

无机盐工艺学

上册

〔苏联〕 M.E.波任 等著

化学工业出版社

WU JI YAN GONG YI XUE

译 序

苏联《无机盐工艺学》(Технология минеральных солей)是一本无机物工艺专业方面的专著,是广大无机化工战线的科技人员和大专院校有关专业师生的一本比较重要的参考书。该书的第一、二版均有中译本。以后原书经过作者修订,相继出版了第三版和第四版。第三版比第二版在内容上有很多的补充和修改,补充了许多新材料,特别是在无机肥料等方面的补充较多,基本上反映了无机盐生产方面的全貌。第四版对第三版中的错误进行了改正。本书为第四版的译本。

该书第四版的翻译工作由天津化工研究院组织。参加翻译的单位和个人有:天津化工研究院(李振圣、杨猷、姜太万、巫英杰、杨世凯、蒋明、李荣兴、于慧生、杨曾焜、段永才、王月清)、四川科技大学(王励生、涂敏端、党洁修、钟本和、周先慧)、华南工学院(薛士棟、陈焕钦)、山东海洋学院李静、上海化工专科学校许长发,以及化工部科技局成思危等。译文由上海化工专科学校杨春荣审校,个别章节曾由王励生、李振圣复校。天津化工研究院张玉琴承担了本书的描图工作。

在翻译过程中参考了第二版的中译本。

由于译者水平所限,可能存在一些错误之处,尚请读者批评指正。

译者

一九八〇年六月

目 录

第一章 无机盐类在国民经济中的应用	(1)
农业上用的无机盐类	(1)
无机肥料	(1)
无机肥料的分类	(3)
无机农药和其他制剂	(7)
无机饲料	(9)
工业中的无机盐	(9)
世界无机肥料和无机盐类生产概况	(10)
参考文献	(12)
第二章 自然界的可溶性盐及其开采方法	(14)
天然盐矿床的生成	(14)
天然盐水和盐湖的分类	(15)
盐类矿藏的开采	(18)
矿山开采法	(18)
地下溶浸法	(18)
从盐水和海水制盐	(19)
沉积盐的开采	(19)
滩田法加工盐水	(20)
参考文献	(21)
第三章 氯化钠	(23)
物理化学性质	(23)
用途	(24)
原料及生产方法	(25)
岩盐	(26)
自沉积盐	(27)
滩田法制取沉积盐	(28)
熬制盐的生产	(29)
平锅熬盐	(30)
真空制盐	(32)
盐水的净化	(32)
设备结构	(33)
碘化食盐	(36)
冷冻法制盐	(37)
盐析法及重结晶法制盐	(40)

利用钾盐厂的钾石盐盐渣制取食盐.....	(40)
食盐的压块法和防止食盐结块法.....	(42)
食盐的特殊(精细)净化法.....	(42)
参考文献.....	(43)
第四章 天然硫酸钠	(47)
物理化学性质.....	(47)
用途.....	(50)
原料.....	(51)
从天然盐水制取芒硝的物理化学原理.....	(54)
芒硝的脱水.....	(57)
芒硝在自然条件下的脱水.....	(57)
芒硝的工厂脱水法.....	(58)
从固体盐矿制取硫酸钠.....	(67)
格劳柏盐.....	(69)
参考文献.....	(69)
第五章 天然钾盐	(72)
物理化学性质.....	(72)
用途.....	(73)
原料.....	(74)
溶解和分别结晶法制取氯化钾.....	(77)
加工钾石盐矿的物理化学原理.....	(77)
钾石盐的溶浸.....	(78)
氯化钾的结晶.....	(80)
溶解和结晶法生产氯化钾的流程.....	(81)
硬结盐的加工.....	(85)
氯化钾的结块性.....	(85)
由光卤石制取氯化钾.....	(85)
设备的防腐蚀和防磨蚀.....	(87)
机械富集法加工钾矿岩制取氯化钾.....	(87)
浮选法.....	(87)
浮选富集和结晶联合法.....	(88)
其它富集法.....	(90)
地下浸提钾矿石制取氯化钾.....	(91)
从天然盐水提取氯化钾.....	(91)
硫酸钾.....	(92)
制盐法加工喀尔巴阡山麓的多组分矿石.....	(93)
转化法制取硫酸钾.....	(95)
浮选与富集结合制盐法制取钾肥.....	(97)
水热法加工钾矿.....	(97)
非水溶性钾矿的加工.....	(98)

制取硫酸钾和硫酸钾肥的其他方法·····	(99)
参考文献·····	(100)
第六章 碳酸钾 ·····	(102)
物理化学性质·····	(102)
用途·····	(102)
碳酸钾的生产方法·····	(103)
向日葵灰的加工·····	(104)
酒糟炭和酒糟灰的加工·····	(105)
从氧化铝生产中的碳酸钠-碳酸钾溶液制碳酸钾·····	(108)
苛性钾溶液碳化制碳酸钾·····	(111)
甲酸盐法制碳酸钾·····	(112)
三甲胺法制碳酸钾·····	(112)
参考文献·····	(113)
第七章 溴及溴盐 ·····	(115)
物理化学性质·····	(115)
用途·····	(116)
原料·····	(117)
溴的制取·····	(117)
蒸汽蒸馏法制溴·····	(117)
空气吹风解吸法制溴·····	(119)
吸收法从溴-空气混合气中制溴·····	(124)
制取溴的其他方法·····	(129)
某些溴盐的生产·····	(129)
溴化钠·····	(129)
溴化钾·····	(130)
溴化铵·····	(131)
溴酸钾·····	(131)
参考文献·····	(131)
第八章 碘及碘盐 ·····	(134)
物理化学性质·····	(134)
用途·····	(135)
原料·····	(135)
碘的制取·····	(136)
从硝石矿岩提取碘·····	(136)
从海藻提取碘·····	(136)
从钻井水提取碘·····	(137)
用固体吸附剂吸附碘·····	(137)
空气吹风解吸法提碘·····	(141)
以难溶盐的形式沉淀碘·····	(143)
用与水不互溶的溶剂萃取碘·····	(143)

电化学法提取碘·····	(144)
粗碘的提纯·····	(144)
碘盐的制备·····	(145)
参考文献·····	(148)
第九章 镁的化合物 ·····	(151)
物理化学性质·····	(151)
用途·····	(153)
原料·····	(155)
氯化镁·····	(156)
天然水的日晒蒸发·····	(156)
加工光卤石制取 $MgCl_2$ ·····	(157)
氯化镁卤液的蒸发·····	(158)
化学法制取氯化镁·····	(159)
无水氯化镁·····	(160)
镁氧·····	(162)
自菱镁矿和白云石制取重质镁氧·····	(162)
碳酸氢盐法制取镁氧·····	(162)
氨法制取镁氧·····	(165)
石灰法制取镁氧·····	(165)
氢硫化物法制取氢氧化镁·····	(171)
纯碱法制取轻质镁氧·····	(172)
氯化镁的水解和氧化·····	(173)
硫酸镁及其热分解·····	(175)
硫酸镁的制取·····	(175)
硫酸镁的热分解·····	(175)
石棉镁石和石棉白云石·····	(176)
镁肥·····	(176)
参考文献·····	(178)
第十章 硼的化合物 ·····	(182)
物理化学性质·····	(182)
用途·····	(184)
原料·····	(187)
含硼原料的加工方法·····	(189)
硼酸·····	(190)
天然硼酸·····	(190)
由硼砂制硼酸·····	(190)
由硼酸镁矿制取硼酸·····	(191)
由硅硼钙石制取硼酸·····	(196)
硼酸钙·····	(197)
硼砂·····	(198)

由硼酸制取硼砂.....	(198)
纯碱法由硼酸盐制取硼砂.....	(200)
用其他碱法将硼矿加工为硼砂.....	(201)
硼砂的脱水.....	(202)
硼肥.....	(202)
自硼酸生产排出物制取硼肥.....	(202)
由硼矿制取硼肥.....	(203)
由溶液中提取硼.....	(206)
过硼酸钠.....	(207)
硼酸酐.....	(209)
三氯化硼.....	(210)
参考文献.....	(211)
第十一章 盐酸	(215)
氯化氢和盐酸的性质.....	(215)
用途.....	(219)
盐酸的缓蚀剂.....	(220)
氯化氢的制造.....	(220)
硫酸钠法.....	(220)
加尔格里福斯-罗宾逊法.....	(225)
自元素合成氯化氢.....	(226)
由氯、水蒸汽和炭制取氯化氢.....	(229)
某些生产中副产的氯化氢.....	(229)
制取纯氯化氢.....	(231)
氯化氢的吸收.....	(232)
氯化氢的冷却和吸收.....	(232)
氯化氢的绝热吸收.....	(234)
液体氯化氢.....	(240)
从酸洗液中回收HCl.....	(241)
氯化氢加工成氯.....	(242)
参考文献.....	(244)
第十二章 钡盐	(248)
物理化学性质.....	(248)
用途.....	(250)
原料.....	(253)
硫酸钡.....	(254)
重晶石还原.....	(255)
氯化钡.....	(259)
盐酸法.....	(259)
氯化钠法.....	(260)
用氯化钙溶液及二氧化碳分解 BaS.....	(261)

氯化铵法.....	(262)
碳酸盐法.....	(262)
氯化镁法.....	(263)
氯法.....	(264)
热氯化法及氢氯酸法.....	(265)
硫酸钡与氯化钙的相互作用.....	(265)
氯化钙法.....	(267)
硝酸钡.....	(269)
由BaS和硝酸制取硝酸钡.....	(270)
钡盐的转化.....	(270)
碳酸钡.....	(271)
硫化钡溶液的碳化.....	(271)
由硝酸钡溶液制取BaCO ₃	(272)
制取碳酸钡的其他方法.....	(272)
氢氧化钡.....	(273)
由BaCl ₂ 和NaOH制取氢氧化钡.....	(273)
由硫化钡制取氢氧化钡.....	(274)
其他制取氢氧化钡的方法.....	(274)
氧化钡和过氧化钡.....	(275)
参考文献.....	(276)

第十三章 硫化物系列的盐类..... (279)

物理化学性质.....	(279)
用途.....	(281)
硫化钠.....	(281)
煤还原Na ₂ SO ₄ 的物理化学原理.....	(282)
用煤还原硫酸钠制取硫化钠.....	(285)
用气体还原硫酸钠制取硫化钠.....	(293)
制取硫化钠的其他方法.....	(297)
硫氢化钠.....	(298)
多硫化物.....	(299)
参考文献.....	(300)

第十四章 亚硫酸盐系列的盐类..... (303)

物理化学性质.....	(303)
用途.....	(305)
原料.....	(306)
亚硫酸盐的可氧化性.....	(309)
吸收溶液上方的SO ₂ 分压.....	(311)
亚硫酸氢钠和亚硫酸钠.....	(314)
由二氧化硫和碱制取亚硫酸氢钠和亚硫酸钠.....	(314)
亚硫酸氢钠的制取.....	(315)

(172) 七水亚硫酸钠	(316)
(173) 无水亚硫酸钠	(317)
(174) 用 SO_2 和 Na_2SO_4 或 NaCl 溶液作用制取亚硫酸氢钠和亚硫酸钠	(319)
(175) 亚硫酸氢铵和亚硫酸铵	(320)
(176) 焦亚硫酸盐	(321)
(177) 湿法制取焦亚硫酸钠	(321)
(178) 干法制取焦亚硫酸钠	(322)
(179) 焦亚硫酸钾	(323)
(180) 连二亚硫酸钠	(323)
锌粉还原亚硫酸制造连二亚硫酸钠	(323)
制造连二亚硫酸钠的其他方法	(325)
雕白粉	(326)
硫代硫酸钠	(327)
制造硫代硫酸钠的化学原理	(327)
硫化钠法	(329)
多硫化钠法	(332)
亚硫酸钠法	(332)
砷碱法净化气体时副产硫代硫酸钠	(333)
其他生产方法	(333)
硫代硫酸铵	(335)
参考文献	(335)
第十五章 铬盐	(339)
物理化学性质	(339)
用途	(343)
原料及其加工方法	(345)
铬铁矿氧化焙烧制取铬酸盐	(347)
铬铁矿氧化焙烧的物理化学原理	(347)
铬酸盐烧成料的矿物组成及配料的计算	(352)
铬酸盐烧成料浸取的物理化学原理	(354)
铬酸盐转变为重铬酸盐的物理化学原理	(355)
铬酸盐转变为重铬酸盐的方法	(355)
用酸类酸化铬酸盐的理论	(356)
重铬酸钠的生产	(359)
用碳酸酸化铬酸钠制取重铬酸钠	(363)
重铬酸钾	(365)
铬酸酐	(368)
硫酸铬	(369)
铬矾	(369)
碱式硫酸铬	(370)
氢氧化铬和氧化铬	(370)

铬酸盐-硫还原法制取氧化铬	(373)
氯化铬	(374)
其他加工含铬原料及含铬废料的方法	(374)
参考文献	(376)
第十六章 硫酸铝和以硫酸铝为母体的产品	(383)
物理化学性质	(383)
用途	(384)
原料	(385)
粘土	(386)
其他原料	(387)
凝聚剂的制造	(388)
用高岭土生产粗制硫酸铝	(388)
用高岭土和霞石粉生产粗制硫酸铝	(389)
霞石凝聚剂	(389)
纯净硫酸铝的制造	(390)
制造凝聚剂和硫酸铝的其他方法	(392)
用煤灰制造凝聚剂	(392)
烧结法自粘土和高岭土制造凝聚剂	(393)
用亚硫酸法分解高岭土综合制造纯净硫酸铝	(393)
自铝土矿制造硫酸铝	(394)
利用废酸制造硫酸铝	(394)
明矾的制造	(395)
参考文献	(397)
第十七章 铜的化合物	(399)
物理化学性质	(399)
用途	(400)
铜矾的原料和生产方法	(402)
用废铜生产铜矾	(402)
生产过程的理论基础	(402)
工艺过程	(404)
电解法制取铜矾	(407)
用氯化铜使铜氧化制取铜矾	(407)
用氧化铜制造铜矾	(407)
自白冰铜制取氧化铜	(408)
氧化铜溶于硫酸	(409)
由氧化铜和二氧化硫气体制取铜矾	(410)
白冰铜硫酸盐化焙烧制取铜矾	(411)
由氧化铜矿制取铜矾	(413)
从硫铁矿烧渣制取铜矾	(413)
由烧渣浸取铜	(413)

(201)	烧渣的氯化焙烧	(414)
(202)	从炼铜厂废料提取铜	(414)
(203)	由稀溶液中沉析铜	(414)
(204)	从电解铜厂的电解液制取铜矾	(415)
(205)	其他铜化合物的制取	(415)
	碱式硫酸铜	(415)
	碱式碳酸铜	(416)
	氯氧化铜	(416)
	氧化亚铜	(416)
	人造纤维生产中所用铜盐的再生	(417)
	参考文献	(417)
第十八章	铁的化合物	(419)
	物理化学性质	(419)
	用途	(422)
	自酸洗液制取铁矾	(423)
	真空结晶装置	(424)
	由硫铁矿烧渣制取铁矾	(425)
	硫酸高铁	(426)
	铁的氯化物	(426)
	铁的氧化物及水合氧化铁的制取	(427)
	参考文献	(429)
第十九章	硫酸锌和氯化锌	(431)
	物理化学性质	(431)
	用途	(433)
	原料	(434)
	硫酸锌	(435)
	用硫酸溶解含Zn和ZnO的物料制取硫酸锌	(436)
	从含铜氧化锌制取硫酸锌	(437)
	用氯化焙烧从硫铁矿烧渣提取锌	(438)
	氯化锌	(439)
	参考文献	(440)
第二十章	硫酸镍	(442)
	物理化学性质	(442)
	用途	(443)
	用硫酸溶解镍制取镍矾	(444)
	从钴生产的溶液中制取镍矾	(444)
	从电解铜厂的废电解液制取镍矾	(445)
	参考文献	(445)
第二十一章	氯化钙	(446)
	物理化学性质	(446)

用途.....	(418)
原料.....	(449)
自纯碱生产的蒸馏废液制取熔融氯化钙.....	(449)
从氯酸钾生产的母液中制取氯化钙.....	(451)
羟基氯化钙的制取和由羟基氯化钙制取氯化钙.....	(451)
用盐酸和石灰石制取无水氯化钙.....	(451)
参考文献.....	(453)
第二十二章 锰的化合物	(455)
物理化学性质.....	(455)
用途.....	(458)
原料.....	(460)
贫锰矿的化学加工.....	(461)
人造二氧化锰.....	(465)
电化学法制取二氧化锰.....	(465)
活性软锰矿 (ГАН) 的制造.....	(467)
从贫锰矿制取活性二氧化锰.....	(468)
热法制取活性二氧化锰.....	(469)
硫酸锰.....	(469)
氯化锰.....	(471)
高锰酸钾.....	(472)
马日夫盐.....	(475)
参考文献.....	(477)

第一章 无机盐类在国民经济中的应用

工业、农业、医学和日常生活中使用的无机盐品种极其繁多，为数已达数百种，而且还在不断增加。某些无机盐的世界年开采规模和生产量已达数百万吨甚至数千万吨。

从生产和消费的规模来说，最重要的是钠、磷、钾、氮、铝、铁、铜、硫、氯、氟、铬、钼的盐类和化合物以及其他一些盐类。在农业上使用着成百万吨的无机肥料和大量的其他无机盐类。

农业上用的无机盐类

无 机 肥 料^[1—25]

含有作物生长所必需的营养元素并且用以获得高产和稳产的盐类及其他产品，称为无机肥料。使用的肥料中，大部分是施于播种土壤中的。有一些品种，也用于作物的根外施肥。

有许多化学元素（约有60种），参与作物各组织的形成、发育和生长过程。其中三种基本元素碳、氧、氢约占作物干体的90%，而氮、磷、镁、硫、钙、钾和铁则占8~9%。其余元素占1~2%（重量）。硼、铜、锰、锌、碘、溴、砷在作物体里的含量仅为十万分之几或百万分之几，而像铀、镭、钍这类元素仅占亿分之几或千亿分之几^[7、9]。

作物中绝大部分氧、碳和氢是从空气和水中获得，其他元素则由作物从土壤溶液中吸取。

在作物的无机养分里，具有特别重要意义的是氮。氮是蛋白质的组成部分，而蛋白质则是生物机体的基质。作物蛋白质中含氮约15.5~18%。氮也是叶绿素的组分，作物是通过叶绿素来吸收大气中二氧化碳里的碳和太阳能的。作物可从无机盐类（铵盐和硝酸盐）中取得氮，某些作物（豆科作物）则藉生长在根部的根瘤菌直接吸取空气中的氮。

作物最容易吸收铵盐中的氮；而硝酸盐则先在作物体内还原为亚硝酸盐，再还原为氨，然后变为氨基酸和蛋白质^[1]。

氮肥的基本形态有：铵态（铵盐——硫酸铵、氯化铵、磷酸铵等），硝态（硝酸盐——硝酸钙、硝酸钾、硝酸钠），铵-硝态（ NH_4NO_3 ）和酰胺态〔尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 等〕。所有无机氮肥（ MeNH_4PO_4 型复盐、例如磷酸镁铵 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 除外）均易溶于水，并迅速转入土壤而便于作物从中吸取氮素。

磷的化合物在作物的呼吸和繁殖过程中起着重要作用。作物的某些部分所含的磷折算成 P_2O_5 可达1.6%。增加磷素营养可提高作物的抗旱、抗冻能力，并能增加作物中有用物质的含量，如马铃薯中的淀粉，甜菜中的糖分等。作物吸收磷肥的难易程度取决于磷肥的溶解度和土壤的性质，首先是土壤的酸度。土壤中若存在大量能为植物所吸收的有效磷，将有助于其他肥料（氮肥和钾肥）的充分利用。评定肥料中 P_2O_5 的可吸收性的方法之一是配制出酸度与土壤相近的溶液，测定磷酸盐在此溶液中的溶解度（参见第7页）。磷肥中磷的含量通常折算成 P_2O_5 。

钾对调节作物体内的生命过程具有很大的作用。它能改善作物体内水分的吸收状况，促进新陈代谢，有利于碳水化合物的吸收，它同磷一样，能增加马铃薯中的淀粉和甜菜中的糖

分；而在提高作物的抗旱、抗冻能力方面比磷的作用还大。作物干体里含钾量为4~5%，在叶子的灰分里达30~60%。根据作物吸收钾的难易程度，钾肥可分三类：（1）含水溶性钾的钾肥；（2）含置换性钾的钾肥，即钾经过离子交换作用转入土壤中；（3）含有组成为无水硅酸盐的非置换性钾肥，植物只能慢慢地吸收其中一部分钾。钾在钾肥中的含量折算成 K_2O 来表示。

作物里含有的钙，呈无机酸钙和有机酸钙盐的形态。钙能促使作物根须发达，能中和作物细胞里多余的酸，并能提高作物抗御土壤酸性的能力。钙以磷酸钙、硝酸钙、石灰和石膏等形态施入土壤中。

镁主要含于作物的绿色部分。镁是叶绿素（约含2.7%的镁）和植酸钙镁盐的组成元素，它能促进作物体内还原过程的进行和碳水化合物生成，并促使无机磷化物转化为有机磷化物。镁在土壤中呈硅酸镁和铝硅酸镁即作物不能吸收的形态存在。可作为镁肥的有白云石、含镁磷肥、含镁钾矿（钾盐镁矾、无水钾镁矾）和其他盐类。

硫是蛋白质和香精油的组成元素。硫以硫酸钙、硫酸镁、硫酸钾肥料的形态施入土壤中，有时也将元素硫施入土壤中，由细菌氧化成硫酸。

铁是调节氧化还原过程的酵素的组成元素，在叶绿素的形成过程中起催化剂的作用，并参与作物的呼吸过程。由于土壤里铁的含量足够多，所以只是在极个别的情况下才使用铁盐作为肥料（当土壤里的石灰含量特别多时才施用）。

有一些元素，在作物体内的含量甚少（ $10^{-2}\%$ 到 $10^{-12}\%$ ），但对于作物的生存却是必不可少的，对作物体内的复杂过程主要起调节剂的作用，这类元素称为微量元素。微量元素有硼、锰、铜、锌、钼、钴、碘等。含有这些元素的肥料叫做微量元素肥料。微量元素肥料的意义非常重大。酵素、维生素、蛋白质、激素的成分中如果缺少微量元素，就会使新陈代谢过程受到破坏，使作物发生严重病害。微量元素对作物体内的氧化还原过程及其进行方向，对光合作用和糖类的转移等的影响特别大。目前，借助于示踪原子对微量元素在作物生命过程中的作用正进行着卓有成效的研究。包括放射性元素在内的超微量元素（含量少于 $10^{-5}\%$ ）可以单列为一类。

某些元素，例如钙、硫、铁等，它们在土壤中的含量，多数情况下都足够作物营养之用。但另有一些元素，尤其是对作物营养最为重要的氮、磷和钾，则必须以肥料的形式施入土壤中。营养元素有一部分能自然返回土壤里，例如作物组织里的有机氮，当作物组织腐烂时，一部分转变成铵态氮和硝态氮而重新被植物吸收。然而营养元素返回土壤的自然过程进行得很缓慢，其中相当大部分的营养元素不能再返回土壤中，且土壤中的营养元素有一部分又会被地下水冲走，或处于不能被作物吸收的状态。因此，土壤中的营养元素需要靠施肥来补充。

如果不用施肥的办法来补偿土壤中减少的营养元素含量，则土壤的肥力将要下降，从而引起作物减产。这种情况有时甚至在土壤里还有相当多的营养元素时也可能发生，因为作物的产量与土壤里营养元素的总储量无关，而仅取决于作物能吸收的那一部分营养元素的含量。对大多数情况来说，可吸收的那一部分营养元素的储量只占总储量的一小部分。

作物的产量越高，从土壤中带走的营养物质也越多。作物的增产程度及其对于土壤营养物质的消耗量的关系如表1和表2所示。

当将全效肥料（含氮、磷、钾）施入土壤时，作物的收成可增加0.5~1倍。由于使用肥料，作物平均约增产40%。如果肥料使用得当，作物增产的价值相当于肥料费用的10倍。下列数字表明的是在耕作技术很好的条件下，收成（公担/公顷）因施肥而发生的变化：

表1 收获作物自土壤中带出的营养物质(公斤/公顷)

营 养 物 质	冬小麦收获量		甜菜收获量		玉米收获量(青料)
	15公担/公顷	30公担/公顷	150公担/公顷	270公担/公顷	600公担/公顷
N	46	112	65~85	166	150
P ₂ O ₅	22	39	25~28	42	70
K ₂ O	28	77	60~70	157	200

表2 土壤中施用氮、磷、钾后的增产①

作物和产 品 种 类	施加一吨肥料时的增产量, 吨		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
原 棉	10~14	5~6	2
甜菜块茎	120~160	50~55	40~50
甜菜糖	20	8~9	6~7
大麻纤维	5~5.6	4~4.2	—
大麻籽	2~2.2	1.5~1.8	—
马铃薯	120	40~80	40~60
马铃薯淀粉	17~18	6~6.5	5~5.5
冬小麦籽实	12~25	20~25	3~4

	不 施 肥	施 肥
棉 花	13	33
冬 小 麦	15	26
甜 菜	140	282

农业生产中, 往每公顷种植面积上所施用的肥料量大致如下: 氮肥——30~300公斤N; 磷肥——45~200公斤P₂O₅; 钾肥——40~250公斤K₂O。近来又呈现了增加施肥量的趋势。

向土壤中施加微量元素肥料的量是很少的。例如, 为使沼泽地和石灰质土壤上的亚麻纤维和籽实增产30%, 每公顷只需施入0.5公斤的硼。

①表中所列数据为平均值。作物增产情况因土质、气候条件、肥料质量、耕作技术的差异而有所不同。

微量元素肥料不一定使用微量元素(如铜、锰、锌、硼等)的纯盐, 可使用含有这些微量元素的天然矿物或工业废料。例如, 含有铜和其他金属的黄铁矿渣、硼化物生产中的含铜废料、精选锰矿石所得的矿泥等, 都可用做微量元素肥料。在大量土地上撒布少量的微量元素肥料是很不容易的。因此, 在生产主要肥料的过程中常将微量元素肥料掺入其中。倘若以纯盐作为微量元素肥料, 一般都不直接施入土壤, 而是采用浸种方式或配成水溶液喷洒到作物上(即根外施肥), 因为作物只能从土壤中吸收到很少的一部分。

由于土壤气候条件以及栽种的作物品种不同, 不仅需要大量的肥料, 而且要求多种肥料。所以, 将氮、磷、钾以及其他肥料制成不同类型的盐和盐的混合物, 其中所含营养元素的形态不同, 且数量也不相等。

无 机 肥 料 的 分 类

肥料系根据其来源、用途、组成、性质、制取方法等进行分类。

根据肥料的来源, 可分为无机肥料、有机肥料、有机-无机混合肥料和细菌肥料。无机肥料或人造肥料, 主要是些无机盐类, 其中也包括尿素。这些肥料都由无机化工厂专门生产。有机肥料中的营养元素主要(但不是唯一)呈有机化合物的形式, 而且通常都是来源于自然界(如人畜粪便、泥炭、稻草等)。有机-无机混合肥料系有机肥料和无机肥料的混合物。细菌肥料含有土壤中有益细菌的培养基, 藉这类细菌的作用可促使土壤中可吸收形态的营养元素积聚起来。

根据施肥的时间，肥料可分为播种前使用的基肥，播种时使用的肥料（如施到垅上）以及在作物生长期使用的追肥。

根据营养元素的种类（见表3），又分为氮肥、磷肥（或磷酸盐肥料）、钾肥、镁肥、硼肥等。只含微量元素的肥料，统称微量元素肥料。

从农业化学的意义上讲，肥料可分为直接肥料和间接肥料。前者是作物营养元素的直接来源；后者则用以改善土壤的物理、化学和生物学性质，使土壤中的营养物质发生作用（例如：为中和土壤的酸性而施加石灰，为改良土壤而施加石膏，等等）。

直接肥料和间接肥料的划分在一定程度上乃是人为的，因为所有直接肥料都有间接作用，而间接肥料中的一些元素也或多或少地被作物利用作为营养元素。

直接无机肥料可含有一种或几种营养元素。三种主要的营养元素（氮、磷和钾）在临播种前的用量最多。根据肥料中所含营养元素的情况，又分为单一肥料和复合肥料。单一肥料只含一种主要元素；而复合肥料则含有两种或多种营养元素。复合肥料按其所含主要营养元素的数目，又可分为二元的（例如磷-钾型）和三元的（例如氮-磷-钾型）；三元肥料又叫全效肥料。肥料中如有大量营养元素，而只含少量的无效物质，叫做高浓度肥料。如果其中的所有组分都可作为作物的养分，则称为高效肥料，如像 KNO_3 、 NH_4NO_3 等的盐类及其阳、阴离子都含有营养元素，就属于这类肥料。高浓度肥料与高效肥料的肥效很高，而其运输费用却比其他肥料便宜。采用单效和三效肥料这些术语，是指在肥料里含有一种、两种或三种主要营养元素氮、磷和钾，或者一般地说，系指含有要施入土壤作为肥料的那些营养元素而言；至于其他元素，虽然也会被作物所吸收，但分类时不予考虑。

肥料按其结构可分为单一肥料、混合肥料及复合肥料。含有一种形态的营养元素的肥料称为单一肥料（例如 NaNO_3 中的N）。用机械方法混合不同类型的数种无机肥料而成的混合物称为混合肥料。如果在工厂里进行化学反应而制得的含有几种营养元素的肥料，则称为复合肥料。

复合肥料由含有几种形态的营养元素的均匀颗粒组成。肥料之分为混合肥料和复合肥料，在相当大程度上是相对的。混合肥料在贮存过程中由于其中各个组分间发生化学反应而变成复合肥料的情况，是并不少见的。有时称“湿式混合”而成的肥料为复混肥料。所谓“湿式混合”，是指固态产品同液态产品（熔融物、溶液）相混合而使混合物固化的过程，该过程并伴随有再结晶及其他过程。（这种肥料在苏联以外的国家叫做湿混合肥料）。

在复合肥料中营养物质的含量和它们之间的比例是不相同的。所含营养物质的比例和作物需要量相符的（对一定作物和土壤而言）肥料称为均衡性肥料。

按肥料的物态又可以分为固体肥料、液体肥料（如氨水溶液和悬浮态肥料）和气体肥料，在室内栽培时可以使用气体肥料（如二氧化碳）。

作物对肥料的利用程度，取决于肥料的溶解度及土壤的性质，首先是土壤溶液中氢离子的浓度。例如，有的土壤具有某些能促使作物从实际上不溶于水的磷酸三钙中吸取 P_2O_5 的性质，特别是从它的细分散变态体——磷灰石粉和骨粉中吸取 P_2O_5 。（虽然是很缓慢的）。作物从各类磷肥中吸取 P_2O_5 所必需的土壤溶液的氢离子浓度值是各不相同的。判别 P_2O_5 吸收程度的方法是，测定磷酸盐化合物在柠檬酸铵的氨溶液（彼得曼试剂），即人工合成的同土壤溶液酸度相近的溶液，以及2%的柠檬酸溶液中的溶解度。可以应用0.05N的硫酸溶液和H-阳离子交换剂测定有效 P_2O_5 。在畜牧业中饲料用磷酸盐中的有效磷，可根据其在0.4%的盐酸溶液中的溶解度来测定（见后）。

表 3 一些最重要的无机肥料〔7、24、25〕

名 称	主 要 组 分	基本营养元素含量	容重①, 吨/米 ³
磷		肥	
普通过磷酸钙 (粉状)	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{CaSO}_4$	14~21% P_2O_5	1.1~1.2
普通过磷酸钙 (粒状)	同 上	19.5~21% $\text{P}_2\text{O}_5\text{N}$	1.1
富过磷酸钙	同 上	28~32% P_2O_5	1.1
重过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4$	38~50% P_2O_5	0.9~1.1
沉淀磷肥	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	27~46% P_2O_5	0.8~0.85
磷矿粉	$\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$	16~25% P_2O_5	1.7~1.8
骨 粉	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaCO}_3$	30% P_2O_5	0.86
钢渣磷肥 (托马斯炉渣或马丁炉渣)	$4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$	14~20% P_2O_5	2.01~2.05
热法磷肥	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$	20~35% P_2O_5	1.7
熔融磷肥	$4(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 5(\text{Ca}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$	20~35% P_2O_5	
脱氯磷肥	$3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	20~38% P_2O_5	
偏磷酸钙	$\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	65~70% P_2O_5	
氮		肥	
液 氨	NH_3	82.3% N	0.61
氨 水	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	16.5~20.5% N	0.91~0.92
硝酸铵	NH_4NO_3	31~35.0% N	0.8~1.1
硫酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	20.5~21% N	0.7~0.95
硫酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3$	25~27% N	0.8~1.2
硝酸钙铵	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	16~20.5% N	1~1.2
硝酸钠	NaNO_3	16.1% N	1.1~1.4
硝酸钙	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	13~15% N	0.9~1.1
氯化铵	NH_4Cl	24.5~25% N	0.6~0.8
碳酸氢铵	NH_4HCO_3	18% N	
氰氯化钙	$\text{CaCN}_2 + \text{C}$	18~23% N	0.6~0.61
尿 素	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	42~46.6% N	0.65~0.91
尿甲醛	NHCONHCH_2	33~42% N	
钾		肥	
氯化钾	KCl	50~62% K_2O	0.73~1.17
30~40%的钾盐	$\text{KCl} + \text{NaCl}$	30~40% K_2O	0.94~1.2
钾石盐粉	$\text{KCl} + \text{NaCl}$	12~15% K_2O	1.07~1.1
光卤石粉	$\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	12~13% K_2O	0.99~1.06