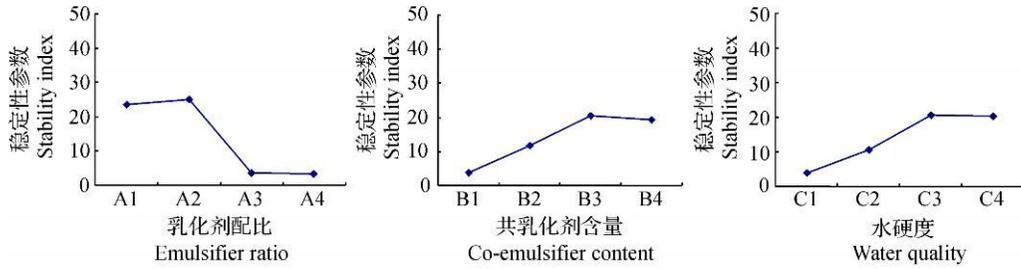


图 3 乳化剂配比、共乳化剂用量和水质对高效氯氰菊酯水乳剂物理稳定性的影响

Fig 3 Influence of emulsifier ratio, co-emulsifier content and water quality on the physical stability of beta-cypermethrin 45EW

表 4 水乳剂热贮和冻融试验结果及稳定性参数

Table 4 The results of high temperature test, freeze-thaw and stability index of beta-cypermethrin 45EW

配方 Formulation	水质 Water quality	热贮稳定性 High temperature stability	冻融稳定性 Freeze-thaw stability	稳定性参数 (SI) Stability Index
A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	蒸馏水 Distilled water	析油 Oil separation		5.32
A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	蒸馏水 Distilled water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	4.02
A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	蒸馏水 Distilled water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	2.43
A <sub>4</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	蒸馏水 Distilled water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	3.12
A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	自来水 Tap water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	3.42
A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	标准硬水 Standard hardness water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	3.48
A <sub>4</sub> B <sub>3</sub> C <sub>4</sub>	硬水 Hardness water (1000 mg/L)	析油 Oil separation		4.18
A <sub>4</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	自来水 Tap water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	3.01
A <sub>4</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	自来水 Tap water	合格 Up to standard	合格 Up to standard	3.44
A <sub>4</sub> B <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	自来水 Tap water	析油 Oil separation		4.15

在乳化剂配比 (A<sub>4</sub>) 和水质 (C<sub>2</sub>, 即自来水) 确定的情况下, 随着共乳化剂用量的提高, SI 值上升, 即水乳体系稳定性下降。其原因在于水质硬度增加后, 体系的亲水性增强, 需减少亲油性共乳化剂的用量来提高体系的稳定性, 故考虑降低其用量, 即取 I ~ III 水平, 即 A<sub>4</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>、A<sub>4</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 和 A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, 可制备合格的水乳剂。SI 为 4.15 (A<sub>4</sub>B<sub>4</sub>C<sub>2</sub>)、4.18 (A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>4</sub>) 和 5.32 (A<sub>4</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>) 的配方, 样品热贮试验均析油, 表明设定 SI 值 4 为稳定指标是恰当的。

### 2.3 水质对水乳剂物理稳定性的影响

从表 4 可见, 当乳化剂配比 (A<sub>4</sub>)、共乳化剂用量 (B<sub>3</sub>) 确定时, 水质硬度增加, 制备的水乳剂 SI 值上升, 即水乳体系的稳定性下降, 这与传统观念认为水乳剂应以蒸馏水配制才能稳定的结论一致<sup>[16-18]</sup>。但采用自来水 (C<sub>2</sub>) 和标准硬水 (C<sub>3</sub>) 配制时, 其 SI 值小于 4, 热贮和冻融稳定性均合格, 表明用自来水也能配制稳定的水乳剂。如果共乳化剂质量分数从 B<sub>3</sub> (3%) 降低到 B<sub>1</sub> (1%), 用自来水配制时, SI 从 3.42 降低到 3.01, 可以有效提高水乳剂的稳定性。用自来水配制的 A<sub>4</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub> (SI 为 3.01) 与用蒸馏水配制的 A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>1</sub> (SI 为 2.43), 两者的稳定性参数相差

不大 (见图 4), 热贮稳定性均合格。因此, 从节约成本的角度来考虑, 只要乳化剂配比选定后, 也可以采用自来水 (植保所地区水硬度为 325 mg/L) 制备稳定的水乳剂。

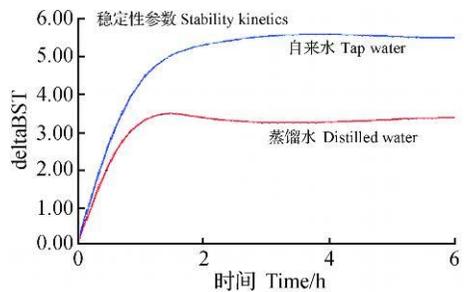


图 4 自来水和蒸馏水配制水乳剂的稳定动力学

Fig 4 The stability kinetics of beta-cypermethrin 45EW prepared with tap water and distilled water

### 3 小结与讨论

试验结果表明, 在水乳剂组份中, 乳化剂是影响水乳体系稳定性的最重要因素, 共乳化剂与水质两者的影响相当。在乳化剂配比确定后, 通过调整共乳化剂的用量, 可以用自来水配制稳定的水乳剂, 打

破了传统方法中用蒸馏水配制水乳剂的概念。不但方便了企业生产,节约了生产成本,而且对水乳剂的推广应用具有重要意义。

水乳剂为不透明的乳状液体系,很难有量化的稳定性评价指标,虽然有热贮析水率这一指标,但如果差异不大,用肉眼难以观察,而 Turbiscan Lab分散稳定性分析仪在其他行业已经得到成功的应用,其稳定性参数也已获得认可,可以量化评价指标。而量化评价指标的获得更有利于设计正交试验,进而进行水乳剂物理稳定性的研究。影响水乳剂稳定性的因素较复杂,将热贮和冻融试验结果与 Turbiscan Lab分散稳定性分析仪所获得的结果(SI)进行相互印证,发现多数配方的SI与热贮和冻融试验结果一致,但有些配方仅扫描6h是不够的。由于设计的正交试验的配方达16个,若全部扫描24h工作量太大,因而只筛选了热贮不稳定的配方进行24h的扫描,以验证是仪器的差错还是由于扫描时间不够。试验结果表明,将扫描时间延长至24h即可基本反映出体系真实的稳定性。若用于常规检验水乳剂的物理稳定性,建议扫描时间为24h,才能获得比较可靠的结果。

保证水乳剂的物理稳定性是配方研制过程中的重点,通常采用热贮稳定性试验测定析水率来评价其经时稳定性,试验时间长,且无法准确定量描述体系的稳定性。Turbiscan Lab分散稳定性分析仪可以精确、快速地对水乳剂澄清层、浮油层厚度、颗粒粒径大小和粒径增大速率进行定性定量分析,在较短的时间内判断出体系分散粒子的聚集和絮凝状况。与传统方法相比,Turbiscan Lab分散稳定性分析仪不仅能表征水乳剂体系的稳定性,还能快速、动态反应体系的变化,有助于揭示其稳定性发生的机理。

## 参考文献:

- [1] LIU Bu-lin(刘步林). Pesticide Formulation Processing Technology(农药剂型加工技术)[M]. 2版. Beijing(北京): Chemical Industry Press(化学工业出版社), 1998
- [2] CHENG Jing-li(程敬丽), ZHU Jin-wen(朱金文), WEI Fang-lin(魏方林), et al 机械能与界面张力在农药水乳剂制备中的作用机理研究[J]. Chin J Pestic Sci(农药学报), 2004, 6(2): 64-65
- [3] HUA Na-zhen(华乃震). 安全和环保型的农药水乳剂[J]. Modern Pestic(现代农药), 2003, 2(5): 29
- [4] FRIBERG S E, YANG J Emulsion Stability[C]//SJOBLOM J Emulsion and Emulsion Stability. New York: Marcel Dekker Inc, 1996: 1-40
- [5] TADRO T F. Emulsion Stability [C]//BECHER P. Encyclopedia of Emulsion Technology: Basic Theory. Vol 1. New York: Marcel Dekker Inc, 1983: 129-285.
- [6] ZHANG Deng-ke(张登科), WEI Fang-lin(魏方林), ZHU Guo-nian(朱国念), et al 我国农药水乳剂的发展现状及稳定机理研究[J]. Modern Pestic(现代农药), 2007, 6(5): 1-4
- [7] NI Liang(倪良), JIANG Wen-hua(蒋文华), HAN Shi-jun(韩世钧). 电导法研究硝基苯/水/十二烷基硫酸钠乳状液的稳定性[J]. Ciesc Journal(化工学报), 2001, 52(12): 1104-1108
- [8] CHEN Li-ya(陈立亚), YU Bao-zhu(于宝珠), ZHAO Hui-fang(赵慧芳). Zeta电位及其在药学分散体系研究中的应用[J]. Chin J Pharm Anal(药物分析杂志), 2006, 26(2): 281-285.
- [9] BORDES C, SNABRE P, FRANCES C. Optical investigation of shear and time-dependent microstructural changes to stabilized and depletion-flocculated concentrated latex sphere suspensions [J]. Powder Tech, 2003, 130(123): 331-337
- [10] ZHANG Rui(张锐), WANG Rui-he(王瑞和), QIU Zheng-song(邱正松), et al 利用光散射原理评价泡沫钻井液的稳定性[J]. Acta Petrolei Sinica(石油学报), 2005, 26(1): 105-108.
- [11] LI Peng-wei(李朋伟), YANG Dong-jie(杨东杰), LOU Hong-ming(楼宏铭), et al 利用分散稳定性分析仪研究水煤浆的稳定性[J]. J Fuel Chem Tech(燃料化学学报), 2008, 36(5): 524-526
- [12] SU Mi-ya(苏米亚), MO Bei-hong(莫蓓红). 超高温牛奶产品货架期内的稳定性分析方法[J]. J Dairy Sci Tech(乳业科学与技术), 2006, 29(5): 221-223, 226.
- [13] HANG Feng(杭锋), GUO Ben-heng(郭本恒), REN Lu(任璐), et al 基于混料设计优化超高温灭菌乳复配乳化剂[J]. Ciesc Journal(化工学报), 2009, 60(4): 984-989
- [14] ZHANG Qiang(张强), CHEN Ying(陈颖), FU Wen-jing(付文静), et al TURBISCAN LAB稳定性分析仪研究农药WDG悬浮液稳定性[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(4): 843-845
- [15] HANG Feng(杭锋), GUO Ben-heng(郭本恒), MENG Ling-jie(孟令洁), et al 利用背散射光技术比较UHT牛奶三种复配稳定剂的效果[J]. J Dairy Sci Tech(乳业科学与技术), 2009, 7: 16.
- [16] CHEN Wei-lin(陈蔚林). 农药水性制剂的研发[J]. Anhui Chem Ind(安徽化工), 2004(6): 2-4
- [17] WU Xin-yang(兀新养), YANG Xu-bin(杨旭彬), TAN Juan(谭娟), et al 4.5%高效氯氰菊酯水乳剂的研制[J]. Appl Chem Ind(应用化工), 2007, 36(3): 302-304, 307.
- [18] WANG Ya-ting(王亚廷), LIU Ya-min(刘亚敏), LI Bo(李波), et al 20%丁硫克百威水乳剂的研制[J]. Pestic Sci Adm(农药科学与管理), 2008, 29(1): 33-35

(责任编辑: 金淑惠)