

# 环保型生化黄腐酸复合融雪剂的研究

韩永萍, 龚平, 刘红梅, 周文平, 贺志福

(北京联合大学生物工程学院 生物质废弃物资源化利用北京市重点实验室, 北京 100023)

**摘要:**以生化黄腐酸(BFA)为主要成分制备环保型 BFA 复合融雪剂。通过融冰性能和冰点考察, 筛选获得了 BFA 钙盐复合物和 BFA 硝酸铵复合物, 配方分别为:  $m(\text{BAF}):m(\text{醋酸钙}):m(\text{氯化钙})=1:0.7:1.3$  和  $m(\text{BAF}):m(\text{硝酸铵})=1:0.8$ 。2 种 BFA 复合物对碳钢腐蚀性和对植物种子相对受害率均符合融雪剂北京市地方标准。总之, BFA 融雪剂不仅环境友好, 还有益于植物的营养吸收。

**关键词:**融雪剂; 黄腐酸; 融冰性能; 碳钢腐蚀

中图分类号: U418.3

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)09-0080-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.09.019

## Environmental protection-type snow-melting agent from BFA compound

HAN Yong-ping, GONG Ping, LIU Hong-mei, ZHOU Wen-ping, HE Zhi-fu

(Beijing Key Laboratory of the Resource Utilization of Biomass Waste, Biochemical Engineering College, Beijing Union University, Beijing 100023, China)

**Abstract:** The environmental protection-type snow-melting agent is prepared by biochemical fulvic acid (BFA) compounded with salts. Based on the performance of melting ice and the freezing point, the snow-melting agents of BFA compounded with calcium salts and with ammonium nitrate, respectively, are both obtained. The formulation is composed of 1:0.7:1.3 of  $m(\text{BAF}):m(\text{calcium acetate}):m(\text{calcium chloride})$  and 1:0.8 of  $m(\text{BAF}):m(\text{ammonium nitrate})$ , respectively. Two BFA compounds all meet the requirements of Beijing local standard for snow-melting agent in the Carbon-causticity and relative damage percent of plant seeds. In short, the snow-melting agent from BFA is not only environmentally friendly but also beneficial to plant nutrition.

**Key words:** snow-melting agent; biochemical fulvic acid; performance of melting ice; carbon-causticity

融雪剂是快速除雪、保障北方城市雪天交通的必须手段。氯化钠、氯化钙等氯盐型融雪剂因融雪效果好, 来源广泛, 价格低廉等优势被广泛使用。然而, 氯盐对路基路面、混凝土和金属具有较强的腐蚀性, 并危害植物和土壤环境。据统计, 美国因氯盐腐蚀破坏环境成本约为国民生产总值的 4%<sup>[1]</sup>。仅 2005 年, 北京城八区内因使用融雪剂引发的行道树、绿篱以及草坪严重盐害或死亡而造成的直接损失达 3 000 多万元<sup>[2]</sup>。为此, 高效、环境友好型融雪剂的开发备受国内外研究者的关注。

20 世纪 90 年代初, 美国 DOT 公司以冰醋酸和石灰石为主要原料, 成功开发出环境友好的醋酸钙镁盐(CMA)有机融雪剂<sup>[3]</sup>。随后, 为了降低制备成本, 酯、糖、纸浆等工业生产废液及城市垃圾发酵液被广泛作为有机融雪剂的生产原料进行研究<sup>[4-5]</sup>。此外, 为了充分利用氯盐的融雪效果, 向氯盐型融雪剂中添加少量防腐剂, 或采用有机物(主要是醋酸盐)和氯盐复配, 开发出一系列环保型融雪剂<sup>[6-7]</sup>。

有机融雪剂的成分中一般含具有吸水能力的烯烃和羧酸共聚体, 降低冰点的 1~2 种多元醇, 延迟

冻结作用的聚羧酸衍生物和烯烃与羧酸的共聚体, 降低冰硬度的酯类等<sup>[8]</sup>。生化腐植酸(BFA)广泛存在于自然界的各个角落, 有改良土壤, 刺激作物生长, 改善农产品质量等功能。目前市售的 BFA 一般为植物秸秆通过微生物发酵获得, 成份中除酚酸、苯羧酸及脂肪酸外, 还存在一定量的水溶性糖类、醇类、氨基酸、蛋白质、核苷酸等物质<sup>[9]</sup>, 具备作为融雪剂有机原料的基本条件, 并且来源广泛, 价格低廉。但将 BFA 开发作为融雪剂的研究鲜有报道。

笔者通过 BFA 与融雪性能良好的盐复配, 制备环境友好型、植物营养的 BFA 复合融雪剂。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 主要原料及试剂

BFA 由江西省萍乡市乐乐腐殖酸厂提供; 醋酸钙、醋酸镁、氯化钙、氯化钠、氯化镁、硝酸钾、硝酸铵、盐酸等试剂均为分析纯, 由天津市福晨化学试剂厂提供。

### 1.2 主要仪器

Yaxin-0232 型热电偶测温仪(用于冰点测定);

JMD2004 型低温恒温反应槽; T-214 型分析天平; KY-RCC-I 型旋转挂片腐蚀仪(配碳钢 20# 标准腐蚀用挂片); GXZ 型智能光照培养箱; DHG-9075A 型恒温干燥箱; pH S-3C 精密 pH 计等。

### 1.3 融冰能力测定<sup>[10]</sup>

待测溶液的质量浓度均为 18 g/L, 置于  $-(10 \pm 1)^\circ\text{C}$  低温恒温箱中, 备用。

取 100 mL 烧杯, 加水 50 mL, 置于  $-(10 \pm 1)^\circ\text{C}$  低温恒温箱中结冰 12 h, 取出后擦干外壁称重  $m_0$ , 精确至 0.1 g。移取低温恒温箱中放置 3 h 以上的待测溶液 25 mL, 迅速倒入含冰烧杯并放回低温恒温箱中, 0.5 h 后取出立即倾倒入溶液, 擦干外壁称量烧杯及剩余冰块的质量  $m_1$ ; 同样方法使用 18 g/L 氯化钠溶液融冰, 获得  $m_2$ 。每组试验重复 3 次。

其融冰能力为:

$$W(\%) = [(m_1 - m_0)/(m_2 - m_0)] \times 100\%$$

### 1.4 融雪剂的性能测定

所有测试溶液的质量分数均为 18%。

#### 1.4.1 冰点测定

按照《发动机冷却液的冰点测定》(SH/T 0090—91) 进行冰点下降试验。

#### 1.4.2 对碳钢的腐蚀性测定

参照《水处理剂缓蚀性能测定—旋转挂片法》(GB/T 18175—2000) 测定, 并观察碳钢挂片腐蚀酸洗前后的表面形貌。其腐蚀率为:

$$X = [8\ 670 \times (m - m_0) \times 10] / (s \times \rho \times t)$$

式中:  $X$  为腐蚀率, mm/a;  $s$  为试片表面积, 本试验试片表面积为  $28\ \text{cm}^2$ ;  $\rho$  为试片密度,  $7.85\ \text{g/cm}^3$ ;  $t$  为试验时间 72 h;  $m$  为测试溶液造成的试片试验前后平均失重量, g;  $m_0$  为蒸馏水造成的试片试验前后平均失重量, g; 8 760 为 1 年的小时数, h/a。

#### 1.4.3 植物种子相对受害率

参照融雪剂北京市地方标准 (DB11T 161—2012) 中植物种子相对受害率测定方法, 选取玉米、大豆和绿豆常见作物种子, 每组 100 粒, 置于  $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$  光照培养箱中, 观察其 12 d 发芽情况, 蒸馏水作对照, 试验重复 4 次, 取平均发芽率  $F$ , 计算相对受害率 ( $S$ ):

$$S(\%) = (F_{\text{对照}} - F_{\text{待测液}}) / F_{\text{对照}}$$

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 BFA 基融雪剂的配方研究

根据 DB11T 161—2012, I 型融雪剂的冰点应为  $-10 \sim -15^\circ\text{C}$ , 融雪化冰能力应  $\geq$  氯化钠的

90%。尽管 BFA 具备作为有机融雪剂原料的基本条件, 但其融雪性能尚不能达到相关标准。为此, 笔者拟将 BFA 与盐进行复配。

#### 2.1.1 BFA 复配盐的筛选

复配用盐的筛选基本原则为: ①与 BFA 混合后不产生沉淀, 且有足够大的溶解度; ②可明显改善复配溶液的融雪化冰能力; ③有益于植物营养, 对环境不产生危害; ④原料成本相对较低。根据以上筛选原则, 在众多盐中初步筛选出氯化钙、醋酸钙、醋酸钠、硝酸钾和硝酸铵与 BFA 进行复配。各种复配物(按 1:1 质量比进行配制)的融冰能力如表 1 所示。

表 1 BFA 及其复配溶液的融冰能力 %

融雪材料	BFA	BFA + 氯化钙	BFA + 醋酸钙	BFA + 醋酸钠	BFA + 硝酸钾	BFA + 硝酸铵	氯化钠
融冰能力	62.32	80.18	72.35	71.91	66.20	110.56	100.00

由表 1 可以看出, 在质量浓度均为 18 g/L 的情况下, BFA 与各种盐复配后, 融冰性能有了明显改善。其中硝酸铵复配物的融冰能力最高, 超过了 110%; 氯化钙复配物达到了 80%; 醋酸钙和醋酸钠复配物比较接近, 约 72% 左右; 硝酸钾复配物的融冰能力最低, 只有 66%。硝酸铵优良的融冰性能值得关注, 尽管使用 BFA 硝酸铵复配物会因增加环境中的  $\text{NO}_3^-$  含量而易引起水体富营养化, 但可在应急条件下作为化冰盐使用或在远离水体的城镇社区内使用。此外, 还选取了有益改善土壤环境的醋酸钙和氯化钙与 BFA 进行进一步的复配研究。

#### 2.1.2 BFA 钙盐复配融雪剂研究

不同质量比的 BFA 与醋酸钙复配物的融冰能力和冰点如图 1 和表 2 所示。

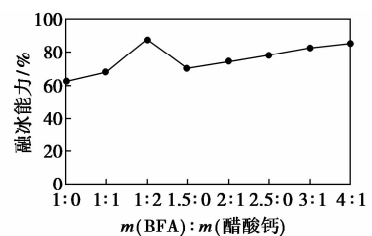


图 1 不同质量比 BFA 与醋酸钙复配物的融冰能力

表 2 BFA 与醋酸钙复配物的冰点  $^\circ\text{C}$

$m(\text{BFA}):m(\text{醋酸钙})$	1:0	1:1	1:2	1.5:1
冰点	-6.1	-7.0	-8.8	7.5
$m(\text{BFA}):m(\text{醋酸钙})$	2:1	2.5:1	3:1	4:1
冰点	-7.8	-8.0	-8.2	-8.3

由图 1 和表 2 可以看出,增大醋酸钙与 BFA 的质量比至 2:1 时,混合溶液的融冰性能迅速提高至 87%,冰点降低为  $-8.8^{\circ}\text{C}$ ;同样增大 BFA 比例,混合物的融雪化冰性能也得到了一定程度改善。据报道,黄腐酸因富含  $-\text{COOH}$  和  $-\text{OH}$  能与  $\text{Ca}^{2+}$  发生较强的络合作用<sup>[11]</sup>。正是由于  $\text{Ca}^{2+}$  的存在,复配混合溶液中形成了类似聚羧酸衍生物的共聚体(可增强吸水能力和延迟冻结作用),从而增强其融雪化冰能力。而当复配混合溶液中  $\text{Ca}^{2+}$  超过一定量后,其融雪化冰性能可归结为游离  $\text{Ca}^{2+}$  和 BFA 聚合物的共同作用结果。

试验中,BFA 与醋酸钙各种质量比复配混合物的融雪化冰性能均达不到北京市地方标准,考虑到低质量浓度条件下( $<20\text{ g/L}$ )醋酸钙的冰点和融冰能力均低于氯化钙<sup>[7]</sup>,在确定 BFA 与钙盐质量比为 1:2 的前提下,将钙盐转变为醋酸钙与氯化钙的混合物。

醋酸钙与氯化钙质量比对 BFA 钙盐复配混合物的融冰能力影响如图 2 所示,冰点如表 3 所示。

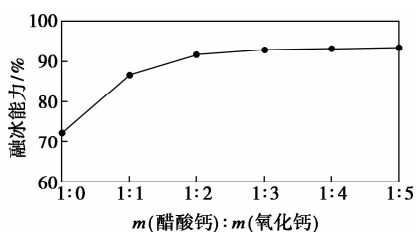


图 2 醋酸钙与氯化钙质量比对 BFA 复配物的融冰能力影响

表 3 不同醋酸钙与氯化钙质量比的 BFA 钙盐复配物冰点  $^{\circ}\text{C}$

$m(\text{醋酸钙}):m(\text{氯化钙})$	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
冰点	-8.8	-9.9	-10.8	-11.4	-11.9	-12.1

由图 2 和表 3 可以发现,随着 BFA 钙盐复配物中氯化钙的比例增大,融冰能力明显增强。当氯化钙与醋酸钙的质量比超过 1:2 后,其融冰能力超过氯化钠的 90%,冰点已降至  $-10^{\circ}\text{C}$  以下。由于  $\text{Cl}^{-}$  是引起金属和混凝土腐蚀的主要原因,初步确定 BFA 钙盐复配融雪剂的配方为: $m(\text{BAF}):m(\text{醋酸钙}):m(\text{氯化钙})=1:0.7:1.3$ 。

### 2.1.3 BFA 与硝酸铵复配融雪剂研究

BFA 与硝酸铵不同质量比条件下复配物的融冰能力和冰点分别如图 3 和表 4 所示。

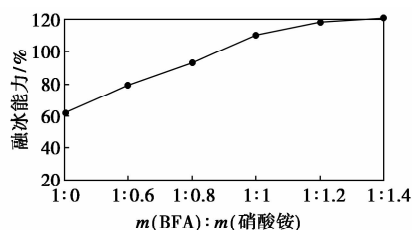


图 3 BFA 与硝酸铵不同质量比对复配物的融冰能力影响

表 4 BFA 硝酸铵复配物的冰点  $^{\circ}\text{C}$

$m(\text{BFA}):m(\text{硝酸铵})$	1:0	1:0.6	1:0.8	1:1.0	1:1.2	1:1.4
冰点	-6.1	-9.8	-11.8	-13.4	-14.9	-16.1

由图 3 可以看出,当硝酸铵与 BFA 质量比超过 0.8:1 后,即其复配混合物中的硝酸铵用量仅约为钙盐的 1/4 时,融冰能力已经超过了  $\text{NaCl}$  的 90%,冰点已经降至  $-11^{\circ}\text{C}$  以下。根据前面的研究,硝酸钾与 BFA 复配物的化冰能力有限,说明  $\text{NO}_3^{-}$  并不是提高混合溶液化冰性能的主要因素,而混合溶液中的  $\text{NH}_4^{+}$  可与 BFA 结构中的  $-\text{COOH}$  和  $-\text{OH}$  结合形成弱电解质,使其结构更加舒展,这是否与融冰性能有关有待进一步研究。就 BFA 硝酸铵复配融雪剂的配方而言,初步确定为  $m(\text{BFA}):m(\text{硝酸铵})=1:0.8$ 。

## 2.2 BFA 复合融雪剂的性能测定

### 2.2.1 5 批次 BFA 复合融雪剂的融雪化冰性能

实验室制备的 5 批次 2 类 BFA 复合融雪剂的融雪化冰性能如表 5 所示。

表 5 5 批 BFA 复合融雪剂的融雪化冰性能

融雪剂种类	融雪化冰性能	产品批次					平均
		1	2	3	4	5	
BFA 钙盐复合物	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	-10.3	-10.7	-10.4	-10.2	-10.2	-10.3
	融冰能力/%	90.86	91.36	91.08	90.48	90.46	90.85
BFA 硝酸铵复合物	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	-11.6	-11.7	-11.5	-11.3	-11.5	-11.52
	融冰能力/%	108.86	110.26	105.34	99.98	106.31	106.15

如表 5 所示,按前面确定的配方制备的 5 批 2 类 BFA 复合融雪剂的平均冰点均低于  $-10^{\circ}\text{C}$ ,融冰能力均超过了 90%,2 项指标均符合 DB11T 161—2012 中 I 型融雪剂标准。

### 2.2.2 BFA 复合融雪剂对碳钢腐蚀率

为了进一步了解 BFA 复合融雪剂对碳钢的腐

蚀率,对 BFA 钙盐复配物、BFA 硝酸铵复配物及氯化钠进行了旋转挂片腐蚀的对比性研究。各种融雪剂对碳钢的腐蚀现象及腐蚀率分别如图 4、图 5 和表 6 所示。

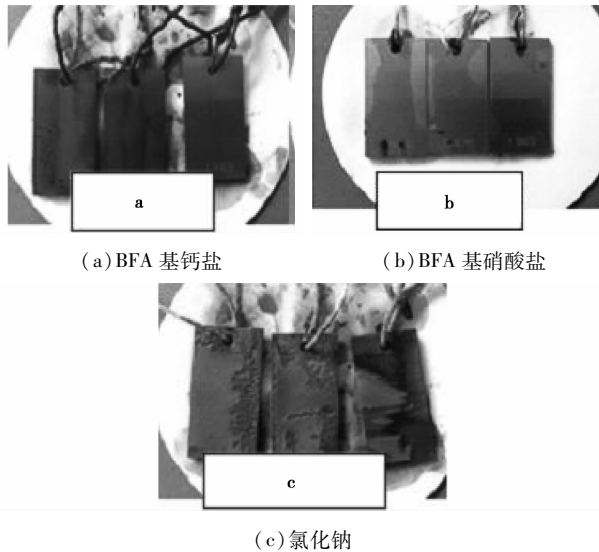


图 4 腐蚀后碳钢挂片的表观现象

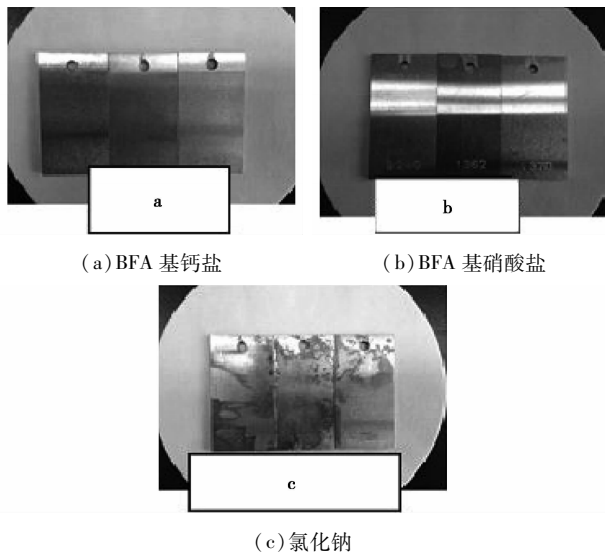


图 5 酸洗处理后碳钢挂片表观现象

表 6 各种融雪剂对碳钢的腐蚀率 mm/a

融雪剂种类	BFA 基钙盐复配物	BFA 基硝酸铵复配物	氯化钠融雪剂
腐蚀率	0.107	0.034	0.321

由图 4、图 5 和表 6 可以看出,在总质量分数均为 18% 条件下,氯化钠对碳钢挂片腐蚀最为严重,腐蚀率达到 0.321 mm/a;BFA 钙盐融雪剂对碳钢挂片腐蚀相对较低,仅为氯化钠的 30%;而 BFA 基硝酸铵融雪剂几乎对碳钢不产生腐蚀。 $\text{Cl}^-$  是一种高效阴离子活化剂,可有效破坏金属表面钝化膜,还能

与碳钢形成溶解性较大的氯化亚铁,从而加剧钢筋等金属腐蚀进程<sup>[7]</sup>。开发无氯和低氯环保型融雪剂正是基于这个原理。本研究中,BFA 钙盐复配融雪剂中  $\text{Cl}^-$  仅为氯化钠的 1/4,属于低氯环保型融雪剂;BFA 硝酸铵复配物属于无氯融雪剂。就对碳钢腐蚀率性能而言,研究获得的 2 种 BFA 复合融雪剂的腐蚀率均低于 0.11 mm/a,符合 DB11T 161—2012 标准。

### 2.2.3 BFA 基融雪剂对植物种子的相对受害率影响

BFA 复合融雪剂及 CMA 和氯化钠融雪剂对 3 种植物种子的相对受害率如表 7 所示。

表 7 各种融雪剂对植物种子的相对受害率 %

	BFA 基钙盐复配物	BFA 基硝酸铵复配物	CMA 融雪剂	氯化钠
玉米	16.3	1.2	53.6	92.2
大豆	15.2	2.3	52.9	95.6
绿豆	8.6	1.3	51.6	90.6

由表 7 可知,18% 的氯化钠溶液对 3 种常见植物种子的发芽率影响非常大,相对受害率均高于 90%,远远高于 GB/T 23851—2009 中的标准 ( $\leq 50\%$ );以醋酸钙模拟的 CMA 融雪剂对植物种子发芽的迫害率虽然有所减轻,但仍超过了 50%;而 BFA 基融雪剂对植物种子影响较小或几乎没有影响。分析原因为 BFA 本身是植物的促生长剂,可刺激植物生长。此外,BFA 可以有效缓解植物盐胁迫<sup>[12]</sup>。因此 BFA 钙盐复合融雪剂中的醋酸钙和氯化钙并未对植物种子发芽展现出较强的迫害作用。由此可见,BFA 基融雪剂不但环境友好,还对植物具有营养功效。

## 3 结论

以 BFA 为主要原料,通过复配获得了满足融雪剂北京市地方性标准的 2 种 BFA 基融雪剂。其中 BFA 钙盐复合融雪剂各组份质量比为  $m(\text{BAF}):m(\text{醋酸钙}):m(\text{氯化钙})=1:0.7:1.3$ ,BFA 硝酸铵复配融雪剂为  $m(\text{BAF}):m(\text{硝酸铵})=1:0.8$ 。BFA 硝酸铵复合融雪剂不仅具有较强的融冰性能,而且对碳钢几乎没有腐蚀性。总之,BFA 基融雪剂不仅环境友好,还具有植物营养功效。在限制性区域内,可利用融冰性能较好的硝酸铵作为融雪剂或化冰盐。此外,BFA 经  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{NH}_4^+$  修饰后引起其融雪

(下转第 85 页)

笔者利用 NMMO/H<sub>2</sub>O/纤维素均相体系制备了 CMC 产品,通过<sup>1</sup>H-NMR 确定了产品的取代度和羧甲基分布,研究了醚化剂用量、反应时间、反应温度等因素对于取代度和羧甲基分布的影响,分析了纤维素羧甲基化反应中不同取代位置的反应活性变化规律。

## 1 实验部分

### 1.1 材料与仪器

精制棉(纤维素):金汉江纤维素有限责任公司生产,使用前于 60℃ 干燥 24 h;N-甲基氧化吗啉(97%):江苏华泰化工有限公司生产;NaOH(AR)、氯乙酸(AR)、乙醇(AR)、醋酸(AR):成都市科龙化工试剂厂生产。

<sup>1</sup>H-NMR 分析采用德国 Bruker AR × 600 MHz 核磁共振波谱仪,样品预处理采用体积比为 75% 的 D<sub>2</sub>O/D<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 于 90℃ 水解<sup>[9]</sup>。

### 1.2 CMC 的合成

#### 1.2.1 CMC 的均相合成

表 1 NMMO/H<sub>2</sub>O 均相体系制备 CMC 的工艺条件

样品编号	n(氯乙酸): n(脱水葡萄糖单元)	醚化时间/ min	醚化温度/ ℃
1	5:1	60	80
2	10:1	60	80
3	15:1	60	80
4	10:1	90	80
5	10:1	120	70
6	10:1	120	80
7	10:1	120	90

将烘干后的 1.00 g 纤维素加入到 103 g 含水 13.3% 的 NMMO/H<sub>2</sub>O,升温至 90℃ 恒温 1 h,搅拌至完全溶解,按 n(NaOH):n(脱水葡萄糖单元)为 30:1 的比例加入 NaOH 进行碱化反应 90 min,再加入实验所需的氯乙酸进行羧甲基化,调节温度反应一定时间,加入乙醇沉析终止反应,抽滤,并用 80% 乙醇水溶液洗涤,60℃ 干燥得到产物(CMC—N)。具体工艺条件如表 1 所示。

#### 1.2.2 工业淤浆法<sup>[7]</sup>

将 0.53 g 氢氧化钠加入到 12.00 g 质量分数为 85% 的异丙醇水溶液中,然后加入纤维素 1.00 g,在 20℃ 条件下碱化反应 1 h,加入 1.25 g 50% 的氯乙酸/异丙醇溶液,升温至 60℃ 羧甲基化反应 1 h,用 50% 冰醋酸/异丙醇溶液中和,然后用 80% 的乙醇水溶液洗涤,抽滤,干燥得到产物(CMC—C)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 CMC 的<sup>1</sup>H-NMR 谱图分析

CMC 的<sup>1</sup>H-NMR 谱图(产物 No. 1)如图 1 所示。由图 1 可以看出,化学位移 3.10 ~ 4.10 ppm 处是葡萄糖环基(AGU,图 2)上的质子峰,4.10 ~ 4.50 ppm 为羧甲基的特征峰,其中 4.15 ppm 为 C(6) 位置的羧甲基信号峰,4.28 ppm 为 C(2β) 位置的羧甲基信号峰,而 4.38 ~ 4.48 ppm 为 C(2α) 和 C(3) 位置的羧甲基信号峰。4.55 ~ 5.40 ppm 处为 AGU 上还原性末端 C(1) 上的质子共振峰,其中 4.55 ~ 4.70 ppm 为 C(1β) 共振峰,5.14 ~ 5.40 ppm 为 C(1α) 共振峰。

(上接第 83 页)

化冰性能提高的机理有待于进一步研究,为 BFA 雪剂的深入开发奠定基础。

### 参考文献

- [1] 孙婷婷. 化学融雪剂对高速公路路旁土壤中水溶性盐离子含量及氮素转化的影响[D]. 沈阳:辽宁大学硕士学位论文,2013.
- [2] 王小光,贾华丽,章亚东. 高效复合防腐型融雪剂的研制[J]. 盐业与化工,2008,37(4):10-18.
- [3] 许英梅,王丽萍,祁恩云,等. 复合 CMA 环保型融雪剂的融冰能力研究[J]. 化学世界,2011,(7):404-406.
- [4] 许英梅,张秋民. 一种新型环保型融雪剂及其制备方法:CN, 101531939[P]. 2008-10-20.
- [5] 梁西良,崔宝军,白雪峰,等. 高效环保融雪剂的研究[J]. 化学与粘合,2014,36(2):146-149.

- [6] 郭金禹,王树轩. 缓蚀型氯化钙融雪剂的开发[J]. 盐业与化工,2010,39(6):12-14.
- [7] 王萌,李晓林,杜丹超,等. 一种有机无机复合环保融雪剂的制备及性能研究[J]. 现代化工,2014,34(12):66-69.
- [8] 王小光,章亚东. 融雪剂的研究进展及发展方向[J]. 无机盐工业,2007,39(3):8-10.
- [9] 杨光,孙晓然,赵艳琴,等. 黄腐酸的物质基础及药理活性研究进展[J]. 广州化学,2014,42(10):15-17.
- [10] 龙江虹,曾平,阳杰. 环境友好型氯盐融雪剂的研制[J]. 中国井矿盐,2014,45(5):1-7.
- [11] 彭茜,冉德钦,王平,等. 不同 pH 值下腐殖酸反渗透膜污染中的界面相互作用解析[J]. 中国环境科学,2011,31(4):616-621.
- [12] 张元,冯琼,杨小方,等. 黄腐酸对盐胁迫下红花种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(11):24-27. ■