

尿布吸水特性的实验研究

陈敬贻¹, 董昊^{2*}

(1.南京师范大学附属中学, 江苏 南京 210003; 2.南京大学匡亚明学院, 江苏 南京 210023)

摘要:聚丙烯酸钠是一种具有很强吸水能力的高分子材料, 被广泛用做尿不湿的吸水材料。本文对市面上常见的七种尿不湿品牌的性能进行实验研究, 系统考察了不同品牌尿不湿的吸水速率、最大吸水量、保水能力以及不同盐浓度和温度下的吸水性能, 基于这些实验来探讨尿不湿吸收性能的影响因素, 并为进一步提升其吸水性能提供依据。

关键词: 高分子材料; 聚丙烯酸钠; 吸水性能; 含盐量

中图分类号: TB324

文献标识码: A

文章编号: 2095-414X(2019)02-0020-05

随着时代的发展和社会的进步, 尿不湿的高吸水性、透气性等特点给婴幼儿的护理带来了很大的方便, 逐渐取代了传统尿布。据调查, 一个婴儿平均一天要使用十几片尿不湿, 一个家庭购买尿不湿所需的花销相当可观, 而全世界的婴儿对于尿不湿的使用量则是一个天文数字。这带来的一个有意义的问题就是: 怎样可以改善尿不湿的性能, 从而做到物尽其用? 另外一方面, 尿不湿的大量使用会带来“白色污染”等环境问题, 这也促使我们思考应当怎样改善尿不湿的材料, 提高尿不湿的利用效率^[1], 或是对使用过的尿不湿进行再次利用, 从而增强其环境友好性。

尿不湿内部的主要吸水材料为聚丙烯酸钠, 它是一种无毒、无害、无污染的新型高吸水性高分子材料 (super absorbent polymer, 简称 SAP)^[1]。这种材料可以吸收比自身质量重几百甚至几千倍的水, 而且具有很强的保水能力, 使得吸收的水很难再溢出。与传统尿布、棉布不同, 尿不湿中的高吸水性树脂是通过化学键与水结合, 从而提高了吸水能力和保水能力^[2]。

由于高吸水树脂材料的合成方法不同, 这些材料的吸水性能可能会有较大的差异^[4]。为此, 本文对市场上销售的几种尿不湿的主要产品在不同环境下的吸水特性进行定量研究, 希望理解尿不湿吸收性能的影响因素, 为合理购买尿不湿提供参考, 也为进一步提升其吸水性能提供实验依据。

1 实验简介

考虑从多次吸水性、保水性、液体含盐量及液体温度等不同角度比较各个知名品牌尿不湿的性能。

如图 1 所示, 本文在实验中使用了以下七个品牌的尿不湿 (均为小号): 花王 (日本)、大王 (日本)、妈咪宝贝 (日本)、丽贝乐 (瑞典)、帮宝适 (美国)、五羊 (中国)、安儿乐 (中国)。其中, 除了丽贝乐和五羊以外, 其它品牌均有变色尿湿显示带。

2 实验结果

2.1 吸水率比较

首先, 为了比较不同品牌尿不湿的吸水速率, 我们选择了上述七种品牌尿不湿各三片, 放于桌面并压平, 用漏斗在尿不湿的中央位置一次性加入 60 ml 温度为 30℃ 的水, 记录从加水直至尿不湿表面不再有残



图 1 本文使用的七种尿不湿品牌

*通讯作者: 董昊(1981-), 男, 教授, 博士, 研究方向: 计算化学。
基金项目: 全国中学生英才计划项目 (2017)。

留水的时间(为了让尿不湿表面的水清晰可见,我们在水中加入了少量碘液使水呈现暗黄色)。每一种尿不湿在三次实验中所需要的时间及其平均值如表 1 所示。各种品牌的尿不湿吸水的时间为 7-11 秒,但不同品牌具有明显的差异,其中五羊吸水速度较慢(约 11 秒),安儿乐(约 7 秒)和妈咪宝贝(约 8 秒)吸水较快。

表 1 不同品牌尿不湿的吸水速率比较(单位:秒)

品牌	第一片	第二片	第三片	平均值
花王	8.2	8.0	8.4	8.2
大王	8.1	9.0	8.6	8.6
妈咪宝贝	6.6	7.4	7.4	7.1
丽贝乐	8.0	7.6	8.0	7.9
帮宝适	7.5	7.8	7.7	7.7
五羊	11.2	10.5	10.9	10.8
安儿乐	6.9	6.9	7.2	7.0

考虑到现实生活中,人们很难做到在婴儿每一次小便之后及时更换尿不湿,在第一次注水已经完全被吸收后,我们又测量了在以上尿不湿相同位置再次加入 60 ml 水后的吸水时间。每一种尿不湿测量三次,三次实验中所需要的时间及其平均值如表格 2 所示。可见,第二次吸水的速度普遍都变慢了,其中妈咪宝贝变化显著,时间由第一次的 7 秒增长为 18 秒,而五羊的变化很小,两次吸水的时间均为 11 秒左右。综合两次的吸水速度结果,花王和帮宝适体现出较好的稳定性和较快的吸水速率。

表 2 七种品牌尿不湿第二次吸水速率比较(单位:秒)

品牌	第一片	第二片	第三片	平均值
花王	11.4	10.1	5.6	9.0
大王	10.9	13.5	11.5	12.0
妈咪宝贝	19.9	20.9	14.3	18.4
丽贝乐	12.9	10.4	10.4	11.2
帮宝适	9.5	11.3	8.7	9.8
五羊	10.5	11.1	11.3	10.9
安儿乐	14.3	14.1	12.3	13.6

2.2 吸水量比较

我们对不同品牌尿不湿的吸水量也进行了比较。实验中,我们称取整片尿不湿加水至饱和时的质量(注:两侧和腰带的质量很小,在实验中可忽略不计)。每一种尿不湿在三次实验中的吸水量及其平均值如表 3 所示。实验结果表明,不同品牌尿布的吸水量差异较大,其中吸水量最大的是丽贝乐(1088 克),最小的是五羊(802 克)和帮宝适(805 克)。丽贝乐的吸水性能是五羊的 1.36 倍,单片吸水量的差异值达到 286 克。需要指出的是,与其它尿不湿明显不同,妈咪宝贝和帮宝适吸满水后较为柔软,可能具有更好的穿戴舒适性。

表 3 七种品牌尿不湿吸水量比较(单位:克)

品牌	第一片	第二片	第三片	平均值
花王	1038	1053	1021	1037
大王	1080	972	960	1004
妈咪宝贝	894	930	979	934
丽贝乐	1066	1112	1086	1088
帮宝适	802	792	820	805
五羊	757	809	840	802
安儿乐	939	1006	1001	982

2.3 保水性能比较

为了研究尿不湿的保水能力,我们又在加满水的尿不湿的上、下表面都压了吸水材料,并用同一重物均匀压在尿不湿上(本实验中所用的重物为一个质量为 2927 克的物品,面积足以盖住整个尿不湿),称量尿不湿在挤压前后的质量。得到数据如表格 4 所示。不难看出,丽贝乐和五羊的保水能力较强,在挤压时液体不容易溢出,而帮宝适的尿不湿在挤压时容易溢出。由于三片安儿乐尿不湿在吸水后均被挤破,内部材料漏出,故没有进行该品牌尿不湿的保水性能进行测量。

表 4 七种品牌尿不湿溢出水量 (Δm) 及保水率的比较

品牌	第一片 Δm (单位:克)	第二片 Δm (单位:克)	第三片 Δm (单位:克)	平均值 Δm (单位:克)	保水率
花王	24	20	31	25	97.6%
大王	22	9	22	18	98.2%
妈咪宝贝	43	20	13	25	97.3%
丽贝乐	13	12	16	14	98.7%
帮宝适	33	47	39	40	95.0%
五羊	16	7	12	12	98.5%

2.4 含盐量和温度对吸水量的影响

我们又进行了对于 SAP 这种材料的自身性能的探究,主要研究了含盐量和温度对 SAP 吸水量的影响。

为此,我们选用了妈咪宝贝尿不湿,将中部均匀的区域剪成 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 的小块(质量约为 1 克),并用轻纱布包好。我们又配置了常温下不同浓度的盐溶液,将尿不湿小块浸入水中,相同时间后取出,并称量吸水前后的质量。得到数据如表格 5 所示。

表 5 盐浓度对吸水量的影响(单位:克)

含盐量	第一片	第二片	第三片	平均值
无盐	6.2	6.8	6.0	6.3
0.17 mol/L 水	5.2	4.2	4.9	4.8
0.85 mol/L 水	4.1	4.0	4.0	4.0
1.71 mol/L 水	4.0	3.8	3.8	3.9
3.42 mol/L 水	3.8	3.7	3.2	3.6
5.47 mol/L 水	3.7	3.5	3.4	3.5

从表 5 中可以看出,尿不湿的吸水量随着水溶液中含盐量的增加而降低。为了清楚地展示含盐量对尿不湿吸水性能的影响,图 2 显示两个极端的例子,即同一种尿不湿对含盐量很高的水溶液(图 2 左)及无盐水液吸收的最终状态。从图 2 中我们也可以观察到,在无盐的水溶液中,SAP 材料可以吸收很多水,导致其膨胀得很大;而在浓度较高的盐溶液中,SAP 材料则只能吸收少量水。

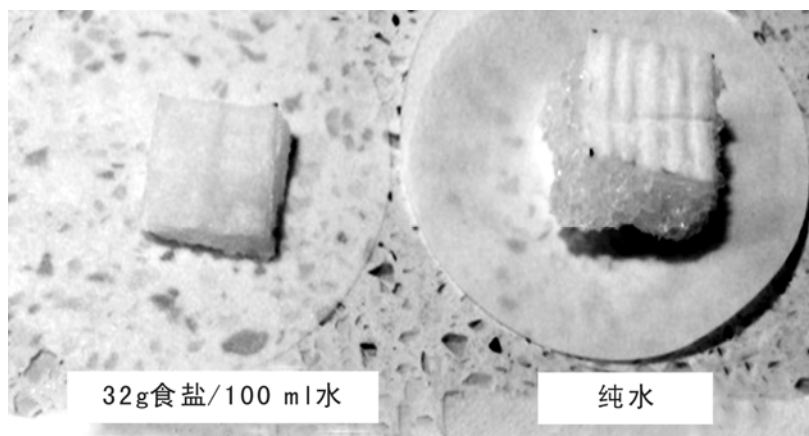


图 2 同样大小同品牌的尿不湿对不同含盐量水溶液的吸收情况比较

同样地, 本试验又改变了水的温度, 并测量了SAP材料在不同温度下的吸水能力。得到数据如表格6所示。从中可以看出, 温度对SAP吸水性能的影响并不是很大, 温度变化40℃时吸水量相对变化仅17%左右。非常有趣的是, 吸水量在体温(37℃)附近达到峰值。

表 6 不同温度下的吸水量比较 (单位:克)

温度	第一片	第二片	第三片	平均值
30℃	11.1	10.6	12.5	11.4
40℃	9.9	12.8	17.4	13.4
50℃	11.5	9.5	14.2	11.7
60℃	11.5	10.6	11.7	11.3
70℃	11.5	12.1	12.2	11.9

3 讨论

在实验中, 我们对尿不湿的性能以及 SAP 这种材料的性质进行了较为广泛的探索, 得到了一系列有趣的结果。当然, 受到实验条件的限制, 目前只得到初步的结果, 同时也具有一定的局限性。比如, 在比较尿不湿吸水速度的实验中, 很难做到使液体只向两边扩散而且不会溢出。此外, 尿不湿对水的吸收能力和对尿液的吸收能力是不同的^[5]。

让我们感到很意外的是, 尿不湿产品并不是将 SAP 材料简单地封装即可。在实验中, 我们观察到有些品牌的尿不湿有着一些特殊的结构。值得一提的是帮宝适尿不湿。在加水后, 水沿几根纵向的“导流管”流向两边, 如图 3 的箭头所示。这种结构有助于加速水的吸收。此外, 帮宝适在吸水后 SAP 颗粒比其它的稍小一些, 而且帮宝适在吸水材料上方垫了较厚一层棉, 使得该尿不湿非常柔软——这是其它品牌尿不湿所没有的。



图 3 帮宝适尿不湿的内部结构 (箭头所示为导管)

除了本文探讨的问题之外, 还有很多问题值得深入研究。比如, 能否通过改变 SAP 的亲水基团从而来改变尿不湿的性能? 用完的尿不湿能否再次回收利用, 或者在其它方面继续使用? 我们还可以通过 SAP 的性质来考虑其在实际生活中的应用, 比如利用 SAP 的保水能力来在沙漠等干旱地区植树种花^[6,7], 比如利用 SAP 的高吸水性来储存水以解决户外运动中不方便携带水的问题, 等等。

此外, 我们计划采用通用的量子化学计算软件 Gaussian09 对 SAP-(H₂O)_n 体系进行计算, 以便从微观尺度理解 SAP 材料吸水性能在不同环境中的差别。另外, SAP 不同的质子化状态 (用以模拟酸性或者碱性条件) 对于水分子结合能的影响也是非常值得研究的课题。

4 结论

通过实验, 比较了市场上七种不同品牌的尿不湿在不同条件下吸水及保水性能, 结果显示:

- (1) 不同品牌的尿不湿首次吸水速度差别不是很大, 吸收 60 ml 水耗时在 7-11 秒之间, 平均为 8.2 秒;
- (2) 不同品牌的尿不湿二次吸水速度差别较大, 有的尿不湿的二次吸水时间和首次吸水时间相当, 而有的则是首次吸水耗时的 2 倍;
- (3) 不同品牌尿不湿的吸水量差别也不是很大, 对于一整片尿不湿, 其吸水量在 802 克到 1088 克, 平均值为 950 克;
- (4) 不同品牌尿不湿的保水性能差别不大, 在使用 2.927 千克的重物挤压上述吸水尿不湿之后, 尿不湿能保持 95.0-98.7%的吸水;
- (5) 随着水中含盐量的增加, 尿不湿的吸水性能刚开始剧减, 之后趋于稳定;
- (6) 尿不湿的吸水性能在摄氏 40 度左右吸水性能最佳, 这个温度与人体温度接近。

参考文献:

- [1] ITyagi, AGoel, 刘俊华. 超吸水性聚合物[J]. 国际纺织导报, 2017, 45(2): 4-4.
- [2] 刘菁. 尿不湿的服用舒适性探讨[J]. 武汉科技学院学报, 2007, (06): 23-26.
- [3] 郭素华. 尿不湿边角料的再利用研究(英文)[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2007, (S1): 72.
- [4] 巴努古丽·多来提. 丙烯酸基高强度快速吸水树脂的紫外聚合及接枝改性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2016.
- [5] 张守林, 马宏佳, 陶亚奇. 探究活动一例——尿不湿中聚丙烯酸钠吸水特性探究[J]. 中学化学教学参考, 2003, (Z2): 53-54.
- [6] 陆青. “尿不湿”变出沙漠绿洲[J]. 农村青少年科学探究, 2013, (Z1): 80.
- [7] 曲贵伟, ADVarennes. 尿不湿中高吸水性聚合物对矿区土壤的修复及紫花漆姑草生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32 (07): 1348-1354.

Experimental Study on Water Absorption Capacity of Diapers

CHEN Jing-Yi¹, DONG Hao²

(1. High School Affiliated to Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu 210003, China;

2. KuangYaming Honors School, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210023, China)

Abstract: Sodium polyacrylate is a kind of polymer material with strong water absorption capacity. It has been widely used as the water absorbing material in diapers. The water absorbency of seven brands of diapers being available in market was studied systematically to investigate the water absorption rate, the maximum water absorption capacity, the water holding capacity and the water absorption performance under circumstances with different salt concentrations and temperatures. Based on these experiments, we can better understand the factors that influence the characteristics of diapers, with insights for further improving their water absorption capacity.

Key words: polymer; sodium polyacrylate; water absorbency; salinity