

蒙脱石及其制剂吸附力测定方法研究

安彦, 唐素芳, 孙悦

(天津市药品检验所, 天津 300070)

摘要 目的: 对现行蒙脱石及其制剂质量标准中吸附力检查的原理及方法进行深入研究, 拟以非毒性试剂三氯六氨合钴(Ⅲ)替代目前所使用的价格昂贵且剧毒的硫酸士的宁测定蒙脱石吸附力。**方法:** 经对蒙脱石吸附力测定原理的理论论证, 优化了吸附力测定方法, 利用正交设计软件确定反应条件为 37 ℃ 水浴放置 1 h, 以紫外-可见分光光度法在 474 nm 测定, 对方法的线性、精密度和溶液稳定性进行了方法学验证。**结果:** 经对 21 家企业的 39 批原料与制剂样品测定, 原料结果在 1.024~1.174 mmol·g⁻¹ 之间, 散剂结果在 1.018~1.238 mmol·g⁻¹ 之间, 分散片结果在 0.894~1.130 mmol·g⁻¹ 之间, 所有样品结果与采用硫酸士的宁测定吸附力的结果间换算平均系数为 0.43, 与理论推导一致, 方法可行。**结论:** 三氯六氨合钴(Ⅲ)可替代硫酸士的宁作为蒙脱石吸附力测定的标志物, 试验安全, 无污染, 经济, 简便。**关键词:** 矿物药; 蒙脱石; 吸附力检查; 三氯六氨合钴(Ⅲ); 硫酸士的宁; 测定方法改进; 反应原理; 方法学验证

中图分类号: R 917

文献标识码: A

文章编号: 0254-1793(2017)02-0326-07

doi: 10.16155/j.0254-1793.2017.02.21

Determination method of adsorption capacity for montmorillonite and its preparations

AN Yan, TANG Su-fang, SUN Yue

(Tianjin Institute for Drug Control, Tianjin 300070, China)

Abstract Objective: To study the theory and method of adsorption capacity examination of the quality standard for montmorillonite and its preparation. The montmorillonite adsorption measurement of nontoxic reagent hexamminecobalt(Ⅲ) chloride instead of expensive and toxic strychninesulfate were investigated. **Methods:** Based on the demonstration principle of bymontmorillonite adsorption, the method of adsorption determination of montorillonite was optimized. The parameters including the temperature, the vibration wave velocity and time and the reaction conditions were used for the orthogonal experimental design. Water bath was 37 ℃ for 1 h and the UV-visible spectrophotometry wavelength was 474 nm. The method of linearity, precision and stability were validated. **Results:** The 39 batches of raw materials and preparations from 21 companies were determined. The content range of the raw material was 1.024~1.174 mmol·g⁻¹ and the content range of the powder was 1.018~1.238 mmol·g⁻¹. The content range of the dispersible tablets was 0.894~1.130 mmol·g⁻¹. The conversion average coefficient

of all the results determined by hexaamminecobalt (Ⅲ) chloride was 0.43 compared with strychninesulfate adsorption method, which is consistent with the theory, the method is feasible. **Conclusion:** Hexaamminecobalt (Ⅲ) chloride can be used for measuring the adsorption of montmorillonite and this method is test-safe, pollution-free, economic and convenient.

Keywords: mineral medicine; montmorillonite; adsorption check; hexaamminecobalt (Ⅲ) chloride; strychninesulfate; determination method improvement; reaction principle; method validation

蒙脱石为膨润土矿主要成分,其层状结构和非均匀性电荷分布,对消化道内的病毒、病菌及其产生的毒素等具有极强的固定、吸附作用,使病毒、病菌等失去致病作用;此外蒙脱石通过覆盖消化道黏膜发挥防御功能,具有平衡正常菌群和局部止痛作用,适用于成人及儿童急、慢性腹泻^[1]。蒙脱石及其制剂的现行质量标准收载于中国药典 2015 年版二部^[2],其中吸附力检查是唯一反映蒙脱石吸附能力的检验项目。吸附力的结果直接反映药品的疗效,多年来该项检查需使用硫酸土的宁作为标志物,但硫酸土的宁属于 A 级有机毒性物质,在使用的同时会对环境造成污染,操作不慎还可能导致实验人员被毒物污染,存在很大的安全隐患。同时,国内尚无硫酸土的宁的生产企业,蒙脱石生产企业需长期进口该试剂,价格昂贵,无形中增加了企业成本。此次根据研究结果,采用三氯六氨合钴(Ⅲ)作为吸附力测定标志物,该试剂无毒,易得,性质稳定,经方法学验证及 21 家生产企业共 39 批原料及其制剂的试验复核,本品可替代硫酸土的宁用于测定蒙脱石吸附力,并提出对蒙脱石及其制剂吸附力测定方法进行修订。

1 理论论证

1.1 吸附力测定原理

蒙脱石为硅氧四面体和铝氧八面体组成的双八面体层状结构,结构通式为 $(K, Na, Ca, Mg)_y(Al, Mg)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$, 其中 $(K, Na, Ca, Mg)_y$ 为层间可交换阳离子, $(Al, Mg)_2$ 为八面体中的阳离子, $(Si, Al)_4$ 为四面体中的阳离子,结构中的 Al 和 Mg 对 Si 和 Al 的随机取代造成电荷的不平衡,使其具有带电性和离子交换的特性^[3-4]。蒙脱石吸附力无法直接测定,但可通过其选择性吸附、交换某些阳离子而间接测定。以硫酸土的宁作为标志物测定吸附力的原理为硫酸土的宁分子具有紫外吸收,当被蒙脱石吸附后紫外吸收消失,因此可使蒙脱石与过量的硫酸土的宁充分反应,利用

剩余硫酸土的宁的量推算出蒙脱石的吸附力^[5],其中蒙脱石与硫酸土的宁反应过程如图 1-A、B。

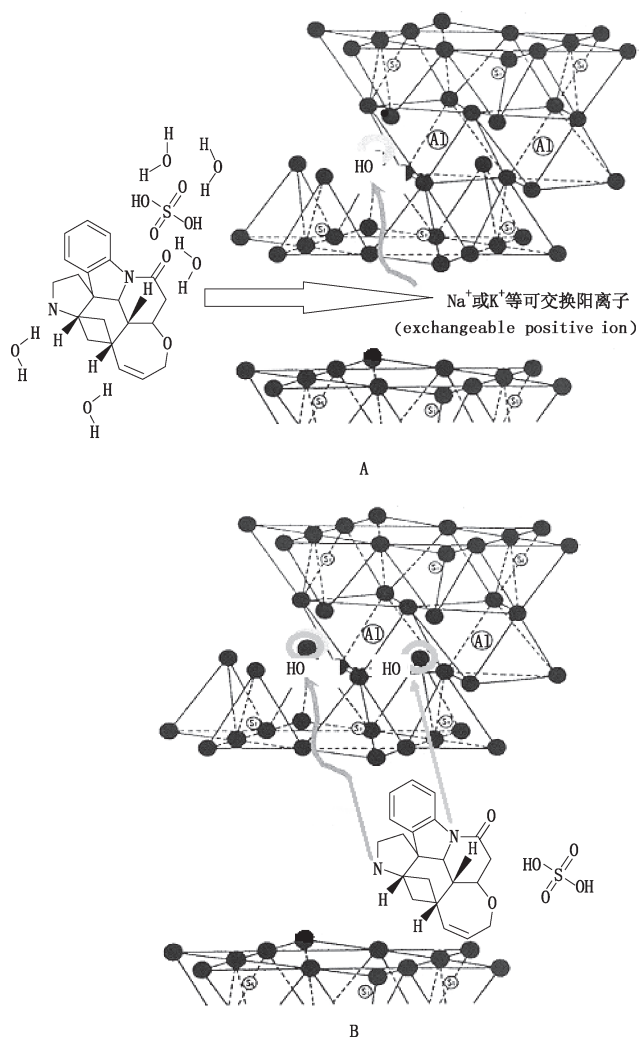


图 1 蒙脱石与硫酸土的宁的反应过程 (A) 及结果 (B)

Fig. 1 The reaction procedure (A) and the reaction result of montmorillonite and strychninesulfate

由图 1 可知,硫酸土的宁中的阳离子可与蒙脱石分子层间的 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子发生交换,从而被吸附在蒙脱石分子中。在矿产行业通常采用三氯六氨合钴(Ⅲ)测定膨润土矿(提纯后得到蒙脱

石)的阳离子交换容量,这一反应与吸附力的测定具有相同的反应机理,即蒙脱石层间阳离子与三氯六氨合钴(Ⅲ)分子中的钴铵阳离子发生交换,钴铵阳离子结合在蒙脱石分子中并使其颜色消失,通过测定剩余量的三氯六氨合钴(Ⅲ)推算出阳离子交换容量^[6-9]。

1.2 三氯六氨合钴(Ⅲ)简介

本品性状为黄色或橙黄色结晶,英文名为 hexaamminecobalt(Ⅲ)chloride, CAS 号为 10534-89-1。三氯六氨合钴(Ⅲ)是由 1 个 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 阳离子和 2 个 Cl^- 组成的经典配合物,钴(Ⅲ)处于阳离子八面体中心(结构见图 2), $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 为稳定的配离子,常温时遇强酸和强碱基本不分解。

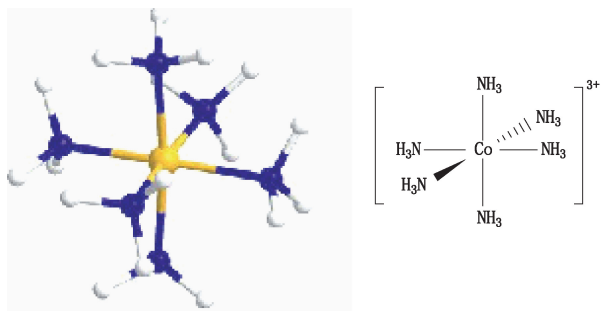


图 2 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ 阳离子立体结构

Fig. 2 3D structure of $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$

三氯六氨合钴(Ⅲ)与硫酸土的宁分别与蒙脱石反应时,两者存在换算系数,即当前者测定蒙脱石

吸附力为 $1 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 时,后者测定吸附力为 $0.43 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。换算过程如下:

$0.43 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \rightarrow 1 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ (折算硫酸土的宁的摩尔质量 $432.419 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

综上所述三氯六氨合钴(Ⅲ)可替代硫酸土的宁作为蒙脱石吸附力测定的标志物。

2 吸附力测定

2.1 仪器与试药

岛津 UV-2450 分光光度计、普析 T9 分光光度计、Thermo EVOLUTION 300 U-VIS 分光光度计; METTLER XSE205 天平、METTLER AE240 天平;水为去离子水。三氯六氨合钴(Ⅲ)均为化学试剂,生产企业、批号及纯度见表 1。

蒙脱石原料样品分别为博福-益普生(天津)制药有限公司(批号 E16061-BBN01、E16063-BBN01、E16062-BBN03)、浙江海力生制药有限公司(批号 140502、140614、140615)、先声药业有限公司(批号 A01-120101);蒙脱石散样品分别为浙江海力生制药有限公司(批号 140404、140405、140407)、博福-益普生(天津)制药有限公司(批号 H07710、H11934、H11940)、先声药业有限公司(批号 07-141216);蒙脱石分散片样品分别为山东绿叶制药有限公司(批号 20130605、20140717、20150210)、先声药业有限公司(批号 44-150505、44-150701、44-150706)。

表 1 三氯六氨合钴(Ⅲ)生产企业及纯度情况

Tab. 1 The production and purity of Hexaamminecobalt(Ⅲ)chloride

简称(abbreviation)	生产厂家(manufacturer)	批号(lot No.)	纯度(purity)/%
TIC	东京化成工业株式会社 (TOKYO CHEMICAL INDUSTRY/JAPAN)	MEE6F-CT	99.0
ACROS	ACROS ORGANICS(import packing)	192870050	99.999
安耐吉 (Energy)	萨恩化学技术(上海)有限公司(国产试剂) (Energy-Chemical) (Chinese production reagent)	CJ310081	99
Alfa	Alfa Aesar(China) Chemicals Co., Ltd.	10S34-89-1	97

2.2 测定法

取本品约 0.60 g(制剂为取相当于蒙脱石 0.60 g 的细粉),精密称定,置具塞锥形瓶中,精密加 $0.020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液 20 mL,摇匀,置 37°C 水浴中,放置 1 h,滤过,取续滤液,作为供试

品溶液,按紫外-可见分光光度法(中国药典 2010 年版二部附录 IV A),在 474 nm 的波长处测定吸光度;另取 $0.020 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液适量,加水稀释 1 倍,作为对照溶液,同法测定吸光度,按下式计算吸附力。

$$\text{吸附力} = \frac{(2A_1 - A_2) \times C \times 20 \times 3 \times M_2}{2A_1 \times M_1 \times G}$$

式中: A_1 为三氯六氨合钴(Ⅲ)对照溶液吸光度; A_2 为供试品溶液吸光度; C 三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 20 即为三氯六氨合钴溶液加入量, mL; M_1 为供试品量, g; M_2 为平均装量, g; G 为标示量, g。

每 1 g 蒙脱石应吸附三氯六氨合钴(Ⅲ) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ 0.80~1.30 mmol。

2.3 方法学研究^[10-11]

2.3.1 测定方法及反应溶剂的选择 三氯六氨合钴(Ⅲ)为黄色或橙黄色结晶,水溶液显橙黄色,最大吸收波长为 474 nm。三氯六氨合钴(Ⅲ)与蒙脱石发生反应后溶液颜色消失,因此可采用比色法测定剩余三氯六氨合钴(Ⅲ)的浓度,推算出吸附力。

以硫酸土的宁为标志物测定蒙脱石的吸附力,采用 pH 6.8 磷酸盐缓冲液作为溶剂,是因为黏土在 pH 6.8 溶液中吸附力较强,且与小肠 pH 环境接近。经试验,分别采用 pH 6.8 磷酸盐缓冲液和水作为溶剂,制备相同浓度的三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液,起初三氯六氨合钴(Ⅲ)在 2 种溶剂中均可完全溶解,但经放置过夜后, pH 6.8 磷酸盐缓冲液中会逐渐析出沉淀,最后选择水作为反应溶剂。

2.3.2 实验条件的选择 采用正交设计法选择实验条件,综合考虑影响吸附力测定结果的 3 个因素(反应温度、反应时间及振摇强度),同时考察三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液浓度及供试品取样量对实验结果的影响。

经试验,当三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液浓度为 $0.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$,供试品取样量约为 0.6 g 时,对照溶液及供试品溶液吸光度均在 0.5 左右,测定结果最为准确。对温度、时间及振摇强度选择结果见表 2、3。

经分析,各实验条件的吸附力结果无明显差异,考虑季节及南北方室温的差异,故选择最接近正常人体体温的 37 °C 作为实验水浴温度;由于人体胃肠蠕动远远低于水浴振摇速度,因此选择水浴放置,不进行振摇,在确定水浴温度及放置条件后,考虑有文献报道三氯六氨合钴(Ⅲ)与蒙脱石反应 6 h 后最为稳定,故对反应时间再次进行考察,结果见表 3。

表 2 正交设计吸附力影响因素试验结果

Tab. 2 Results of compatibility testing

试验条件 (experiment condition)			吸附力 (abortion) / (mmol · g ⁻¹)
温度 (temperature) / °C	时间 (time) / h	振摇速度 (shake speed) / (r · min ⁻¹)	
25	1	0	1.041
25	2	75	1.044
25	4	125	1.048
25	6	200	1.056
30	1	0	1.044
30	2	75	1.045
30	4	125	1.046
30	6	200	1.040
37	1	0	1.046
37	2	75	1.045
37	4	125	1.048
37	6	200	1.048
40	1	0	1.044
40	2	75	1.017
40	4	125	1.046
40	6	200	1.047

表 3 不同反应时间吸附力测定结果

Tab. 3 Results of abortion in different reaction time

时间 (time) /h	吸附力 (abortion) / (mmol · g ⁻¹)
0.5	1.045
1	1.051
2	1.051
3	1.052
4	1.053
6	1.055

由实验结果判断,除 0.5 h 的吸附力略低外,其他各时间点的结果基本一致,考虑到蒙脱石进入人体后在胃肠道的滞留时间以及作为止泻药需尽快起效的特点,确定反应时间为 1 h。

2.3.3 线性试验 精密称取三氯六氨合钴(Ⅲ)约 2.7 g (2.675 g),置 100 mL 量瓶中,加水溶解并稀释至刻度,摇匀,即得储备液;分别精密量取储备液适量,加水稀释,依次制成浓度分别为 3、5、8、10、12、15、20 及 25 mmol · L⁻¹ 的系列溶液,测定吸光度,以浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,得到线性回归方程:

$$Y = 0.0028X + 0.0127 \quad r = 0.9999$$

试验结果表明三氯六氨合钴(Ⅲ)浓度在 3~25 mmol · L⁻¹ 范围内与吸光度呈良好线性关系。

2.3.4 精密度试验 分别取原料样品和散剂样品

各 6 份,按上述方法测定样品的吸附力;试验仪器:METTLER XSE205 天平、普析 T9 分光光度计;结果显示日内精密度均良好。另取原料样品和制剂样品 6 份,采用与日内精密度试验的方法,在不同日、不同的实验室测定;试验仪器:METTLER AE240 天平、Thermo EVOLUTION 300 U-VIS 分光光度计;结果显示日间精密度良好。本法试验结果可重现,结果见表 4。

表 4 吸附力精密度试验结果
Tab. 4 Result of precision testing

	日内精密度 (intra-day precision)	
	原料 A (raw material A)	散剂 A (powder A)
吸附力 (abortion)/(mmol·g ⁻¹)	1.043	1.232
	1.041	1.235
	1.043	1.224
	1.043	1.228
	1.041	1.211
	1.044	1.230
RSD/%	0.10	0.69
	日间精密度 (inter-day precision)	
	原料 A (raw material A)	散剂 A (powder A)
吸附力 (abortion)/(mmol·g ⁻¹)	1.042	1.230
	1.039	1.226
	1.042	1.230
	1.042	1.225
	1.042	1.228
	1.043	1.230
RSD/%	0.12	0.16

2.3.5 溶液稳定性试验 取对照溶液和原料及散剂的供试品溶液,分别在 0、3、6、17 和 24 h 分别测定吸光度,计算各溶液吸光度的 RSD 分别为 0.15%、0.17% 和 0.27%,结果表明对照溶液及供试品溶液在 24 h 内稳定。

2.3.6 吸附力换算因子的验证 在“1.2”中已理论上推导出三氯六氨合钴(Ⅲ)与硫酸土的宁测定的换算系数为 0.43。现分别以 2 种标志物测定原料及制剂共 39 批样品的吸附力,计算换算系数,进行试验验证。结果表明 39 批样品的换算系数平均值为 0.43 (RSD 为 1.6%) (表 5),与理论结果相符。

2.3.7 不同试剂对吸附力测定的影响 为考察国内外不同厂家及纯度的三氯六氨合钴(Ⅲ)对吸附力测定结果的影响,取 2 家不同企业的原料及制散剂,分别用 4 家企业的试剂(详见表 2)进行试验,并将标注纯度带入公式计算吸附力,结果见表 6,试验表明试剂纯度对吸附力测定结果的影响在误差范围内,可忽略不计,无需采用高纯度试剂。

2.3.8 三氯六氨合钴(Ⅲ)与蒙脱石结合程度的考察 取蒙脱石适量与过量的三氯六氨合钴(Ⅲ)溶液于 37 ℃ 水浴中反应 1 h,滤过,取剩余物用水充分洗涤至滤液无色,室温放置至彻底干燥,精密称取约 0.6 g,测定反应后蒙脱石的吸附力,结果为 0.038 mmol·g⁻¹,远远低于正常值,说明蒙脱石与三氯六氨合钴(Ⅲ)反应后失去交换能力,且反应为不可逆。

3 讨论

3.1 研究目的

多年来蒙脱石吸附力检查需使用硫酸土的宁作为标志物,但硫酸土的宁属于 A 级有机剧毒物质,长期以来存在的“硫酸土的宁”环境污染、价格昂贵、采购困难等问题始终困扰着蒙脱石生产企业和相关检验结构。本次研究通过对蒙脱石吸附力测定方法进行深入的理论研究,最终选择三氯六氨合钴(Ⅲ)替代硫酸土的宁作为蒙脱石吸附力检查的标志物,并通过方法学研究实验,建立了相应的检验技术标准。三氯六氨合钴(Ⅲ)为合成含钴(Ⅲ)化合物的常用原料,不属于毒性物质,易被蒙脱石吸附,反应迅速且为不可逆,实现了对蒙脱石吸附力的有效控制,试验过程简便、无污染,实现了蒙脱石吸附力的绿色检验。

3.2 方法验证结果

经试验验证,采用硫酸土的宁与三氯六氨合钴(Ⅲ)2 种物质测定吸附力的结果一致,三氯六氨合钴(Ⅲ)可替代硫酸土的宁作为蒙脱石吸附力测定的标志物。

3.3 吸附力单位

本方法吸附力测定结果的单位采用 mmol·g⁻¹,这是因为蒙脱石主要通过阳离子交换而发生吸附作用,吸附力的测定亦是标志物中的阳离子与蒙脱石分子中等当量的阳离子交换,表示吸附离子的能力,采用摩尔数更为合理;另外,采用 mmol 的单位可排除标志物的纯度对实验结果造成的误差。

表 5 吸附力换算因子的验证结果

Tab. 5 Adsorption coefficient

剂型 / 企业 (preparation/manufacturer)	批号 (lot No.)	硫酸土的宁吸附力 (adsorption of strychninesulfate) $/(g \cdot g^{-1})$	三氯六氨合钴(Ⅲ)吸附力 (adsorption of hexaamminecobalt(Ⅲ) chloride/ $(mmol \cdot g^{-1})$	换算系数 (conversion factor)
原料 (raw material) /A	E16061-BBN01	0.446	1.043	0.428
	E16063-BBN01	0.449	1.024	0.439
	E16062-BBN03	0.452	1.035	0.436
原料 (raw material) /B	140502	0.486	1.132	0.430
	140614	0.491	1.145	0.429
	140615	0.489	1.141	0.429
原料 (raw material) /C	A01-120101	0.508	1.174	0.433
散剂 (powder) /A	140404	0.524	1.227	0.427
	140405	0.519	1.214	0.427
	140407	0.500	1.188	0.421
散剂 (powder) /B	H07710	0.438	1.041	0.421
	H11934	0.432	1.018	0.424
	H11940	0.431	1.048	0.412
散剂 (powder) /C	07-141216	0.499	1.167	0.427
散剂 (powder) /D	20150703	0.527	1.238	0.425
散剂 (powder) /E	2140901	0.470	1.102	0.426
散剂 (powder) /F	2150701	0.485	1.144	0.424
散剂 (powder) /G	140501	0.435	1.036	0.419
散剂 (powder) /H	141102	0.504	1.152	0.437
散剂 (powder) /I	150206	0.506	1.168	0.433
散剂 (powder) /J	150306	0.515	1.189	0.433
散剂 (powder) /K	141102	0.474	1.130	0.420
散剂 (powder) /L	1503112	0.480	1.150	0.418
散剂 (powder) /M	20150303	0.501	1.143	0.439
散剂 (powder) /N	1504924	0.492	1.153	0.426
	1407235	0.505	1.161	0.435
散剂 (powder) /O	20141005	0.502	1.151	0.436
散剂 (powder) /P	141001	0.477	1.117	0.427
散剂 (powder) /Q	02150707	0.488	1.140	0.428
散剂 (powder) /R	150602	0.489	1.157	0.423
散剂 (powder) /S	150701	0.472	1.112	0.425
	150702	0.485	1.103	0.440
散剂 (powder) /T	15062742	0.477	1.138	0.419
分散片 (dispersible tablets) /A	20130605	0.381	0.902	0.422
分散片 (dispersible tablets) /B	20140717	0.378	0.894	0.423
	20150210	0.460	1.075	0.428
	44-150505	0.478	1.130	0.423
	44-150701	0.477	1.127	0.424
	44-150706	0.480	1.105	0.435

表 6 试剂对吸附力试验结果的影响

Tab. 6 Effect of experimental reagents

试剂品牌 (manufacturer)	纯度 (purity)/%	吸附力 (adsorption)/(mmol · g ⁻¹)			
		原料 A (raw material A)	原料 B (raw material B)	散剂 A (powder A)	散剂 B (powder B)
TIC	99.0	1.043	1.132	1.227	1.041
安耐吉 (Energe)	99	1.035	1.128	1.233	1.051
ACROS	99.999	1.030	1.131	1.227	1.056
Alfa	97	1.051	1.141	1.241	1.064
RSD/%		0.9	0.5	0.5	0.9

3.4 吸附力限度换算

蒙脱石现行标准吸附力测定限度为: 每 1 g 蒙脱石应吸附硫酸土的宁[(C₂₁H₂₂N₂O₂)₂ · H₂SO₄ · 5H₂O] 0.35~0.55 g, 经折算硫酸土的宁的摩尔质量 432.419 g · mol⁻¹ 后吸附力约为每 1 g 0.0008~0.0013 mol, 因此规定吸附力限度为: 每 1 g 蒙脱石应吸附三氯六氨合钴(Ⅲ)[Co(NH₃)₆]Cl₃ 0.80~1.30 mmol。

参考文献

- [1] 樊志成, 薛云丽, 李世旭, 等. 蒙脱石在医药中的应用[J]. 精细与专用化学品[J]. 2007, 15(6): 29
FAN ZC, XUE YL, LI SX, *et al.* Application of montmorillonite in pharmacy[J]. Fine Spec Chem, 2007, 15(6): 29
- [2] 中国药典 2015 年版. 二部[S]. 2015: 1452
ChP 2015. Vol II [S]. 2015: 1452
- [3] 胡秀荣, 吕光烈, 陈林深, 等. 天然蒙脱石与细菌相互作用机理的研究[J]. 药学报, 2002, 37(9): 718
HU XR, LÜ GL, CHEN LS, *et al.* Study on the interaction mechanism between natural montmorillonite and bacteria[J]. Acta Pharm Sin [J], 2002, 37(9): 718
- [4] 胡秀荣, 吕光烈, 顾建明, 等. 天然蒙脱石的结构与带电性[J]. 物理化学学报, 2003, 19(12): 1171
HU XR, LÜ GL, GU JM, *et al.* Structure and electrical properties of natural montmorillonite[J]. Acta Phys Chim Sin, 2003, 19(12): 1171
- [5] EVCIM N, BARR M. Adsorption of some alkaloids by different clays[J]. J Am Pharm Assoc, 1955, 44(9): 570
- [6] 胡秀荣, 吕光烈, 杨芸. 六铵合钴离子交换法测定粘土中阳离子交换容量[J]. 分析化学研究简报, 2000, 28(11): 1402
HU XR, LÜ GL, YANG Y. Determination of cation exchange capacity in clay by hexaamminecobalt(Ⅲ) exchange method[J]. Chin J Anal Chem, 2000, 28(11): 1402
- [7] 冯波, 章永化, 龚克成. 蒙脱石-有机化合物的相互作用[J]. 化学通报, 2002, 6(7): 440
FENG B, ZHANG YH, GONG KC. Interaction between montmorillonite and organic compounds[J]. Chemistry, 2002, 6(7): 440
- [8] 戚淑芳, 张杰, 王莹. 膨润土阳离子交换容量和交换性阳离子的测定方法研究[J]. 硅酸盐通报, 2009, 28(1): 208
QI SF, ZHANG J, WANG Y. A method of rapidly determining cationic exchange capacity and extractable cations[J]. Bull Chin Ceram Soc, 2009, 28(1): 208
- [9] 陈济美, 龚关, 赵连强, 等. 膨润土阳离子交换量的测定[J]. 岩矿测定, 2000, 19(2): 152
CHEN JM, GONG G, ZHAO LQ, *et al.* Determination of cation exchange capacity of bentonite[J]. Rock Miner Anal, 2000, 19(2): 152
- [10] 安彦, 左志辉, 王卫, 等. 蒙脱石质量评价及对现行质量标准的探讨[J]. 中国药品标准, 2012, 13(3): 172
AN Y, ZUO ZH, WANG W, *et al.* Quality evaluation and discussion on the current quality standards of montmorillonite powder[J]. Drug Stand China, 2012, 13(3): 172
- [11] 杨伟俊, 焦胜春, 徐建国, 等. 药用辅料膨润土的质量标准研究[J]. 新疆医学, 2011, 41(2): 136
YANG WJ, JIAO SC, XU JG, *et al.* Study on quality standard of medicinal excipient bentonite[J]. Xinjiang Med J, 2011, 41(2): 136

(本文于 2016 年 3 月 7 日收到)