



稀土农用的 理论与技术

徐本生 陈宝珠 张慎举 主 编



河南科学技术出版社

稀土农用的理论与技术

徐本生 陈宝珠 张慎举 主编

河南科学技术出版社

豫新登字02号

内 容 提 要

稀土农用是我国近年来的重大科技成果,本书较系统地总结了这方面的成就。全书共12章,着重介绍了稀土元素的概念、生理功能,土壤中稀土元素含量和有效性,稀土制剂的成分性质与施用技术,稀土在粮食作物、油料作物、经济作物、瓜菜类作物及在林果业上的施用技术与效果,稀土在畜牧业、养殖业上的应用,以及稀土的毒理与辐射研究等。本书知识性与实用性并重,可供农业科研人员及广大农民阅读使用。

稀土农用的理论与技术

徐本生 陈宝珠 张慎举 主编

责任编辑 张 鹏

河南科学技术出版社出版发行

(郑州市农业路73号)

河南省荥阳高中印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 8.4印张 200千字

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

印数: 1—3000册

ISBN7-5349-1396-9/S·356

定价: 5.50元

主 编 徐本生 陈宝珠 张慎举

其他编写人员

王清义 谭金芳 王文亮 许进堂

郭青峰 成立群 张立秀 常 萍

张锁成 王顶杰 朱安民 王群杰

王继方 张纯贵 荆自忠 苏永林

前 言

近年来我国稀土工业发展迅速，已由世界第一稀土资源国进入第一稀土生产国，产品结构也发生了很大变化。稀土在工业上用途广泛。主要用于冶金、石油、化工、玻璃、陶瓷、电子、轻工和发光材料等工业部门。

稀土在农业中的应用，是我国近年来科技工作的一个重大成果。国外有关稀土农用的研究报道甚少。我国稀土农用的研究和开发工作始于70年代。国家非常重视这项工作，并被列入“六五”、“七五”重大科技攻关课题。经过全国稀土农用协作网近60个单位，多学科联合科技攻关，我国稀土农用在“六五”末期已经取得重大技术突破。提供研究报告200余篇，有20多项成果通过鉴定。在稀土农用的生理功能，土壤中稀土元素含量、有效性，稀土农用的技术与效果，毒理卫生学等方面都取得了丰硕成果。肯定了稀土农用的增产、增质和提高作物抗逆性的效果，为稀土农用产品——“常乐”（原名“农乐”）的实际应用提供了科学依据。在“七五”期间“稀土农用机理研究”也取得了重要进展。研究的作物种类增多，进一步探明了稀土的增产机理。同时还开辟了“稀土在养殖业上的应用研究”、“林牧业用稀土化合物的应用研究”两个新课题。这都为稀土在我国农业上推广应用提供了依据。

我国大量试验证明，每亩施用稀土产品“常乐”30~50g，进行拌种或喷施可获明显的增产效果。水稻平均增产8%；小麦增

产6~15%；花生增产10%以上；茶叶增产10~20%；烟叶增产10%以上，上等烟提高15%；各种水果含糖量增加，着色快，甜酸适度，保鲜时间长，经济效益显著提高；大白菜亩增产500~1000kg；辣椒、四季豆增产10~20%，且提早成熟。稀土氧化物无毒、可溶性稀土盐类属于低毒物质，微量稀土对植物、动物、人类和环境均无害。经多年毒理学、卫生学的研究和放射性检测，证明使用“常乐”安全可靠。稀土农用技术简便可行，成本低，经济效益显著，有实际应用价值。

河南省稀土农用研究工作始于1982年，在全省29个县、市进行试验，肯定了稀土对小麦、烟草、花生、大豆、棉花、蔬菜、水果、茶叶、大枣、养鸡、养蚕的增产效果，并获得了较好的经济效益与社会效益。河南省商丘稀土微肥示范厂是我国稀土农用技术开发中心的定点厂家，为我国稀土农用技术的推广起了重要作用。

为了更好地推广稀土农用的科研成果，我们组织有志于稀土研究、推广工作的同志，共同编写了《稀土农用的理论与技术》一书，奉献给农业科技工作者及广大农民。署名人员均参与了部分章节的编写工作，最后由主编修改、定稿。本书在编写过程中得到河南省计经委科技处、河南省农牧厅土肥站的大力支持，特致谢意。因受篇幅限制，本书引用的资料未能一一注明出处，特致歉意。由于水平所限，书中不妥之处，敬请本书参阅者不吝指正。

编者

1993年7月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 稀土元素概述	(1)
一、稀土元素的物理、化学性质	(8)
二、稀土资源状况	(4)
第二节 稀土在农业中的应用	(5)
一、国内外稀土农用研究概况	(5)
二、稀土在农业上的应用效果	(7)
三、河南省稀土农用研究推广状况	(9)
四、稀土农用前景展望	(10)
第三节 稀土在工业上的应用	(11)
第二章 稀土元素的生理功用	(13)
第一节 作物体内稀土元素的含量与分布	(14)
一、作物体内稀土元素含量	(14)
二、稀土元素在作物体中的分布	(19)
第二节 稀土元素对植物生长的影响	(22)
一、促进作物种子萌发	(22)
二、促进幼苗及植株生长	(25)
三、改善作物经济产量性状及产品品质	(25)
第三节 稀土元素对植物根系的影响	(27)
一、促进植物生根及根系生长	(27)
二、增强根系活力	(29)
三、促进根系对养分的吸收	(31)
第四节 稀土元素对植物光合作用的影响	(32)

一、提高叶绿素含量·····	(33)
二、提高光合面积·····	(35)
三、提高光合作用强度·····	(37)
四、促进光合产物向经济产量部分运转·····	(38)
第五节 稀土元素对植物的其它生理功用·····	(39)
一、稀土对植物氮素营养的影响·····	(39)
二、稀土对酶的影响·····	(40)
三、稀土增强植物抗逆性的效应·····	(40)
第三章 土壤中的稀土元素·····	(45)
第一节 自然界中的稀土元素·····	(45)
一、自然界中稀土元素的含量·····	(45)
二、稀土矿物·····	(47)
三、河南省主要岩石及母质中的稀土元素·····	(49)
第二节 土壤中的稀土元素·····	(52)
一、我国土壤中的稀土元素·····	(52)
二、河南省土壤中的稀土元素·····	(52)
三、土壤稀土元素总量的剖面分布·····	(55)
四、土壤中稀土元素的种类特征·····	(57)
第三节 土壤中稀土元素的有效性·····	(58)
一、可溶态稀土元素·····	(58)
二、影响稀土元素有效性的因素·····	(58)
三、河南省土壤可溶性稀土含量状况·····	(60)
第四章 稀土农用技术·····	(64)
第一节 农用稀土产品的成分与性质·····	(64)
一、农用稀土产品的生产与成分·····	(94)
二、稀土化合物的性质·····	(67)
第二节 稀土的有效施用条件·····	(68)
一、土壤因子与稀土施用效果·····	(69)

二、作物种类与稀土施用效果·····	(70)
三、其它因子与稀土施用效果·····	(71)
第三节 稀土的施(饲)用方法与用量·····	(73)
一、稀土在农作物上的施用方法·····	(73)
二、稀土在畜牧业上的应用方法·····	(76)
第五章 粮食作物施用稀土的技术与效果·····	(79)
第一节 小麦·····	(79)
一、稀土对小麦的生理功用·····	(79)
二、小麦施用稀土的增产效果·····	(82)
三、小麦施用稀土技术及有效条件·····	(84)
第二节 水稻·····	(86)
一、稀土对水稻的生理功用·····	(89)
二、水稻施用稀土的增产效果·····	(90)
三、水稻施用稀土技术·····	(91)
第三节 玉米·····	(93)
一、稀土对玉米的生理功用·····	(93)
二、玉米施用稀土的增产效果·····	(96)
三、玉米施用稀土技术·····	(97)
第四节 红薯·····	(99)
一、红薯施用稀土的增产效果·····	(99)
二、稀土对红薯生长发育的影响·····	(99)
三、稀土施用技术·····	(100)
第六章 油料作物施用稀土的技术与效果·····	(102)
第一节 花生·····	(102)
一、稀土对花生的生理功用·····	(102)
二、稀土施用技术·····	(104)
三、稀土对花生的增产效果·····	(105)
第二节 大豆·····	(107)

一、稀土对大豆生长发育的影响·····	(107)
二、稀土施用技术·····	(108)
三、稀土对大豆的增产效果·····	(109)
第三节 油菜·····	(110)
一、稀土对油菜的增产效果·····	(110)
二、稀土对油菜的生理功用·····	(111)
三、稀土施用技术·····	(112)
第四节 芝麻·····	(114)
一、稀土对芝麻的增产效果·····	(114)
二、稀土对芝麻生长发育的影响·····	(114)
三、稀土施用技术·····	(115)
第七章 经济作物施用稀土的技术与效果·····	(117)
第一节 棉花·····	(117)
一、稀土对棉花的生理功用·····	(117)
二、棉花施用稀土技术与有效条件·····	(122)
三、棉花施用稀土的效果·····	(125)
第二节 烟草·····	(126)
一、稀土对烟草的生理功用·····	(126)
二、烟草施用稀土技术与有效条件·····	(128)
三、烟草施用稀土的效果·····	(130)
第三节 甘蔗·····	(131)
一、稀土对甘蔗的生理功用·····	(132)
二、甘蔗施用稀土的技术·····	(134)
三、甘蔗施用稀土的效果·····	(136)
第八章 瓜菜类作物施用稀土的技术与效果·····	(138)
第一节 蔬菜施用稀土的技术与效果·····	(138)
一、大白菜施用稀土的技术与效果·····	(139)
二、番茄施用稀土的技术与效果·····	(142)

三、黄瓜施用稀土的技术与效果	(146)
四、辣椒施用稀土的技术与效果	(149)
五、萝卜施用稀土的技术与效果	(152)
六、菜花施用稀土的技术与效果	(153)
七、大蒜施用稀土的技术与效果	(154)
八、稀土在其它蔬菜上的试验效果	(156)
第二节 西瓜施用稀土的技术与效果	(158)
一、施用稀土对西瓜生长的影响	(159)
二、西瓜施用稀土的增产效果与经济效益	(159)
三、西瓜施用稀土技术	(161)
第三节 食用菌施用稀土的技术与效果	(161)
一、施用稀土对食用菌生长的影响	(162)
二、食用菌施用稀土的增产效果	(165)
三、稀土在食用菌中的残留状况	(167)
四、食用菌施用稀土技术	(167)
第九章 林果业施用稀土的技术与效果	(169)
第一节 林业苗木施用稀土的技术与效果	(169)
一、杨树苗施用稀土的技术与效果	(169)
二、泡桐苗施用稀土的技术与效果	(170)
三、落叶松施用稀土的技术与效果	(171)
四、马尾松苗施用稀土的技术与效果	(171)
五、板栗苗施用稀土的技术与效果	(171)
第二节 果树施用稀土的技术与效果	(172)
一、苹果施用稀土的技术与效果	(173)
二、葡萄施用稀土的技术与效果	(177)
三、枣树施用稀土的技术与效果	(180)
四、山楂树施用稀土的技术与效果	(182)
五、猕猴桃施用稀土的技术与效果	(185)
六、核桃树施用稀土的技术与效果	(187)

七、稀土在梨树、茶树、桑树上的应用·····	(188)
第十章 稀土在畜牧业上的应用 ·····	(191)
第一节 稀土与养禽业·····	(191)
一、稀土在家禽日粮中的添加量与使用方法·····	(191)
二、肉鸡、肉鸭日粮中添加稀土的增产效果·····	(192)
三、蛋鸡、蛋鸭日粮中添加稀土的增产效果·····	(193)
四、稀土对家禽理化指标的影响·····	(194)
五、稀土对鸡肉质成分的影响·····	(197)
六、稀土对鸡饲料消化率的影响·····	(197)
七、稀土元素在禽体的蓄积量·····	(198)
第二节 稀土与养猪业·····	(199)
一、稀土在猪日粮中的添加量及使用方法·····	(199)
二、稀土对猪生长发育的影响及经济效益分析·····	(200)
三、稀土对猪胴体品质的影响·····	(201)
四、稀土对猪血液主要理化指标的影响·····	(201)
五、稀土对猪日粮消化率的影响·····	(202)
六、稀土在猪体内的蓄积量·····	(203)
七、稀土在猪体内的卫生学评价·····	(204)
第三节 稀土与草食家畜·····	(205)
一、稀土在草食家畜日粮中的添加量与使用方法·····	(205)
二、稀土与养兔业·····	(205)
三、稀土与养牛业·····	(208)
四、稀土与养羊业·····	(210)
五、稀土在草食家畜机体内的蓄积及卫生学评价·····	(211)
第四节 稀土与牧草·····	(213)
一、稀土施用的浓度和时期·····	(213)
二、稀土对牧草生长发育的影响·····	(214)
三、稀土对牧草产量和品质的影响·····	(216)
四、稀土对牧草光合作用的影响·····	(218)

五、稀土对豆科牧草根瘤菌的影响·····	(218)
第十一章 稀土在养殖业中的应用 ·····	(221)
第一节 稀土与养鱼业·····	(221)
一、稀土在养鱼业中的使用剂量与方法·····	(221)
二、稀土对鱼类生长的影响·····	(222)
三、稀土对鱼类饲料效率等指标的影响·····	(223)
四、稀土与鱼病防治·····	(224)
五、稀土对鱼类品质的影响·····	(227)
六、稀土养鱼的卫生学评价·····	(228)
第二节 稀土与养蚕业·····	(229)
一、稀土在桑蚕生产中的应用·····	(229)
二、稀土在柞蚕生产中的应用·····	(235)
第十二章 稀土的毒理与放射性研究 ·····	(240)
第一节 稀土的毒理研究及评价·····	(240)
一、农用稀土化合物的毒性·····	(241)
二、农用稀土的致突变效应和致畸效应·····	(247)
三、农产品中稀土的含量·····	(250)
第二节 稀土的放射性研究及评价·····	(253)

第一章 绪 论

第一节 稀土元素概述

我国稀土工业近年来发展迅速，已由世界第一稀土资源国进入第一稀土生产国，并且也是世界主要稀土消费国之一。稀土的应用极其广泛，几乎涉及到工农业生产的各个领域。近年来，应用稀土的新产品、新工艺日益增多，并取得了良好的技术经济效益。我国稀土在农业上的应用研究始于70年代初，并被列为国家“六五”、“七五”期间重大科技攻关课题。开展了稀土农用的多学科综合研究，并在一些地区进行了推广，为我国农林牧业生产提供了一项新技术。

稀土是一个古老的名称。稀土元素自18世纪末叶开始被陆续发现。当时人们习惯于把不溶于水的固体氧化物称为“土”，例如把氧化镁 (MgO) 称为苦土，把氧化铝 (Al_2O_3) 称为陶土等。稀土是以氧化物状态分离出来的，量较少，因而取名“稀土”。稀土的英文写法是Rare Earth,故习惯用“R”或“RE”为代号表示稀土元素。

稀土元素是位于化学元素周期表中ⅢB族的一组元素。包括钪、钇和镧系的15个元素，共17个元素。单个稀土元素的原子序数、名称及元素符号是：21钪 (Sc)、39钇 (Y)、57镧 (La)、58铈 (Ce)、59镨 (Pr)、60钕 (Nd)、61钷 (Pm)、62钆

(Sm)、63 铕 (Eu)、64 钆 (Gd)、65 铽 (Tb)、66 镝 (Dy)、67 铈 (Ho)、68 铒 (Er)、69 铥 (Tm)、70 镱 (Yb)、71 镱 (Lu)。

发现稀土元素的历史是漫长的。从1794年芬兰化学家加多林 (J. Gadolin) 发现钇, 到1947年美国马林斯基 (J. A. Marinsky) 从铀裂变中得到铀, 共经历了150多年 (表1—1)。20世纪60年代以前, 人们一直认为自然界中没有“铀”的存在, 是人工合成元素。1965年荷兰人在处理磷矿石时, 发现了铀, 改变了人们认为自然界中只存在16种稀土元素的想法。在这漫长的发现

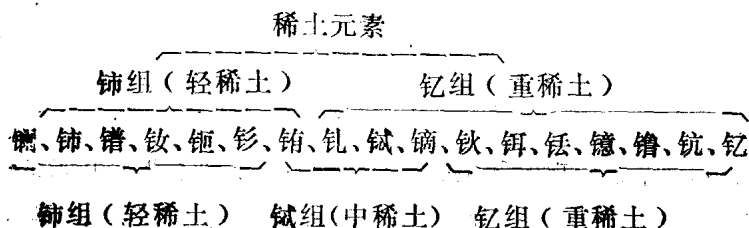
表1—1

稀土元素发现简史

时 间	元素名称	发 现 者
1974年	钇	加多林 (芬兰)
1803年	铈	克劳普罗斯 (德) 伯齐力乌斯 (瑞典)
		希生格尔 (瑞典)
1839年	镧	莫桑德 (瑞典)
1841年	铈铈混合物	莫桑德 (瑞典)
1843年	铽、铒	莫桑德 (瑞典)
1878年	镱	马里格纳克 (瑞士)
1879年	钐	尼尔森 (瑞典)
	铈	克利夫 (瑞典)
	铈	克利夫 (瑞典)
	钐	博依斯布兰德 (法)
1880年	钐	马里格纳克 (瑞士)
1885年	铈、铈	韦尔斯巴赫 (奥地利)
1886年	镧	博依斯布兰德 (法)
1901年	铈	德马克 (法)
1905年	铈	尤贝思 (法)
1947年	铀	马林斯基等 (美)

稀土元素在自然界中并不稀少。据分析, 17种稀土元素占地壳总重量的0.0153%。就单一元素而言, 铈最多, 其克拉克值(表示某一元素在地壳中的重量百分比)为0.0046%, 与常见的锌元素差不多。钪为0.0028%, 镧为0.0018%, 比铅元素还要多。总的概念是: 稀土元素在地壳中的含量与铜、铅、锌不差上下, 比锡、钴、银、汞等元素高得多。过去说稀土元素稀缺贵重, 是因稀土元素发现较晚, 加之当时分离技术所限, 难以制取纯品之故。近年来稀土生产与应用有了巨大进展, 1987年世界稀土产量(按氧化物计)已达4.5万吨。所以说稀土并不稀少。

稀土元素可从不同的角度进行分组，稀土元素的性质是递变的，分组的方法也是相对的，且分界线并不严格。常见的分组方法如下：



• 3 •

相同，最外层都是 $6S^2$ 。他们与别的元素化合时，通常都是失去最外层的两个S电子和次内层的一个d电子，故原子价是3价，这是稀土元素的共性。但有时如铈、镨、铽也可氧化成4价，钐、镱也可还原成2价。这些价数的变化对稀土产品制取很有用处。

稀土元素是典型的金属元素。其金属活泼性仅次于碱金属（如锂、钾、钠、铷等）和碱土金属（铍、镁、钙、钡等）。按金属活泼顺序排列，由钪、钇至镱是递增的，在镱系元素中，由镱、铥、镨、钕……以至镱则是递减的。由此可知，在稀土元素中镱的金属活泼性最大。

稀土金属是银灰色，质地较软，表面有光泽，延展性好，是超良导体，具有顺磁性，且有多种色光，是良好的发光、激光和着色材料，是光、电、气、热等传感功能材料。

稀土金属的化学性质十分活泼。几乎和所有的非金属都起作用，生成稳定的氧化物、卤化物、硫化物、氮化物、氢化物和碳化物。稀土金属有较强的还原性，是良好的还原剂。能将铁、钴、镍、铬、钒、铌、钽、钼、钛、锆等元素的氧化物还原成金属，稀土金属在稀的盐酸、硝酸和硫酸中能生成相应的稀土盐，并放出氢。稀土不属放射性物质。

二、稀土资源状况

自然界中已发现的稀土矿物有250多种，而具有工业开采价值的有10多种。重要的稀土矿物有：氟碳铈镧矿、独居石、磷钇矿、离子吸附型稀土矿等。目前世界上已公布的稀土工业贮量约7000万吨（氧化物计）。国际上，美国贮量约507万吨、印度300万吨、巴西57万吨、澳大利亚42万吨，原苏联45万吨，其它都不足10万吨。