

56821

碳酸氢铵的科学施用

NH_4HCO_3

奚振邦 编著



TAN SUAN QING AN DE
KE XUE SHI YONG

化学工业出版社

编 写 说 明

这本小册子的编写，是在化工部化肥司的倡议、组织、资助和支持下完成的。编写过程中得到中国科学院南京土壤研究所李庆逵教授的支持和关怀；化工部化肥司高秀岭，上海市农科院土肥所施秀珠、刘明英，化工部上海小合成氨设计中心站蒋震华，上海吴淞化肥厂盛启龙等提供了有关资料及多方面的支持和协助；引用了中国科学院南京土壤研究所，中国农科院土壤肥料研究所，化工部上海化工研究院，福建、山东等省农科院及有关单位的报告资料。讨论稿由北京农业大学毛达如，北京师范大学周德超，中国科学院南京土壤研究所陈荣业，山东农科院刘毅志，中国农科院茶叶研究所吴洵、茹国敏，河北省冀县农业化学服务中心顾二熊，以及高秀岭、施秀珠等同志审查，全稿由赵定国抄绘。

上海市农业科学院土壤肥料研究所 奚振邦

1983年4月

目 录

一、肥料是作物的粮食.....	1
二、碳酸氢铵的基本性质.....	9
三、合理施肥 提高肥效.....	33
四、改进质量 确保肥效.....	69
五、适量施用 增产增效.....	90

一、肥料是作物的粮食

“庄稼一枝花，全靠肥当家”。“一斤化肥三斤粮”。广大农民充分肯定了肥料对于作物增产的重要性。人们一般把肥料分为农家肥料（也称有机肥料）和化学肥料（简称化肥）两大类。化学肥料一般是指由工厂加工生产、营养成分含量高的商品类的肥料，如碳酸氢铵（简称碳铵）、硫酸铵（简称硫铵）、硝酸铵（简称硝铵）、尿素、过磷酸钙、硝酸磷肥、磷酸铵（简称磷铵）、硫酸钾等。国内外农业生产实践经验证明，在施用农家肥料的基础上，合理施用化学肥料是促进作物增产、加速农业发展的一条行之有效的途径。大家知道，现代化农业的主要特点，是农业劳动生产率的极大提高，一个人生产的农产品，可以满足几十个人的需要。人们通常认为，这是使用了农业机械的结果；其实，使用化肥也发挥了巨大的作用。发展农业机械化，固然能使每个人种更多的土地，提高劳动生产率，但要在单位面积上收获更多的农产品，有效的办法，就是增加化肥施用量。因此，机械和化肥是工业支援农业的两大支柱，只有把两者结合起来，才能极大地提高农业劳动生产率。

生产和使用化肥，是农业生产和科学实验发展到一定阶段的产物，是从传统农业发展到现代农业的一个标志。农业生产的不同历史阶段，有不同的主要肥源。刀耕火种时代，把要播种的土地上的植物烧成灰就地施肥是最早的，也是最原始的施肥方式。随着家畜驯养和畜牧业的发展，人们从残留过粪便的土地上收到了好庄稼，就总结出使用粪肥的方法，从而使农牧业得以进一步结合。“粪”字仍然是今天大多数国家用以代表肥

料的一个词。以后随着可垦地的减少和土地轮休制的扩大，要求更快更好地恢复地力。人们又发现，象苜蓿、红花草这样的豆科植物，能更好地恢复地力，其后作的产量高。于是，豆科绿肥又成了重要的肥源和养地作物。但是由于灰肥、粪肥和绿肥都是利用土壤自身的产品来恢复地力，其数量受到一定面积上植物产品的产量和农牧业比例的限制。因此这些肥源都不可能脱出农业物质自然循环的概念。只是到了十九世纪中叶以后，由于以德国化学家李比希的矿质营养学说为代表的农业化学和植物生理学的发展，人们才逐渐认识到虽然植物的根系是有机体，但其主要功能却是进行无机营养。因此，可以用无机物即化肥来归还土壤，恢复地力，增加农产品。到了本世纪初，由于合成氨方法的问世，化肥生产的发展极其迅速，化肥工业已成为发达国家的工业基于之一。以产品的重量计，化肥是目前世界上生产量最大的化学产品。今天，一座年产三十万吨合成氨的化肥厂，一年能生产的氮素化肥，大约相当于1200万亩豆科绿肥（地上部亩产8000斤，含氮0.5%）或3000万头猪（40担厩肥/头，含氮0.4%）所能提供的氮素。更主要的是，化肥作为一种新肥源，突破了单纯用农产品还田的概念，它完全不依赖于土地及作物本身，不受气候条件的影响，可以采用工业生产的方法，大量提供作物所必需的养分，从而在农业现代化中大放异彩。由此可见，肥源发展的每一个阶段，都以增加一种新肥源为特征，并大大丰富了施肥内容和促进了农业生产的发展（图1-1）。

将近半个世纪来，尽管人们对于化肥的作用，曾经由于能源、污染和成本等问题争论过一段时期，但目前在农业现代化国家，大体上已取得统一。现代化农业中化肥的积极作用，主要在以下两个方面：

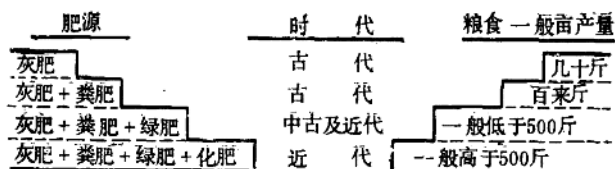


图 1-1 农业生产中肥源的发展阶段

1. 增加农产品, 改善产品的品质

由于施用化肥后, 农作物一般能早发, 增加绿叶面积, 长势旺盛, 因而可增加作物转化和贮藏太阳能的能力, 能增加作物的产量和提高其质量。根据1958~1964年期间我国各地的试验, 1斤硫铵平均可增产粮食2.5~3斤, 1斤碳铵可增产2斤左右。上海郊区近几年的试验, 1斤碳铵约可增产粮食1.5~2.5斤(表1-1)。

表 1-1 不同施肥处理的粮食作物单产

(1974~1978年)^①

作 物	无肥区		有机肥区		化肥 ^② + 有机肥 ^③		一斤碳铵增 产粮食, 斤
	斤/亩	%	斤/亩	%	斤/亩	%	
双季稻(10点)	675	58.3	721	62.1	862	100	1.57
三麦(8点)	248	45.6	272	50.1	542	100	2.25

① 资料来源: 上海市农科院土肥所。

② 化肥施用量每亩碳铵90斤(双季稻)或120斤(三麦)。

③ 有机肥施用量每亩40~60担草塘泥或25担猪粪泥。

美国科学家统计最近几年的资料表明, 美国用于化肥生产的能源, 约占其能源消费总量的1%, 但由这些化肥增产的农产品, 可占其全部农产品的33%。

据联合国粮农组织统计, 1950~1970年二十年间, 世界粮食增产将近1倍。其中因谷物播种面积增加10600万吨, 所增加的产量占22%; 由于单位面积产量增加93.3斤/亩, 占78%, 而在各项增产因素中, 西方及日本科学家一致认为, 增施化肥所起的作用要占40~70%。

增施化肥还可明显改善农产品的质量。如上海郊区对水稻和麦子的试验材料, 每亩增加50斤硫铵或60斤碳铵, 约可增加籽粒中蛋白质1%, 并可改变蛋白质中氨基酸的组成, 增加那些营养价值高的人体必需氨基酸(如赖氨酸)的比例。

增施化肥对于那些耕地潜力有限、人口压力又日益增大的发展中国家, 尤其具有现实意义。苏联著名的农业化学家普良尼施尼柯夫曾统计欧、美、日本若干国家的农业机械化和化学化与作物单产的关系, 发现只有化学化才是提高粮食单产的基本因素, 人口密度越高, 化学化的程度也越高(表1-2)。

这就是为什么目前化肥消费量高的国家, 大都是发达国家的一个重要原因, 正是这些国家, 有不少是农产品的大宗出口国; 而化肥消费量低的发展中国家, 却常常是农产品的进口国

表 1-2 若干国家的粮食单产与化学化和机械化的关系

国 家	粮食单产		化学化指数 (N+ P ₂ O ₅ +K ₂ O量)		机械化指数 拖拉机台/	人口密度 人/平方 公里
	公担/公顷	斤/亩	公斤/公顷	斤/亩	千公顷耕地	
荷 兰	30	400	109	14.5	< 1	217
比利时	27.5	367	89	11.9		257
日 本	27	360	75	10.0		157
德 国	22	293	67	8.9		138
法 国	15	200	22	2.9	10	75
美 国	9	120	12	1.6		13
苏联乌兹别克	17	227	106	14.1	8	—

(表1-3)。

我国化肥施用量高的上海郊区，其粮、棉、油作物的单产水平，大体上为全国平均水平的3倍，而化肥的使用水平，约为全国平均水平的4倍（表1-4）。

表 1-3 世界上不同国家的化肥消费状况^①

国家类型	人口及耕地比例		化肥 ^② 消费比例		1975年使用水平	
	人口	耕地	1950年	1975年	公斤/公顷	公斤/人
发达国家	1/4	2/5	95%	75%	28.3	109
发展中国家	3/4	3/5	5%	25%	6.7	22

① 资料来源：国际钾肥研究所报告。

② 化肥均指养分量。

表 1-4 上海郊区的作物单产和化肥施用水平(1978)

作物	作物单产斤/亩·年		上 海 比 例		
	全国水平	上海郊区	面积%	总产%	单产(倍数)
粮食	530	1606	0.27	0.82	3.03
皮棉	59.4	169	1.96	5.5	2.84
油菜籽	101.5	302.6	2.0	6.1	2.98

化肥使用量 斤/亩

化肥(折16%)	72.4	296	—	1.5	4.10
----------	------	-----	---	-----	------

资料来源：上海市农业局和上海市农资公司有关统计。

2. 增加农业物质的循环量，促进农业生产的集约化，因而可以增加饲料量（发展畜牧业）和增加农家肥料数量（提高土壤肥力）。我们可以把年复一年的施肥与农业生产过程，大致概括成图1-2。

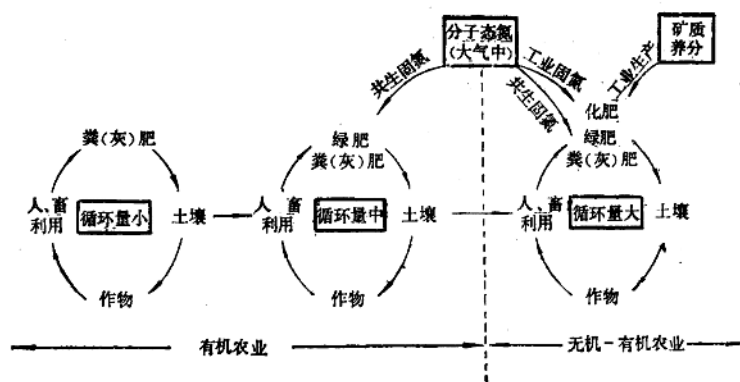


图 1-2 肥源对农业物质循环的影响

可见，在没有施用化肥前，是土壤的自然肥力和还田的农家肥料数量，控制着作物的生产水平和农业物质循环量的大小，并主要以有机形态进行。据此，习惯上人们称其有机农业；化肥大量施用后，每年甚至每季作物都有无机养分加入循环，有力地提高了作物的生产水平，增加了粮食和饲料，增加了农家肥料的可能还田量。即用增加无机养分的办法，促进了农业生产中有机物质的循环。据此，人们称其为无机农业或无机-有机农业。这就是说，化肥作为一种肥源，也和农家肥料一样，能进行“肥多粮多—粮多猪多—猪多肥多”的物质循环，上一年施用的化肥，通过增产粮食和人、畜利用，就有相当部分变成了下一年的农家肥料。这就是一些农业现代化国家主张大力发展化肥的基本道理。我国农业高产地区都可以找到类似的实例。如上海市金山县八二大队的作物高产，除了其社会因素和自然因素外，在施肥上也有一个不断增施无机肥，增加有机物生产（单产），不断提高地力，即螺旋式上升的良好循环。

(表1-5)。

众所周知，现代化农业中有三个增加作物产量的主要因素，即采用高产良种，充分利用宇宙因素（光、热）和不断提高地力（水分、养分）。使用化学肥料，由于其能增加农业物质的循环量，因而能充分发挥良种和耕地的增产潜力，能使更多的太阳能转化为生物能，并进而经由畜牧、水产业转贮于动物产品中。因此，化肥是充分发挥上述三方面因素作用的一个重要物质手段。

表 1-5 上海市金山县八二大队的施肥水平与粮食生产^①

年 份	粮食年 产 ^③ 斤/亩	秸秆 产量 斤/亩	生猪 饲养 头/亩	化肥 用量 斤/亩· 年	农业 成本 元/亩	肥料成本				肥料 合计 %
						农家肥料		化学肥料		
						元/亩	%	元/亩	%	
1964 ^②	(1200)	(1400)	0.91	70	28.0	8.2	29.3	4.20	15.0	44.3
1968	1614	(1800)	1.12	364	57.94	11.08	19.3	21.84	37.8	57.1
1972	2242	(2200)	1.58	412	81.31	17.74	21.8	24.7	30.4	52.2
1974	2408	(2400)	2.25	535	100.10	20.25	20.3	32.07	32.1	52.4
1976	2458	(2400)	2.36	446	108.31	27.46	25.4	26.77	24.7	50.1

① 资料来源：上海市农科院土肥所。

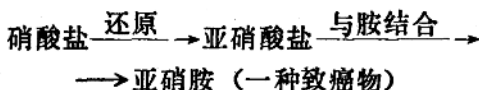
② 1964年部分统计数据及秸秆产量系推算，化肥指实物量，以碳铵，氨水为主，1968年后约有15%是普钙。

③ 粮食亩产指习惯亩。

当然，化学肥料还涉及到农业成本及对环境的影响等问题。

随着国家化肥工业的发展和化肥对农产品的比价的降低，化肥在直接农业成本中的比重将可能逐步下降。上海郊区目前化肥费用一般占农业成本的20~25%（以每年每亩总农业成本80元及施用化肥300斤/亩实物量，折合16~20元计），只要合理施用化肥，提高施肥效果，其比重还可能进一步降低。

保护农业环境，使农产品免遭污染，是大家十分关心的问题。大量使用氮、磷化肥，在一定条件下会引起土壤和河水中硝酸盐和磷酸盐的积累，有可能造成环境污染。一些人提出的与施用氮肥有关的硝酸盐污染途径为



但最近的研究指出，土壤和河水中的硝酸盐的积累，并不完全由于施用化肥引起的。农家肥料中的含氮物质，施用入土经微生物的一系列转化后，也会形成硝酸盐。我国北方农村，不少地区历来施用化肥不多，但前几年在一些古城镇周围，发现许多含硝酸盐超过 50ppm 的肥水井，就是实例；又如一些不施化肥的草原地区和干旱地区，也会大量积累硝酸盐（我国西北早就有硝酸盐大量积累的盐土），并且，形成亚硝酸盐的积累及其与胺的结合，要有严格的碱性（ $\text{pH} > 8.5$ ）及还原条件，这在一般土壤中很少发生。因此只要不过度施用化肥，并使作物充分吸收其中的养分，以及研究当地具体的土壤条件，制定有关对策，防止和消除污染的潜在威胁是完全可能的。

诚然，农家肥料作为我国农业的传统肥源，在今后的农业生产中仍应发挥重要作用。农家肥料不仅是保持和提高土壤肥力的一种有机物还田形态，而且也是化肥中养分得以充分循环再利用和由化肥增产的有机物质能还田的物质形态，是土壤微生物的主要养料。因此，在重视发展化肥，合理施用化肥的同时，还应充分重视发挥农家肥料的作用。

我国从本世纪初（大约在1907年前后）才开始施用化肥，但全都是进口的。1937年，南京永利铔厂开始生产硫酸铵，产量很低。解放以后，党和国家非常重视化肥的生产，兴建了各

种规模的化肥厂，形成了相当庞大的化肥工业。1982年，我国化肥的总产量已跃居世界第三，仅次于苏联和美国。在氮肥中，碳酸氢铵的产量占50%左右，绝大部分是由小型氮肥厂生产的。随着化肥工业的发展，我国耕地的化肥施用水平不断提高，从1950年的每亩不到1斤标准肥增加到七十年代后期的每亩70斤以上。

但是由于我国的农业现代化基本上是在小农经济的基础上逐步发展的，农村初步合作化以后的生产发展水平仍然较低，广大农民还习惯于采用传统的耕作和施肥制度，愿意花较多的劳动力去收集和积制各种有机土杂肥；个别地区的农民对施用化肥还顾虑重重，总感到施用化肥是权宜之计，不得已而为之。这在一定程度上影响了化肥的有效施用，特别是对于碳酸氢铵这一品种。由于它的化学性质不稳定，易于挥发，使人们对它的正确认识和科学施肥受到很大影响，一些地区甚至把它称之为“气肥”（分解跑气）。实际上，碳铵是一个比较好的化肥品种，有缺点，也有很多极为重要的优点。碳铵所含的三个成分（氨、水和二氧化碳），都是作物必需的养分，不含有害的副成分，是一种“无酸根”化肥，适用于各种土壤和各种作物。全国各地连续使用二十年来，还没有发现一块农田是由于施用碳铵而变坏的。正相反，目前在一些使用量高的地区（如江、浙、湘、鄂和上海郊区等），都较习惯于使用碳铵。因此，如何正确地认识碳铵，合理地使用碳铵，并共同研究解决碳铵在生产、贮运和使用方面存在的实际问题，已成为当前农业生产和化肥工业面临的一项紧迫任务。

二、碳酸氢铵的基本性质

（一）碳酸氢铵的物理化学性质

碳酸氢铵是一种无色或浅色化合物，一般结晶较细，呈粒状、板状或柱状。分子式 NH_4HCO_3 ，分子量79.1。比重1.57，容重0.75（1米³重0.75吨），较硫铵（0.86）轻，较粒状尿素（0.66）略重。

碳铵易溶于水，溶解度随温度升高而增大（表2-1）。

表 2-1 不同温度下碳铵的溶解度

温度, °C	溶解度 克/100克水	温度, °C	溶解度 克/100克水
0	11.3	17.1	19.4
8	13.0	20.9	21.6
8.4	15.2	30	27
12.5	17.1	40	35

碳铵是一种酸式碳酸盐（碳酸氢盐）。由于碳酸是一种极弱的酸，25°C 时，由碳酸（ H_2CO_3 ） $\rightleftharpoons$ 氢离子（ H^+ ）+ 碳酸氢根离子（ HCO_3^- ）平衡时的真实离解常数为 2.5×10^{-4} ，但若体系中存在二氧化碳时，由碳酸/二氧化碳（ $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{CO}_2$ ） $\rightleftharpoons$ 氢离子（ H^+ ）+ 碳酸氢根离子（ HCO_3^- ）平时的表现离解常数为 4.5×10^{-7} ，即其中的二氧化碳组份能与大气中二氧化碳分子进行交换和平衡，又因常温下碳铵中的氨是一个活泼的气体分子，因此碳酸与氨的结合极不稳定，在敞开放置时，即使常温（20°C左右）也易产生分解，如下式：



分解后的三个组份，正是生产碳铵的原料组份。碳铵的分解是一个损失氮素（跑氨）和加速潮解（残留水分子）的过程，也是造成碳铵在贮藏期间结块的一个基本原因。

影响碳铵分解挥发的基本因素是环境温度和本身的含水量(吸湿水)。随着温度的上升,碳铵分解挥发出来的蒸气越来越多,其蒸气压越来越高,从表2-2和图2-1所示可以看出。

表 2-2 不同温度下碳铵的蒸气压

温度, °C	压力, 毫米汞柱	温度, °C	压力, 毫米汞柱
8.13	1.00	40	42.71
10	1.28	50	121.47
15	2.42	60	320.25
20	4.48	65	508.73
30	14.46	69	760.00

从上列图表中看出,在10℃时,蒸气分压只有1.28毫米汞柱,占正常气压(760毫米汞柱)的0.17%,此时碳铵基本上不分解。到20℃时,蒸气分压上升到4.48毫米,为10℃时的3.5倍,占正常气压的0.59%。因此,10~20℃之间,碳铵分解不显著。30℃时蒸汽分压达14.46毫米汞柱,为10℃时的11.3倍,此时碳铵

大量分解。至60℃时,蒸汽分压达320.25毫米汞柱,占正常气压的一半,较10℃时大250倍,碳铵便剧烈分解。在常压下,碳铵至69℃可全部分解,已无法保存其固体形式了。这种在常温下易于分解的特性,显然不利于碳铵作化肥使用,但现代食品工业上,却利用碳铵加热后很快全部分解成气体的性质,将

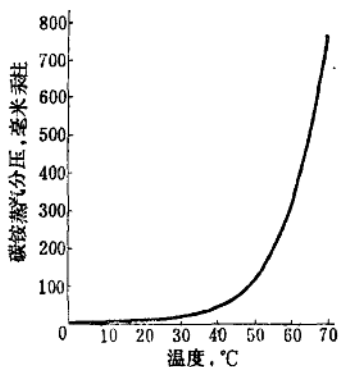


图 2-1 碳铵在不同温度下的蒸气压

其纯品用作烤制面包等松软食品的发酵粉。碳铵实物在不同温度下分解挥发速率的研究材料较多，现摘引两例列于表2-3(1)和表2-3(2)。

表 2-3(1) 碳铵的分解挥发速率 (干燥碳铵)
(30~31℃, 相对湿度18.8~20.7%)

累计放置时间 小时	碳 铵		
	重量, 克	失重量	失重%
0	5.000	—	—
2	4.997	0.003	0.06
16	4.927	0.073	1.46
25	4.889	0.111	2.26
48	4.775	0.225	4.50
71	4.663	0.337	6.74

资料来源：化学工业部上海化工研究院。

表 2-3(2) 碳铵的分解挥发速率 (含水5%)

放置时间	碳铵失重, %	
	12~16℃	32℃
一小时	0.49	0.88
一天	3.46	18.98
三天	7.40	48.98

资料来源：河北省植保土肥研究所。

我国多数作物的施肥季节大都在5~10月，其间平均气温一般在20℃以上，恰好是碳铵开始较多分解的转折点，故施用时必须注意采取各种防止挥发的措施。上海郊区群众反映，碳铵作追肥撒施，如施用在六月中旬以前，烧苗现象少，施用在六月中旬以后，烧苗现象多，可能就是温度影响挥发量的缘故。

影响碳铵挥发的第二个因素是其本身的含水量，碳铵“怕热”，不能采用常法热干燥。因此，产品中含有5%左右的水分。碳铵晶体表面只要附有水分（吸湿水），就容易引起潮解和挥发。水分含量越高，潮解就越快，潮解的结果引起结块，结块是一种缓慢分解的表现。在密封的条件下，小粒子碳铵通过吸湿水而溶解流动，结合成小块。如果敞开，碳铵的这种潮解会进一步加速其挥发损失。一般说，碳铵的含水量如小于0.5%，在常温下不易挥发；水分含量在2.5%以下，分解较慢；如大于3.5%，分解就明显加快。目前除一部分用于工业的产品，因采用特殊干燥法可以使其含水量降到0.5~2.5%以下外，用作肥料的碳铵，一般含水3.5~5%，这些水分增加了碳铵的不稳定性。从表2-4和表2-5可以看出，含水碳铵的分解挥发量要远远大于干燥碳铵。

表 2-4 不同含水量碳铵的分解挥发

温度, °C	碳铵试样	不同放置时间(天)下失重, %						
		1	2	3	4	5	7	10
25~30	干燥产品	0.71	1.09	1.47	1.79	2.09	2.86	3.97
	含水4.8%	11.9	24.0	37.2	47.3	59.4	79.3	93.0
45±3	干燥产品	8.92	17.4	26.2	34.5	52.2	70.7	86.5
	含水4.8%	72.6	—	—	—	—	—	—

资料来源：大连制碱工业研究所。

碳铵产品的挥发速率，还受本身粒度的影响。在实验性工艺条件下，用不同粒径的碳铵，在常温下进行挥发试验，所得结果列于表2-6。由表可以看出，粒子越大，挥发越慢。

由于碳铵的结晶越大，结晶所需的时间越长，因而要在工

表 2-5 不同含水量下碳铵的蒸气分压

碳铵试样	不同温度下的蒸气分压, 毫米汞柱			
	20℃	30℃	40℃	50℃
干燥产品	4.5	14.6	43.5	122.5
含水2.44%	31.2	85.0	191.4	409.8

资料来源: 大连制碱工业研究所。

表 2-6 不同粒度碳铵的分解挥发失重(20±5℃)

结晶粒径 毫米	不同放置时间(天)下的分解挥发失重, %						
	3	7	15	23	31	39	53
>0.9	1.5	4.5	9.5	14.5	20.0	24.0	27.5
0.85	2.0	6.0	13.5	19.5	26.5	31.5	37.0
0.65	2.5	7.0	15.5	23.0	32.0	38.0	44.0
0.45	2.0	7.5	18.0	26.0	34.5	41.0	47.5
0.25	4.0	11.5	28.5	42.0	53.0	60.5	68.0
<0.18	5.0	14.0	34.0	50.0	62.0	71.0	79.0

资料来源: 大连制碱工业研究所。

艺上实现碳铵颗粒增大, 尚须进行生产性试验。但从现有的工艺条件分析, 将来生产粒径0.45~0.85毫米, 能显著控制自然挥发的碳铵, 是有可能的。

碳铵中除碳、氢、氧、氮四种主要元素外, 尚含有一定数量的微量元素。沪产碳铵委托中国农科院土肥所分析, 主要微量元素硼、锰、铜、锌、钼、钴、铁的含量(ppm)为: 2.2, 未检出, 1.8, 0.7, 4.7, 0.2, 2.3。

经化学工业部批准的碳酸氢铵(农业用)标准HGI-391-66如下: