

氮肥的农业化学问题*

李 庆 迹

(中国科学院南京土壤研究所)

一、氮肥的发展情况

回顾过去二十几年(1950—1972年)以来，世界上化学氮肥的发展情况，其消费量从400万顿增加到3200万顿(单位N)，增加了8倍(见附表)。在氮肥品种方面，尿素和液氨的产量不断增加，特别在最近十年内，增加得最快，而硫铵、氯铵的产量却迅速下降，石灰氮、硝酸钙等肥料品种已不居重要地位。总的的趋势是氮肥向浓缩的方向发展。硝铵由于军火工业的关系，在氮肥中所占的比例比较稳定，但它的施用以寒带和寒温带地区的旱作为主。

附表 国外化学氮肥的发展趋势*

年 份	产 量 (万吨N)	各 氮 肥 品 种 所 占 %							
		$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	NH_4NO_3	尿 素	CaCN_2	硝 钙	NaNO_3	液 肥	其 它 (主要是复肥)
1950—51	401	32.9	19.6	0.6	6.6	5.5	6.3	8.6	19.6
1960—61	1074	23.3	25.9	5.8	2.2	3.4	1.4	12.6	25.3
1964—65	1683	18.0	29.0	11.0	2.0	3.0	2.0	20.0	15.0
1969—70	2920	14.0	25.0	15.0	2.0	3.0	2.0	20.0	19.0
1971—72	3230								

* 参考联合国粮食农业组织的统计资料。

在国际上，各种化学肥料消费量的增加趋势是一致的，但氮肥增加的速度远远要比磷、钾肥快。从1950—1971年这二十年间氮、磷、钾肥料的消费量变化如下：

1950—1951	N 1 (400万吨)	P_2O_5 1.48	K_2O 1.08
1960—1961	1 (1074万吨)	0.98	0.83
1970—1971	1 (3230万吨指1971—1972)	0.63	0.53

化学氮肥的消费量增长得很快，这是由于：第一，从农作物体内成分的组成来看，构成蛋白质主要组分的氮素其含量比核酸和核蛋白中的磷含量要高。第二，土壤和肥料中氮素的挥发、淋失和反硝化作用，引起了氮素的大量损失，特别在热带地区这个问题更为突出。而磷素的转化、固定，除使有效性减低以外，在土壤中，一般是不致引起损失的。钾素是作物的必要养分之一，由于它在作物体内不是以有机态存在，因此，作物中所含钾素的变化幅度可以很大。同时，作为主要钾素养分的土壤中的代换性钾也是不易流失的，而且，大部分土壤都含有一定量的含钾粘土矿物作为钾的给源。

* 本文是李庆迹同志于1974年10月在水稻工作培训班上报告的记录稿。

我国氮肥生产是遵照毛主席提出的独立自主，自力更生，土洋结合的两条腿走路的方针发展起来的。碳酸氢铵是当前我国的主要氮肥品种之一。目前，它的施用量占全国氮肥施用量的很大比重。

五十年代，我国化工工作者在党的领导下，根据我国的工业条件和资源情况，提出了一个生产碳酸氢铵的新流程，使得碳酸氢铵的生产得到了迅速发展。在这个生产流程中，碳酸氢铵作为纯化半水煤气中 CO_2 的一个中间产品。这样，就大大节省了在小化肥厂生产中为洗净 CO_2 所需要的耗电量。在流程中所发生的 CO_2 当量应该与氨的当量相平衡，恰好产生碳酸氢铵。但是，由于气候条件和其他工业条件的关系，小化肥厂有时也生产一部分氨水。

解放以来，我国也大量生产硫铵、氯铵、硝铵、尿素和磷铵等氮肥品种。上面所谈的是国内外氮肥品种和发展趋势的大致情况。

随着农业生产的不断发展，耕地的复种指数势必要不断提高。因此，绿肥在轮作倒茬中的比重就不得不有所减少，化学肥料的用量就要相应地增加。同时农作物的秆秆在工业上的利用逐渐增加，有机肥料的来源受到一定的限制，这样就可能引起土壤的板结问题，于是，有机—无机合成氮肥的利用在国内外都引起了普遍的注意。在我国，泥炭、褐煤和风化煤的资源是比较丰富的，现已在农业上加以研究和利用。

二、碳酸氢铵和氨水的利用问题

(一) 碳酸氢铵的利用问题

碳酸氢铵在通常的湿度和气压条件下，当温度在 35°C 以下时，它是比较稳定的结晶体。将它暴露在空气中也不易嗅到氨的气味。但是小化肥厂生产的碳酸氢铵产品，通常都含有一定量的水分，特别是水分超过规定的标准时，在湿度和温度较高的条件下，挥发是比较快的。我国农民群众在利用化学氮肥方面有很好的经验，例如：将硫铵、氯铵、尿素等化学氮肥和土、有机物等混合作为球肥深施，可以提高化学氮肥的肥效。由于碳酸氢铵和水分接触后挥发很快，因此，用碳酸氢铵来作为球肥就有一定的局限性。

我们曾经将碳酸氢铵和不同比例的粘土、有机肥料或过磷酸钙等混合，发现碳酸氢铵混合物的挥发率远较纯碳酸氢铵来得快。我们也曾经用过脱水的过磷酸钙（降低过磷酸钙中 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的含水量，在 100°C 下把它变成 $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ）与碳酸氢铵相混合，使之产生一种松散、无臭的粉状混合体，但过半小时左右，由于吸湿和潮解作用，碳酸氢铵又大量地分解和挥发了。因此用碳酸氢铵制造球肥必须要用干燥的混合物，并且要随做随用。碳酸氢铵也有加水兑成溶液施用的，但需注意碳酸氢铵的溶解度不高，在 0°C 时每100毫升水可溶解12克，在 30°C 时为27克。过饱和的碳酸氢铵溶液是极易挥发的，因此用于水稻上作为基肥时，必须在整地时施用，并迅速耙入土中。

我们建议把碳酸氢氨压成粒肥深施^[1,2]，这是一种有效的施用方法。粒的大小可以从0.5克到1.5克。通过1972—1974年的大田试验证明，在水稻上碳酸氢铵粒肥深施的肥效可比粉状碳酸氢铵提高1/3。在小麦、玉米等旱作上施用也有一定的效果。

目前，有的地区已试制成适合于人民公社使用的小型碳酸氢铵造粒机。适合于小化肥厂配套生产的造粒机以江苏金坛制造的为例，每台每小时可生产粒肥2吨，现正在推广。

使用。

(二) 氨水的利用问题

我国一些化肥厂，特别是县级化肥厂生产一部分氨水(含氮约15%左右)供应农业。氨水在运输、贮存和施用过程中如果没有特殊的措施，它的挥发率是很大的。出厂的氨水其浓度一般近15%，但运到社、队时，最多只有13%左右，而在施用时通常不到10%的氨。

根据原农业部1960年的资料，接近15%的氨水在15°C的条件下，三天内几乎全部挥发完，如果有CO₂存在(碳化氨水)氨水的挥发率可受到抑制。因此在氨水施用中，一般建议施用碳化氨水。至于氨水的施用方法，各地都有丰富的经验，这里就不作介绍了。

三、化学氮肥的利用率

从作物的营养生理着眼，铵态氮和硝态氮一般说大体上应该有同样的肥效。但在水稻上，由于硝态氮易于淋失以及反硝化作用损失等原因，硝态氮的肥效往往不如铵态氮。根据东南亚、日本和美国的资料统计，各种不同品种氮肥在水稻上的相对肥效如下(%)：

硫 铵	尿 素	氯 铵	硝 铵	硝酸钠
100	95左右	95左右	55—80	40—55

因此，硝态氮应尽可能施用在旱作上，而将铵态氮施用在水田上。

等氮量的碳酸氢铵的肥效，在施用不当时(如做追肥撒施)，根据我国的试验，通常不到硫酸的一半。

就氮肥利用率的绝对量来讲，还是很低的。根据1963年全国化肥试验网的总结报告，并参考主要农作物含氮成份的统计，各种主要农作物的氮肥利用率如下：

作物品种	生产百斤籽实所需的氮素(斤)	氮素利用率(%)
水 稻	2.0	40—50
小 麦	2.7	27—41
籽 棉	4.6	± 46
油 菜 籽	5.8	± 29
马 铃 薯	0.50	20—30

根据我国太湖流域、珠江三角洲和江西红壤地区所做的水稻氮素试验中(每亩施硫酸铵40斤左右)，17个田间试验的增产量，结合水稻籽实和茎秆含氮量的分析资料来统计，硫酸铵的利用率在35—60%。根据国外(主要是东南亚)资料，用大田试验差异法来比较，化学氮肥的利用率在水稻上是40—60%，而用N¹⁵标记氮肥法试验，氮肥利用率只有30—35%。

以上材料充分说明氮肥利用率较低，因此针对利用率低的可能原因，目前在一些国家中长效性氮肥的研制受到了重视。

四、长效性氮肥

关于长效性氮肥的研究是从1940年开始的，但进展很慢。长效性氮肥大体可分为三个方面^[3]：1. 有机合成氮肥；2. 将可溶性氮肥加以包被；3. 长效性无机氮肥。

第一个合成有机氮肥品种是尿素，但是它是可溶性的。而第一个长效性有机氮肥则是尿素甲醛肥料，它是用1.3—1.5个克分子的尿素和1个克分子的甲醛合成的。通常含

全氮38—40%，其中水溶性氮近10%，热水可溶的氮和残渣氮各占15%左右^[4]。

以后在德国和日本继续合成一些新品种，在市场出售的有：丁烯二脲(CDU)（西德），异丁烯二脲(IBDU)(日本)。但这些肥料还未广泛地在农作物上施用，使用范围还仅仅限于林木和园艺作物。这不仅是因为经济价值，而且还由于长效性有机氮肥并不完全适合于短期生长的作物的需要。显然在农作物上使用长效性氮肥，必须与速效性肥料结合施用，并要根据气候条件和农作物的生长特性来考虑。

在农作物上施用长效性氮肥，首先应在机械化农场，因为大面积的水稻田在水稻封行以后进行追肥是困难的。

第二种长效性氮肥，是在速效性化肥的外面包被一层有渗透性的薄膜，如各种合成树脂，熔成硫磺和石蜡沥青等成膜物质。现在国外主要的长效性氮肥是以尿素为基体。

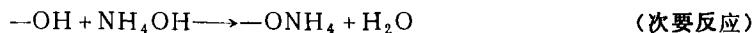
第三种长效性氮肥是无机氮肥。几乎所有铵态氮和硝态氮都是水溶性的，现在已经发现并已作为长效性氮肥使用的只有一种，即 $M_2NH_4PO_4$ ^[5]，M₂为二价金属。但是在化学上磷酸钙铵的形成是非常困难的。实际上，主要是长效性无机氮肥是磷酸镁铵 $Mg(NH_4)_2PO_4 \cdot 6H_2O$ 。此外磷酸铵的锰、锌、钴、铁、铜的化合物也是缓溶性的，但是它们是作为微量元素肥料而不是作为氮肥来使用的。

1970年我们开始进行长效肥的研究工作，用碳酸氢铵粒肥为基体。由于碳酸氢铵的挥发性大，用加热条件下的成膜物质和亲水性物质来包被是不可能的。我们在碳酸氢铵粒肥外面包上一层钙镁磷肥，在酸性介质下使钙镁磷肥和粒肥表面之间形成薄层的磷酸镁铵，这样便形成了氮磷复合肥料，使包膜物质也有肥料价值。这种肥料在水稻上一次施用可省去多次追肥，从某些地区的初步试验结果看来，效果还是比较好的。包膜工作和田间有效施用条件的研究，还正在进行中。

五、从褐煤、泥炭来合成有机氮肥的研究

把褐煤、风化煤或泥炭加以氨化，作为氮肥来施用，在国际上已有较久的历史，我国这方面的工作也早已开始。我国褐煤、泥炭资源，在不少省份是比较丰富的，国家对于利用这项资源，给予很大的重视，我们相信，在不久的将来，我国这一资源一定会在农业上发挥更大的作用。

在我国褐煤和泥炭多用于制造腐殖酸肥料。褐煤、风化煤或泥炭都含有一定量的腐殖酸，可占干物质的30—60%左右。制备的方法主要有三类：第一类是采用低腐殖酸含量的褐煤，用硝酸氧化制取硝基腐殖酸及其盐类(铵盐或钠盐)；第二类是直接从含量较高的煤中提取腐殖酸；第三类是采用空气沸腾床氧化办法，提高煤中腐殖酸含量，然后制得铵盐，这些制品很多是从工业用途来考虑。另一个办法是将褐煤或泥炭加以氨化^[6](包括潮法氨化和干法氨化)，在潮法氨化中，褐煤的氨化作用也仅仅是中和腐殖酸中所含的酸基。



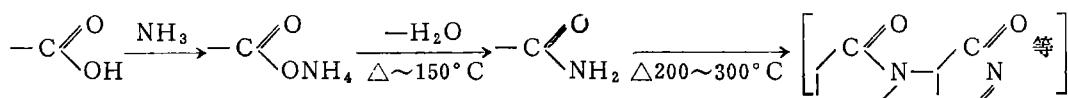
这类氮素虽是有效态氮，但能吸附的铵态氮量也只有1—2%。当温度不断提高时(从常温到100°C、200°C、300°C)制品中氮的含量可以随着增加，但是铵盐脱水而成酰铵，酰铵进一步变为取代酰胺，或发生环化、缩合等反应成为含有稳定性氮的化合物：

(下转第153页)

些可溶性养分就会随水上升到地表而使作物不易吸收到；在盐渍土地区，可溶盐随水上升至地表形成盐霜，妨碍作物生长。因此，要及时中耕耙地，切断毛管，以保持养分和水分在根系活动范围内，并防止盐分的聚集。土壤疏松通气不仅可以促进微生物对养分的转化，而且由于植物根呼吸旺盛，所产生的 CO₂ 溶于水生成的 H⁺ 和 HCO₃⁻ 比较多，因此交换吸收的养分离子也就比较多，从而提高了土壤保肥供肥性能。

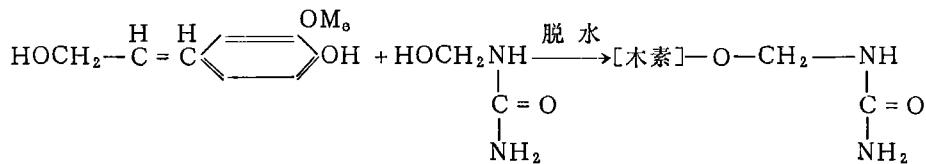
从以上一些土壤性质对施肥效果的影响可以看出，土壤的各种特性间是彼此联系的，它们是综合地影响着肥料的效果及作物对肥料的吸收。为了合理施肥和培肥土壤，不仅要看作物施肥，而且还要了解并合理调节土壤的各种特性，以便不断提高肥料的效果，发挥其最大的增产作用。

(上接第 133 页)



在我们过去的工作中，干法氨化的泥炭和褐煤，它的含氮量可以高达 10—20%，但是它的有效性是很低的。在通常的使用方法中，对当季作物和第一季的后作没有肥效。关于这类合成氮肥，目前我国土壤肥料工作者正在结合我国农业条件，积极广泛地开展研究。

关于木素物质的利用，最近国外有利用木屑、甘蔗渣和造纸工业的副产品作为合成有机氮肥原料的介绍，例如木素尿醛肥料：



木素基体的一个例子

羟甲基脲

木素尿醛肥料

这类有机合成肥料，其缩合部分和反应部分含氮可达 20%。氮素中有 10—20% 左右是水溶性的，20—30% 左右是热水可溶的，50—60% 左右是难溶性的。此外，木素也可以通过碘化作用在有氧条件下进行氨化^[7]。成品的含氮量可高达 18—22%。其中 30—40% 的氮素是铵态氮，10% 是酰胺氮，约 50% 是其他有机氮化物。

我国这类有机——无机合成氮肥的研究是根据我国农业的需要和有机物质的资源而提出来的，目前已有一些单位开展了这方面的工作，并取得了一定的进展。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所长效肥工作组，碳酸氢铵粒肥的肥效和机械造粒，土壤，3, 91—96, 1974。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所长效肥工作组，长效性碳酸氢铵的研制，土壤，3, 97—102, 1974。
- [3] R. Powell, et al., Controlled Release Fertilizer, 1968.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所长效肥工作组，尿素—甲醛肥料的研制及生物试验，土壤，2, 76—81, 1974。
- [5] G. L. Bridger, et al., Journ. Agr. and Food Chem., 10, 181—8, 1962。
- [6] 徐瑞薇，矿物煤的氮化处理和氮化煤的肥效，土壤学报，13(2), 194—207, 1965。
- [7] W. Flraig, Chem. and Ind., 12, 553—4, 1973。