

十二烷基磺酸插层类水滑石的制备及其对烟嘧磺隆油悬浮剂流变性的影响

翟利利^a 路福绥^{b*} 夏慧^a 廖科超^a

(山东农业大学^a植物保护学院;^b化学与材料科学学院 泰安 271018)

摘 要 以 Mg-Al 类水滑石为前体,制备了疏水的十二烷基磺酸插层类水滑石(DSO-LDHs),对其结构进行了光学显微镜、XRD 和红外光谱表征。结果表明,十二烷基磺酸钠成功插入到 Mg-Al 类水滑石层间。DSO-LDHs作为触变材料应用于4%烟嘧磺隆油悬浮剂时,流变学研究结果表明,农药颗粒通过静电作用附着在DSO-LDHs特殊的薄片层结构中。随着DSO-LDHs添加量的增加,油悬浮体系呈正触变性,且体系的屈服值增大,而析油率下降。

关键词 十二烷基磺酸插层类水滑石,油悬浮剂,烟嘧磺隆,正触变性

中图分类号:O648

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2013)10-1202-06

DOI:10.3724/SP.J.1095.2013.20560

油悬浮剂是一种新型、绿色环保的农药剂型,但其发展却不如水悬浮剂迅速,这是因为在油悬浮剂的研制中,一直存在着析油、沉降等物理稳定性问题^[1],在油悬浮剂的研制中,常规的增稠剂有机膨润土、凹凸棒土和海藻酸钠等只能暂时对其起到稳定作用,不能从根本上解决其析油问题^[2]。

水滑石类化合物(Layered double hydroxides, LDHs)是水滑石(Hydrotalcite)、类水滑石(Hydrotalcite-like compound)和柱撑水滑石(Pillared hydrotalcite)的统称,是一类由带正电荷层和层间填充带负电荷的阴离子所构成的层状化合物^[3]。其层间阴离子的可交换性及其对材料性质的影响,使这类材料在吸附治污、催化等领域获得了广泛的应用^[4-8]。由于类水滑石类化合物的特殊结构和层板正电性能,可制取兼备触变性能、较高阴离子交换容量和悬浮稳定性的正电溶胶,将其作为油田钻井液的稳定剂,提高钻井液的携带能力、增加流动性能^[9]。但目前还没有改性类水滑石在农药油悬浮剂中应用的报道。陈甜甜等^[10]将镁铝类水滑石应用于水悬浮剂中,取得了很好的触变性效果。但镁铝类水滑石为亲水性结构,不能直接应用于油悬浮剂,本文对Mg-Al类水滑石进行了疏水化改性,即将十二烷基磺酸钠与Mg-Al类水滑石进行插层反应,制成十二烷基磺酸钠柱撑类水滑石,并将其作为结构调节剂应用在油悬浮剂中,测定了十二烷基磺酸钠柱撑类水滑石对4%烟嘧磺隆油悬浮剂触变性的影响,并对其触变性机理进行了探讨,以期应用于油悬浮剂的表面活性剂的研制及提高油悬浮剂的物理稳定性提供理论基础。

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

95.8%烟嘧磺隆原药(山东京博农化有限公司),油酸甲酯(沧州大洋化工有限责任公司),乙氧基混合脂肪酸类乳化剂(VO/02N,罗地亚(镇江)化学品有限公司),壬基酚聚氧乙烯醚(NP-10,邢台市蓝天精细化工有限公司),十二烷基磺酸钠(SDSO,青浦县新产品研究所), $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (天津巴斯夫化工有限公司),NaOH(天津市大陆化学试剂厂),HCl(济南试剂总厂),以上无机试剂均为分析纯。

DV-III+可编程控制式粘度计(美国Brookfield公司,转子SC4-18),ECLIPSE90i型高级研究型显微镜(日本Nikon公司),BRUKER型X射线单晶衍射仪(德国),Nicolet Nexus670型傅里叶红外光谱仪

(美国 Nicolet 公司)。

1.2 实验过程

1.2.1 Mg-Al 类水滑石的制备 采用液相共沉淀法,以 $n(\text{Mg}):n(\text{Al})=3:1$ 的 $\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.3 mol/L) 和 $\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mol/L) 混合盐溶液为原料,NaOH (0.4 mol/L) 为沉淀剂,滴加到混合盐溶液中,边滴加边搅拌,滴加完成后调节 pH 值到 11,然后搅拌 30 min 使其沉淀完全,静置老化 1 h 后,洗涤、抽滤成滤饼至中性。将滤饼放入广口瓶中,在 80 °C 恒温箱中放置 10 h,得到 Mg-Al 类水滑石样品。

1.2.2 SDSO 与 Mg-Al 类水滑石的插层反应 以水为分散介质制备 SDSO 插层 Mg-Al-LDHs,称取一定量的 SDSO 溶于水配成溶液;按 SDSO/Mg-Al-LDHs 为 2:1 的摩尔比称取上述 Mg-Al-LDHs 滤饼,置于水中充分分散制成浆液。将二者混合并用 0.1 mol/L 盐酸调整 pH 值至 5~6,置于三口瓶中在 70 °C 下剧烈搅拌 2 h,然后过滤、水洗至中性并在 80 °C 下烘干,得到 DSO-LDHs 样品。

1.2.3 DSO-LDHs 样品的表征 显微镜法:准确称取 DSO-LDHs 样品 0.8000 g,然后加入 19.2000 g 油酸甲酯,加入等体积直径为 2~3 mm 的氧化铝珠,在室温下砂磨 2 h 后,过孔径直径为 75 μm 的标准筛,贮存于刻度试管中,然后用注射器准确取 1 mL 该样品滴入烧杯中,加油酸甲酯稀释 250 倍,涂于载玻片上,在显微镜下观测,拍照记录。

XRD 单晶衍射:采用 X 射线单晶衍射仪(λ 为 0.15418 nm,扫描速度为 4.0/min,角度范围 1.5°~90°)表征样品的晶体结构。

红外光谱表征:将制得的 DSO-LDHs 经真空干燥后,采用溴化钾压片法,用傅里叶红外光谱仪对样品组成和结构进行定性分析。

1.2.4 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂样品的制备 采用湿法研磨粉碎工艺,原药质量分数为 4%,按照配方比例加入乳化剂、分散剂,最后用油酸甲酯补足至 100%,加入等体积直径为 2~3 mm 的氧化铝珠,在室温下砂磨 2 h 后,过孔径直径为 75 μm 的标准筛,贮存于刻度试管中。

1.2.5 样品流变性的测定 在恒温 25 °C 条件下,将 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂样品导入 DV-III + 可编程控制式粘度计样品槽中,在 10 s⁻¹ 下剪切 2 min,静止 5 min 后测定,以消除倾倒过程的影响。用粘度计从低速到高速测定不同剪切速率(D)下的剪切应力(τ)和粘度(η)。

1.2.6 样品触变性的测定 采用稳态剪切法测定触变性:将一定量的 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂样品高速剪切 20 min,然后倒入 DV-III + 可编程控制式粘度计外筒,在低剪切速率 10 s⁻¹,相对于高速剪切可视为“静置”下测定粘度 η 随时间 t 的变化。若 η 随 t 增大,为正触变性,反之为负触变性。

2 结果与讨论

2.1 DSO-LDHs 样品的表征

图 1 为 DSO-LDHs 砂磨 2 h 后的光学显微镜照片。由图 1 可见,砂磨 2 h 后的 DSO-LDHs 样品并没

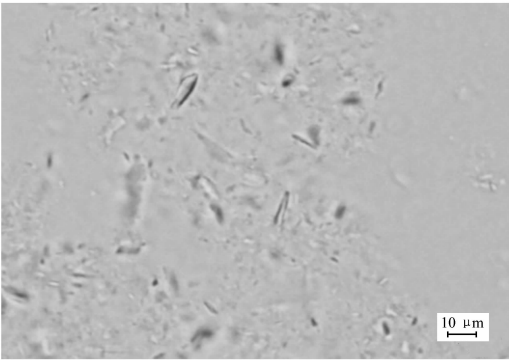


图 1 DSO-LDHs 砂磨 2 h 后的显微镜照片
Fig.1 Morphology of DSO-LDHs after milling for 2 h under optical microscope

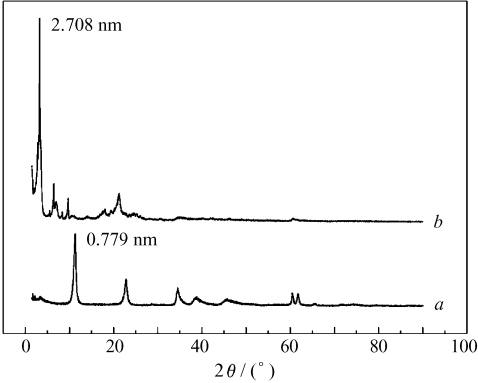


图 2 Mg-Al HTLC(a)和 DSO-LDHs(b)的 XRD 谱
Fig.2 X-ray diffraction patterns of Mg-Al HTLC(a) and DSO-LDHs(b)

有因层间离子插层作用而改变层板结构和组成,依然具有类水滑石特有的片层结构。图 2 为 Mg-Al HTLC 和 DSO-LDHs 的 XRD 谱。由图 2 可见,本实验合成的 DSO-LDHs 层间距为 2.708 nm,未经疏水化改性的 Mg-Al 类水滑石的层间距为 0.779 nm,说明十二烷基磺酸根已成功插入到 Mg-Al 类水滑石层间。而且由于十二烷基磺酸根的体积比 Cl^- 大,故 DSO-LDHs 的层间距比 Mg-Al 类水滑石的层间距大^[11]。

图 3 为 Mg-Al HTLC 和 DSO-LDHs 的红外谱。由图 3 可见,DSO-LDHs 不仅保留了 Mg-Al HTLC 原有的结构,而且 DSO-LDHs 分别在 1048.9 和 1186.7 cm^{-1} 处出现了一 SO_3 —基团的特征吸收峰;而在 2849.4 和 2920.5 cm^{-1} 附近出现了一 CH_3 和一 CH_2 —基团的特征峰^[11]。上述表征结果进一步证明,十二烷基磺酸根离子已经通过离子交换取代进入层间。

2.2 DSO-LDHs 对 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂的物理稳定性的影响

由表 1 可以看出,在本实验所研究的范围内,随着 DSO-LDHs 添加量的增大,所制得的油悬浮剂析油率降低,当 DSO-LDHs 添加量为 4% 时,常温下油悬浮剂的析油率低至 0.5%,而依然保持着较好的流动性能。说明 DSO-LDHs 的加入,能够提高油悬浮剂的物理稳定性。朱炳煜等^[12]将有机膨润土应用于油悬浮剂也取得了一定的效果,但是这种效果是通过提高样品的粘度而得到改善,随着制剂贮存时间的延长,会出现沉降、结块等现象。在本实验中,添加 DSO-LDHs 的油悬浮体系具有一定的正触变性,可有效地阻碍悬浮药物颗粒沉降,保持其悬浮稳定性。

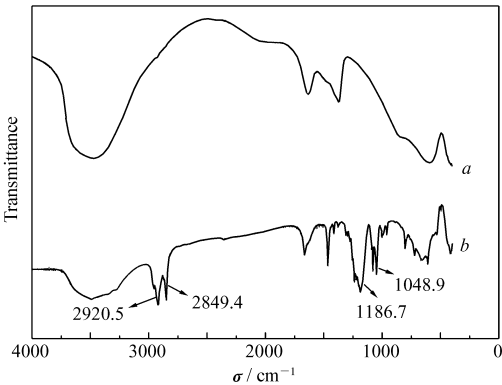


图 3 Mg-Al HTLC(a) 和 DSO-LDHs(b) 的红外谱图
Fig. 3 FTIR spectra of Mg-Al HTLC(a) and DSO-LDHs(b)

表 1 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂的析油率

Table 1 Oil separation ratio of 4% nicosulfuron oil flowable concentrate

$w(\text{DSO-LDHs})/\%$	Oil separation ratio/ $\%$		Flowability (after milling for 2 h)
	14 d at room temperature	14 d at $(54 \pm 2)^\circ\text{C}$	
2.0	15.8	23.6	good
2.5	9.3	12.4	good
3.0	5.6	8.2	good
3.5	1.2	2.5	good
4.0	0.5	0.9	good

2.3 DSO-LDHs 对 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂流变性的影响

本实验测定了添加不同含量 DSO-LDHs 的 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂的流变曲线和触变曲线(图 4),其流变曲线经模拟符合 Herschel-Buckley ($\tau = \tau_H + K_H D^n$, 式中, τ_H 为屈服值, K_H 为稠度指数, n 为流动指数)模型, Herschel-Buckley 模型认为,当流动行为指数 $n < 1$ 时,体系属于“剪切变稀”的假塑性流体,当流动指数 $n > 1$ 时,体系属于“剪切变稠”的胀塑性流体^[13]。线性拟合曲线见图 5,流变参数见表 2。

表 2 添加不同含量的 DSO-LDHs 的 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂的流变参数

Table 2 Rheological parameters for 4% nicosulfuron oil flowable concentrate with different mass fraction of DSO-LDHs

$w(\text{DSO-LDHs})/\%$	τ_H/Pa	$K_H/(\text{mPa}\cdot\text{s})$	n	R^2
2.0	0.70	176.9	0.63	0.999 8
2.5	2.09	144.7	0.67	0.999 6
3.0	2.77	203.5	0.63	0.999 6
3.5	3.23	183.2	0.67	0.999 7
4.0	5.55	241	0.64	0.999 7

由图 4A 可知,随着剪切速率的增大,体系的粘度逐渐减小,呈剪切稀化状态,体系为假塑性流体。

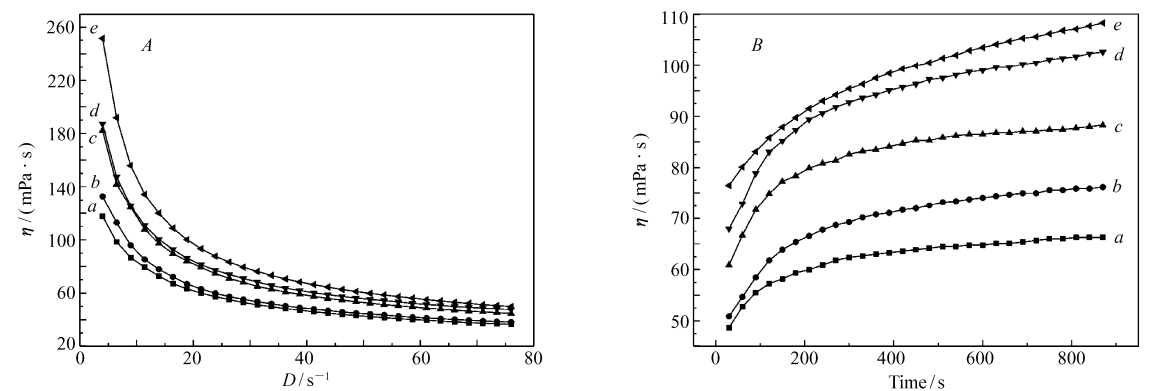


图 4 添加不同含量的 DSO-LDHs 的油悬浮剂剪切粘度曲线(A)和触变曲线(B)

Fig.4 Shear viscosity (A) and thixotropy (B) of 4% nicosulfuron oil flowable concentrate with different mass fractions(w) of DSO-LDHs

w (DSO-LDHs)/% :a. 2.0; b. 2.5; c. 3.0; d. 3.5; e. 4.0

且随着 DSO-LDHs 添加量的增大,体系的粘度也随之增大。由表 2 可以看出,添加不同 DSO-LDHs 含量的悬浮体系经线性拟合后的回归系数 R^2 均在 0.999 以上,说明体系的流变特性与 Herschel-Buckley模型相符合。而流动指数 n 均小于 1,且基本无变化,说明 DSO-LDHs 的加入并不改变体系的流体类型。同样,随着 DSO-LDHs 含量的增加,稠度指数 K_H 在 200 $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 左右波动,而体系的屈服值 τ_H 明显增大,说明加入 DSO-LDHs 后,悬浮体系形成了触变性的结构,且随着 DSO-LDHs 添加量的增大,体系的结构强度明显增大。

由于 Mg-Al 类水滑石为片层状结构,且带永久正电荷,十二烷基磺酸钠在水中电离出的十二烷基磺酸根带负电荷,故二者发生插层反应时,十二烷基磺酸根亲水性的一端,即带负电荷的一端插入 Mg-Al-LDHs 的片层中,而其疏水性的碳链保留在外

边,故 DSO-LDHs 整体为疏水性的结构。在添加 DSO-LDHs 的 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂样品中,DSO-LDHs 的亲油性的碳链通过介质油相互连接成网状结构,故随着 DSO-LDHs 添加量的增大,体系的粘度增大。而这种网状结构在较高的剪切速率下很容易被破坏,故体系表现为剪切稀化现象。

由图 4B 可以看出,加入 DSO-LDHs 后,经高速剪切 20 min,在相对静置条件下,体系的剪切粘度随着时间的增加而逐渐增大。表明体系具有一定的正触变性,且随着 DSO-LDHs 含量的增大,体系的触变性增强。在测定时间范围内,当 DSO-LDHs 添加量为 2% 时,随着测定时间的延长,体系的粘度趋于恒定,而随着 DSO-LDHs 添加量的增大,体系的粘度变化量增大,触变性较强。

关于触变性产生的原因和机理,李淑萍和候万国等^[14-15]通过 3 种结构恢复机理解释了不同触变类型的触变性机理,认为悬浮体系的触变性与粒子的存在状态有关。Wang 等^[16]研究发现,由于 LDHs 从亲水性到疏水性的改变,使得毒死蜱能够成功的保留在 DSO-LDHs 的疏水区域。徐莉^[17]研究发现,类水滑石对分散蓝的吸附机理是十二烷基苯磺酸钠插层镁铝类水滑石(DBS-LDHs)与分散蓝之间形成了氢键。在本研究的 4% 烟嘧磺隆油悬浮剂体系中,烟嘧磺隆原药粒子表面带一定的负电荷,而 DSO-LDHs 中的 Mg-Al-LDHs 带有永久的正电荷,二者通过静电吸引作用相互靠近形成的网状结构,悬浮的药物颗粒可附着在 DSO-LDHs 形成的网状结构中。在高速剪切时,DSO-LDHs 形成的网状结构被破坏,使得原

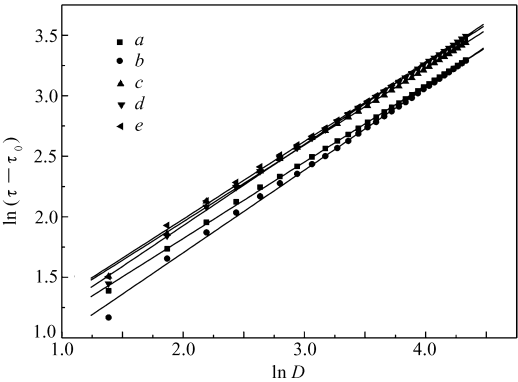


图 5 添加不同含量的 DSO-LDHs 的油悬浮剂的流变曲线

Fig.5 Rheological curves of 4% nicosulfuron oil flowable concentrate with different mass fractions(w) of DSO-LDHs

w (DSO-LDHs)/% :a. 2.0; b. 2.5; c. 3.0; d. 3.5; e. 4.0

药颗粒游离在体系中。而在静置过程中,DSO-LDHs 逐渐恢复其网状结构,农药颗粒再次附着在其表面,使得体系的粘度增大,表现为正触变性。DSO-LDHs 的添加量越大,这种网状结构越易形成,体系的结构强度愈大,表现为体系的屈服值增大,触变性越强。

图6为4%烟嘧磺隆油悬浮剂样品显微镜照片。由图6可知,添加DSO-LDHs的4%烟嘧磺隆油悬浮剂体系中,农药颗粒能够附着在DSO-LDHs连接成的网状结构表面,使体系的结构强度增大。

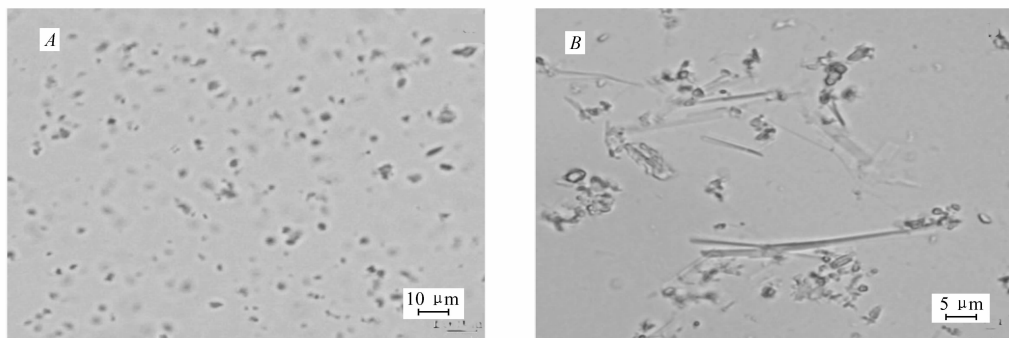


图6 未添加(A)和添加DSO-LDHs($w=4\%$)(B)的4%烟嘧磺隆油悬浮剂样品的光学显微镜照片

Fig.6 Optical microscopic photos of 4% nicosulfuron oil flowable concentrate without(A) and with(B) DSO-LDHs ($w=4\%$)

3 结 论

DSO-LDHs 改变了 Mg-Al 类水滑石原有的亲水性结构,其十二烷基磺酸根插入 Mg-Al 类水滑石的片层结构中,使得类水滑石结构的层间距增大,并具备较强的疏水性能。将 DSO-LDHs 作为触变性材料应用在4%烟嘧磺隆油悬浮剂中,其形成网状结构使油悬浮体系具有一定的正触变性。且随着 DSO-LDHs 添加量的增大,体系的正触变强度增大,体系的屈服值增大,结构强度增强,悬浮剂的析油率下降,其物理稳定性得到改善。

参 考 文 献

- [1] DAI Quan. Development and Research of Vegetable Oil Flowable Concentrate[J]. *Anhui Chem Ind*,2006,(2):50-51 (in Chinese).
戴权. 植物油悬浮剂的研究与开发[J]. 安徽化工,2006,(2):50-51.
- [2] BU Xiaoli,HUANG Qiliang,WANG Guoping,*et al.* Prospects for Utilizing Thixotropy in Pesticide Suspension Systems[J]. *Agrochemicals*,2006,**45**(4):231-236 (in Chinese).
卜小莉,黄啟良,王国平,等. 触变性及其在农药悬浮体系中的应用前景[J]. 农药,2006,**45**(4):231-236.
- [3] NIU Xiangnan,HONG Tao. Synthesis Methods and Application of Layered Double Hydroxides in Water Pollution Control [J]. *Chem Eng*,2010,(1):27-28,49 (in Chinese).
牛向楠,洪涛. 水滑石类材料的制备及在水污染治理中的应用[J]. 化学工程师,2010,(1):27-28,49.
- [4] YU Weihua,TONG Dongshen,ZHOU Chunhui,*et al.* Quality Analysis and Application of Hydrotalcite-like Compounds [J]. *China Non-metallic Mining Ind Herald*,2012,(2):47-50 (in Chinese).
俞卫华,童东绅,周春晖,等. 类水滑石矿物的产品分析与应用[J]. 中国非金属矿工业导刊,2012,(2):47-50.
- [5] Costantino U,Ambrogio V,Nocchetti M,*et al.* Hydrotalcite-like Compounds;Versatile Layered Hosts of Molecular Anions with Biological Activity[J]. *Micropor Mesopor Mater*,2008,**107**(1/2):149-160.
- [6] Aschenbrenner O,McGuire P,Alsamaq S,*et al.* Adsorption of Carbon Dioxide on Hydrotalcite-like Compounds of Different Compositions[J]. *Chem Eng Res Design*,2011,**89**(9):1711-1721.
- [7] ZHANG Yunbo,HOU Wanguo,WANG Wenxing. Adsorption-desorption of Chromium (VI) on Mg-Al Hydrotalcite-like Compounds;Part I Adsorption[J]. *Acta Chim Sin*,2007,**65**(9):773-778 (in Chinese).
臧运波,侯万国,王文兴. Cr(IV)在Mg-Al型类水滑石上的吸附-脱附性研究: I. 吸附性[J]. 化学学报,2007,**65**(9):773-778.
- [8] Dimetakis E D,Pinnavaia T J. New Route to Layered Double Hydroxides Intercalated by Organic Anions;Precursors to Polyoxometalate-pillared Derivatives[J]. *Inorg Chem*,1990,**29**(13):2393-2394.
- [9] KE Yangchuan,WEI Guangyao. Application and Development of Nanomaterials in Oil Drilling and Recovery[J]. *Oilfield*

Chem, 2008, **25**(2):189-192 (in Chinese).

柯扬船,魏光耀. 纳米材料在石油天然气田开发中的应用进展[J]. 油田化学, 2008, **25**(2):189-192.

- [10] CHEN Tiantian, LU Fusui, LI Xianwei, *et al.* Influence of Mg-Al MMH on the Rheology of Diflubenzuron SC[J]. *Chem J Chinese Univ*, 2010, **31**(10):2036-2041 (in Chinese).
陈甜甜,路福绥,李现伟,等. Mg-Al MMH 对除虫脲水悬浮剂流变性的影响[J]. 高等学校化学学报, 2010, **31**(10):2036-2041.
- [11] LI Dianqing, FENG Tao, Evans D G, *et al.* Assembly and Structural Characteristics of Organic Anion-pillared Hydrotalcites [J]. *Chinese J Process Eng*, 2002, **2**(4):355-360 (in Chinese).
李殿卿,冯桃,Evans D G,等. 有机阴离子柱撑水滑石的插层组装及超分子结构[J]. 过程工程学报, 2002, **2**(4):355-360.
- [12] ZHU Bingyu, ZHANG Zhengqun, LI Gang, *et al.* Organic Modified Bentonite and Its Effect on the Physical Stability of Nicosulfuron Oil Suspension[J]. *Chinese J Appl Chem*, 2009, **26**(8):881-884 (in Chinese).
朱炳煜,张正群,李刚,等. 有机改性膨润土及其对烟嘧磺隆油悬浮体系物理稳定性的影响[J]. 应用化学, 2009, **26**(8):881-884.
- [13] Kelessidis V C, Maglione R, Tsamantaki C, *et al.* Optimal Determination of Rheological Parameters for Herschel Bulkley Drilling Fluids and Impact on Pressure Drop, Velocity Profiles and Penetration Rates During Drilling[J]. *J Petrol Sci Eng*, 2006, **53**:203-224.
- [14] LI Shuping, HOU Wanguo, SUN Dejun, *et al.* Studies on the Thixotropy of Ferric Aluminum Magnesium Hydroxide/Montmorillonite Suspension[J]. *Chem J Chinese Univ*, 2001, **22**(7):1173-1176 (in Chinese).
李淑萍,侯万国,孙德军,等. Fe-Al-Mg-MMH/钠质蒙脱土分散体系触变性研究[J]. 高等学校化学学报, 2001, **22**(7):1173-1176.
- [15] HOU Wanguo, SU Yanlei, SUN Dejun, *et al.* Study on the Thixotropy of Magnesium Ferric Hydroxide-Montmorillonite Suspension[J]. *Acta Chim Sin*, 2000, **58**(6):722-726 (in Chinese).
侯万国,苏延磊,孙德军,等. Mg-Fe-MMH-钠质蒙脱土分散体系的触变性研究[J]. 化学学报, 2000, **58**(6):722-726.
- [16] Wang B, Zhang H, David G, *et al.* Surface Modification of Layered Double Hydroxides and Incorporation of Hydrophobic Organic Compounds[J]. *Mater Chem Phys*, 2005, **92**(1):190-196.
- [17] XU Li. Study on Intercalation of Mg/Al Layered Double Hydroxides and Its Application in the Treatment of Dyeing Wastewater[D]. Xi'an:Xi'an University of Science Technol, 2008 (in Chinese).
徐莉. 镁铝水滑石的插层组装及在印染废水处理中的应用研究[D]. 西安:西安科技大学, 2008.

Preparation of Dodecyl Sulfonate-Layered Double Hydroxides and Influence on Nicosulfuron Oil Flowable Concentrate Rheological Property

ZHAI Lili^a, LU Fusui^{b*}, XIA Hui^a, LIAO Kechao^a

(^aCollege of Plant Protection; ^bCollege of Chemistry and Materials Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract Hydrophobic dodecyl sulfonate-layered double hydroxides (DSO-LDHs) were prepared with Mg-Al-LDHs as the precursors, and its structure was characterized by XRD, optical microscope and FTIR. The results indicate that DSO anions are intercalated into LDHs interlayer successfully. In this paper, DSO-LDHs were applied as thixotropic materials in 4% nicosulfuron oil flowable suspension. The rheological results indicate that pesticide particles are attached to DSO-LDHs through electrostatic interaction since DSO-LDHs has a special structure of hydrotalcite laminated layers. As the concentration of DSO-LDHs increases, the oil suspension shows a positive thixotropy, and the yield value is also increased, whereas the oil separation ratio is decreased.

Keywords dodecyl sulfonate-layered double hydroxides, oil flowable concentrate, nicosulfuron, positive thixotropy