

李燕婷 肖 艳 编著
李秀英 赵秉强

作物叶面施肥 技术与应用



科学出版社
www.sciencep.com

作物叶面施肥技术与应用

李燕婷 肖 艳 李秀英 赵秉强 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书从植物营养与施肥、叶面施肥机理与应用特点、叶面施肥效果的影响因素、表面活性剂在叶面肥中的应用等方面全面系统地介绍了叶面施肥的营养机理、叶面施肥技术与叶面肥的发展、生产和应用的理论和知识,通过介绍包括粮食作物、蔬菜作物、经济作物和果树在内的 28 种主要作物生产中叶面施肥技术的应用阐述了叶面施肥技术在农业生产中的作用和重要性。从我国生产和应用的实际出发,评述了我国叶面肥的生产、应用技术现状和存在的问题,对我国叶面肥今后研究和应用的发展提出了展望和建议。

本书内容新颖、全面、实用,理论联系实际,具有较高的指导性和可操作性。可供农业技术人员和广大农业生产者查阅。对研制新型肥料的科研人员以及大专院校有关专业的研究人员也具有较高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

作物叶面施肥技术与应用/李燕婷等编著. —北京:科学出版社, 2009
ISBN 978-7-03-023228-1

I. 作 II. 李… III. 作物-叶-施肥 IV. S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 162247 号

责任编辑:夏 梁/责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 3 月第一次印刷 印张: 17 3/4

印数: 1—1 000 字数: 358 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

植物不仅通过根部吸收各种必需养分，还可通过地上部（如茎、叶）吸收一些可溶性养分。因此，可用喷施的方式通过叶片供给植物所需的营养物质，称为叶面施肥（也称根外追肥），这是人们认识植物叶面营养规律的重大突破。一般可溶性的大量营养元素（氮、磷、钾）及各种中、微量元素化学肥料都可用于叶面施肥。其突出特点是针对性强、肥效快、用肥量少、增产效果显著，并可避免土壤对某些养分的固定作用，提高养分利用率，经济高效，尤适于微量元素肥料的施用，特别是在土壤环境不良，如因土壤水分过多或干旱，土壤过酸或过碱等因素而造成的根系吸收作用受阻，或作物缺素急需补充营养、生长后期根系吸收能力衰退时，采用叶面施肥可弥补作物根系吸收养分的不足而取得较好的增产效果。但是，由于受叶面养分吸收量的限制，叶面施肥只能作为土壤施肥的辅助措施，而不能完全代替土壤施肥，尤其是大量元素氮、磷、钾，作物主要还是依靠根系吸收。所以，只有在一定的土壤施肥基础上，才能更好地发挥叶面施肥的作用与效果。

叶面施肥是在人们认识植物叶面营养吸收规律的基础上产生的，而叶面肥料的生产与应用也促进了人们对叶面营养规律的研究和认识，并且叶面肥料也是发展持续农业和新型肥料开发与应用的客观要求。高产、优质、低成本是现代农业的主要目标，要求一切农业技术措施（包括施肥）经济易行。实践证明，叶面施肥是肥效迅速、肥料利用率高、用肥量少的一种施肥技术。叶面施肥打破了根部土壤施肥的传统方式，是构筑“立体施肥”模式的重要元素，是最灵活、便捷的施肥方式，是突破传统施肥的一次革命。

虽然长期以来，叶面肥料作为一种小肥料一直于大化肥的夹缝中求生存，但由于叶面施肥具有养分吸收快、可及时补充作物对缺乏养分的需求、配方设计灵活等特点，成为在一定的土壤施肥基础上，进一步提高作物产量、改善品质的有效手段。随着施肥技术的发展，叶面施肥作为强化作物的营养和防治某些缺素病状的一种施肥措施而得到迅速推广和应用。

我国叶面肥料的研究和应用相对来说发展较晚，前苏联和美国等发达国家于 20 世纪 20 年代就开始研制和应用叶面肥料，日本和西欧也于 60 年代相继出现了商品叶面肥，而我国叶面肥料的商品化一般认为始于 20 世纪 80 年代。二十多年来，我国叶面肥料的生产应用得到了巨大的发展，从简单的营养补充发展到通

过叶面营养调控强化作物自身抗逆性能，叶面施肥逐渐成为农业生产中一项不可缺少的技术措施，对农业生产的发展做出了巨大的贡献。

特别是近年来，我国叶面肥生产发展很快。据不完全统计，目前我国涉及叶面肥料生产的企业多达 3000~4000 家，产品种类名目繁多，市场竞争激烈。但我国叶面肥产品总体说来技术含量不高、质量较差、缺乏知名品牌，给叶面肥市场造成一定的混乱，也给农民选购带来不少麻烦。随着我国新型肥料的开发以及农田施用面积逐年扩大，叶面肥料的开发与应用也取得了明显的发展。但是相对来说，对叶面施肥技术的基础性研究还不够，在肥料配方的筛选方面存在随意性，产品中所含养分的种类、比例及含量等也并非根据作物、土壤、环境等条件而制定，致使肥料施用针对性比较差，严重影响了叶面喷施效果。因此，急需加大科研力度，促进我国叶面施肥技术的发展，使之走上正规化、科学化的轨道，在农业生产中发挥越来越大的作用。

本书编著者自“十五”以来，相继承担了国家“863”计划“环境友好型肥料研制与产业化”和国家科技支撑计划“复合（混）肥养分高效优化技术研究”、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“高效叶面肥配方及其应用技术研究”等新型肥料研究课题。在研究过程中，对叶面肥及其使用进行了专门研究。目前我国有关叶面肥和叶面施肥技术的研究还很薄弱，在调研和与广大农民朋友的交谈中发现，生产中急需有关叶面肥和叶面施肥技术的信息和资料。鉴于此，我们结合自己的研究成果，系统总结了我国有关叶面肥方面的最新研究资料，编著了本书。希望本书能在我国叶面肥料的发展和应用中，对人们正确认识叶面肥料和科学合理地应用叶面施肥技术具有一定的参考和指导作用。

本书内容共分六章，前四章系统地介绍了叶面施肥的营养机理、叶面施肥技术与叶面肥的发展、生长和应用等方面的知识和理论，为叶面施肥技术的合理应用与推广奠定了理论基础；第五章以 28 种主要或常见作物为例，介绍了叶面施肥技术在农业生产中的应用。因只有在一定土壤施肥的基础上才能最大程度发挥叶面施肥的效果，故在本章中，不仅介绍了 28 种常见作物的叶面施肥技术，而且还介绍了各自的养分需求特点和土壤施肥技术，对其中任何一种作物都是独立、全面的施肥技术论述，这是本书的一大特点；第六章总结了我国叶面肥料生产应用技术的现状，包括叶面肥料产品分类与生产及应用的研究现状，分析了我国叶面施肥技术应用发展与国际研究的差距，对今后叶面肥的发展应用前景进行了展望。

特别需要说明的是，编写叶面施肥技术在农业生产中的应用一章（第五章）时，考虑到作物品种以及区域、土壤和气候等因素的不同，介绍的是 28 种常见作物在一般情况下的施肥（包括土壤施肥和叶面施肥）技术，因此，在具体应用

时应根据当地的气候、土壤和作物品种以及产量要求等实际情况进行适当调整。
同时在此对书中所引用相关资料的作者深表谢意。

由于编写较仓促，加上我们的水平有限，书中的缺点、错误或不当之处在所难免，敬请专家、同行及广大读者给予批评指正。

编著者

2008年9月

目 录

前言

第一章 作物营养与施肥	1
第一节 作物的需肥特性	1
一、作物必需营养元素与有益元素	1
二、作物对各种营养元素的需要特点和平衡原则	4
三、作物的需肥特点	4
第二节 作物对养分的吸收	6
一、根部对养分的吸收与土壤施肥	6
二、叶部对养分的吸收与叶面施肥	7
第三节 作物施肥的最佳时期	7
一、作物营养临界期	8
二、作物营养最大效率期	9
第四节 施肥在农业中的效应	10
一、施肥对作物的效应	10
二、施肥对土壤及环境的效应	11
三、施肥对土壤-作物系统中营养元素变化的效应	12
第五节 发展和利用新型肥料	12
第二章 叶面施肥机理与叶面肥料	14
第一节 叶面施肥与叶面肥料应用	14
一、叶面施肥的含义	14
二、叶面施肥和叶面肥料应用的发展	15
第二节 叶面施肥的作用机理	16
一、叶面养分吸收机理	17
二、叶片对养分的吸收与运输	18
第三节 可用作叶面施肥的肥料种类	19
一、氮肥类	20
二、磷钾肥类	23
三、中量元素化肥类	25
四、微量元素化肥类	30
五、有益元素肥料	38
第四节 叶面施肥的特点	39

一、叶面施肥的优点	39
二、叶面施肥的不足与问题	42
第三章 叶面施肥效果的影响因素	44
第一节 植物因素对叶面施肥效果的影响	44
一、叶片类型与叶龄及叶位对叶面养分吸收的影响	44
二、作物营养状况及生育时期对叶面养分吸收的影响	46
第二节 叶面肥料的组成与性质对叶面施肥效果的影响	47
一、肥料的种类与性质对叶面施肥效果的影响	47
二、养分的形态、种类组成与浓度对叶面施肥效果的影响	47
三、肥料溶液的酸碱性质对叶面施肥效果的影响	51
四、助剂对叶面施肥效果的影响	52
五、有机活性物质对叶面施肥效果的影响	55
第三节 环境条件对叶面施肥效果的影响	64
一、温度	65
二、光照	65
三、湿度	65
四、土壤养分	66
第四节 叶面肥使用技术对叶面施肥效果的影响	66
一、肥料品种的选择	66
二、喷施浓度	68
三、施用时期	69
四、喷施时间	70
五、喷施部位	71
六、喷施次数	71
七、混用喷施要得当	72
八、与土壤施肥相结合	73
第四章 表面活性剂在叶面肥中的应用	74
第一节 表面活性剂的应用原理	74
一、概述	74
二、表面活性剂的类型及其作用原理	75
三、表面活性剂影响叶面养分吸收作用效果的因素	78
四、表面活性剂复合与协同效应	82
五、新型高效表面活性剂的开发与应用	82
第二节 叶面肥中表面活性剂的选择与应用	84
一、根据作物种类及叶面性质选择合适的表面活性剂	85
二、根据表面活性剂的性质选择	86

三、选择利用高效复合型表面活性剂	87
四、表面活性剂复配体系内各组分比例的确定	88
第五章 叶面施肥技术在农业生产中的应用	90
第一节 叶面施肥技术在农业生产中的应用意义	90
一、农业生产实践对叶面施肥技术的需求	90
二、叶面施肥在农业生产中的实践意义与应用效果	91
三、作物的中、微量元素营养与叶面施肥效应	94
第二节 主要作物的叶面施肥技术与方法	105
一、粮食作物	105
二、蔬菜作物	119
三、经济作物	157
四、果树	189
第六章 我国叶面肥料生产应用技术现状	236
第一节 我国叶面肥料产品分类与生产	236
一、产品分类	236
二、国家对叶面肥料的管理	248
三、叶面肥料产品原料选择与生产工艺概述	251
第二节 我国叶面肥生产与应用研究现状	254
一、叶面肥料生产与应用现状概述	255
二、叶面肥料产品市场状况	259
第三节 叶面肥发展与应用前景展望	261
参考文献	264
资助项目	271

第一章 作物营养与施肥

第一节 作物的需肥特性

作物一生，从种子萌发、生根发芽到开花结实，称为一个生长发育周期。在作物整个生长发育周期中，除了需要一定的光照、水分、空气和热量（温度）外，还需要从外界获得各种营养物质，即养分。作物的正常生长需要多种养分，养分对于作物生长犹如粮食之于人类生存一样必需。

一、作物必需营养元素与有益元素

高等植物必需的营养元素有 16 种：碳（C）、氢（H）、氧（O）、氮（N）、磷（P）、钾（K）、钙（Ca）、镁（Mg）、硫（S）、铁（Fe）、锰（Mn）、硼（B）、锌（Zn）、铜（Cu）、钼（Mo）、氯（Cl），按植物需要量的不同，可将这 16 种营养元素划分为：大量营养元素（N、P、K）、中量营养元素（Ca、Mg、S）和微量元素（Fe、Mn、Zn、B、Cu、Mo、Cl），C、O、H 这三种元素虽然在植物体中数量最大，通常占其干物质总量的 94% 左右，但因其主要来源于空气和水，所以不列入矿质养分中。但生产实践和科学研究发现，除以上 16 种元素之外，还有一些元素对某些植物是不可缺少或有特殊作用的，如硅（Si）、钠（Na）、钴（Co）、硒（Se）、钒（V）、镍（Ni）、碘（I）等元素，被称作植物的有益元素。

植物生长发育需要的营养元素来源渠道通常主要有三条：空气、水和土壤。如：植物所需的氢、氧主要来源于水和空气，水是植物的命脉，一般占植物总质量的 75%~95%；碳主要来自空气中的二氧化碳；而其他矿质营养元素则主要来自土壤，只有豆科植物能通过固定空气中的氮气（N₂）而获得一部分氮素。因此，土壤既是植物的扎根立足之处，也是其生长发育的养分库。此外，植物还能通过叶片吸收一部分气态物质而获得某些少量矿质养分元素，如二氧化硫等。表 1-1 列示了植物体内主要化学营养元素的一般含量与主要来源及其主要吸收形态和主要营养生理功能。

通常作物生长发育对氮、磷、钾等养分需要量较大，而土壤中固有的量远远不能满足其生长、生产的需要，因此，必须通过人为补施相应的元素肥料才能大幅度增加作物产量，其中，氮、磷、钾三种养分元素对各种作物生长、形成产量所需要量最大，故常被称为肥料的“三要素”。而有益元素不是所有作物必需的，

只为某些作物所必需（如硅是水稻、甘蔗等作物所必需的），或对某些作物的生长发育有益，或对某些作物的生长具有刺激作用（如豆科作物需要钼、藜科作物需要钠等），因此，在应用时应结合具体情况来选择最有效和最经济的元素和施肥技术，并注意与其他元素肥料的配合施用。

表 1-1 植物体内的主要化学营养元素

序号	化学元素	主要吸收形态	占作物体干重%	主要营养生理功能	主要来源
1	碳(C)	CO ₂ 、CO ₃ ²⁻	45.0	光合作用必需原料;多种有机化合物的合成不可缺少;呼吸作用的重要物质	空气和水
2	氧(O)	H ₂ O、CO ₂ 、O ₂	43.0	呼吸作用不可缺少;淀粉、脂肪、蛋白质、纤维等的主要组成元素	空气和水
3	氢(H)	H ₂ O、H ⁺ 、OH ⁻	6.5	作为水分参与植物体内的一切生理作用;为多种有机化合物的组成元素	空气和水
4	氮(N)	NH ₄ ⁺ 、NO ₃ ⁻	0.3~5.0	蛋白质、核酸、核蛋白以及叶绿素的重要组分;多种酶、维生素、生物碱和激素的成分等,被称为生命元素	土壤、肥料 (豆科作物可固定空气中的氮)
5	磷(P)	PO ₄ ³⁻ 、HPO ₄ ²⁻ 、H ₂ PO ₄ ⁻	0.1~0.5	参与光合作用、呼吸作用、糖代谢;以 ATP、ADP 形式参与能量传递;核酸和酶的成分;提高抗逆性,促进生长、分蘖、根伸长和开花结实	土壤、肥料
6	钾(K)	K ⁺	1.0~1.5	促进光合作用及其产物的运输和蛋白质合成;参与硝酸的吸收、还原过程;参与细胞渗透调节作用;增强抗逆性;多种酶的活化剂;促进有机酸代谢等	土壤、肥料
7	钙(Ca)	Ca ²⁺	0.5~3.0	稳定细胞膜、稳固细胞壁;起渗透调节作用,中和生物体内有机酸等有毒物质;与钙调蛋白结合,参与第二信使传递;促进细胞伸长和根系生长;酶促作用等	土壤、肥料
8	镁(Mg)	Mg ²⁺	0.05~0.7	参与叶绿素合成及光合作用;多种酶的活化剂;参与蛋白质合成以及碳水化合物和磷酸的代谢等	土壤、肥料
9	硫(S)	SO ₄ ²⁻ 、SO ₃ ²⁻	0.1~0.5	蛋白质、氨基酸等的组分;参与叶绿素形成;参与氧化还原反应和电子传递以及某些酶的形成和活化;形成某些特种成分(如芥子油、十字花科糖苷油)等	土壤、肥料
10	铁(Fe)	Fe ²⁺	0.0025~0.05	参与叶绿素合成;参与体内氧化还原反应和电子传递;参与呼吸作用等	土壤、肥料

续表

序号	化学元素	主要吸收形态	占作物体干重%	主要营养生理功能	主要来源
必需营养元素	11 锰(Mn)	Mn^{2+}	0.001~0.03	维持叶绿体结构,参与光合作用;调节酶活性,影响植物体内氧化还原状况,促进碳、氮代谢及种子萌发和幼苗生长	土壤、肥料
	12 铜(Cu)	Cu^{2+} 、 Cu^{+}	痕量~0.002	超氧化物歧化酶(SOD)等多种酶的组分或活化剂,参与氧化还原作用;构成铜蛋白并参与光合作用;参与氮素代谢,影响固氮作用;促进花器官发育等	土壤、肥料
	13 锌(Zn)	Zn^{2+}	0.001~0.01	某些酶的组分或活化剂;参与生长素的代谢;参与光合作用;促进蛋白质代谢;促进生殖器官发育;提高抗逆性	土壤、肥料
	14 钼(Mo)	MoO_4^{2-} 、 $HMoO_4^{-}$	痕量~0.002	是硝酸还原酶和固氮酶的组分,参与氮素代谢及根瘤菌的固氮作用;促进植物体内有机含磷化合物的合成;参与光合作用和呼吸作用;促进植物繁殖器官的建成	土壤、肥料
	15 硼(B)	H_3BO_3	痕量~0.01	促进碳水化合物的运输和代谢;参与半纤维素及细胞壁的合成,促进细胞伸长和分裂;促进生殖器官的建成和发育;调节酚的代谢和木质化作用;提高豆科作物根瘤的固氮能力	土壤、肥料
	16 氯(Cl)	Cl^{-}	痕量	参与光合作用,与水的光解反应有关;影响根的伸长;调节气孔运动、提高细胞的渗透压和膨压,增强抗逆性	土壤、肥料
有益元素	17 钠(Na)	Na^{+}	痕量~4	对喜钠植物,替代钾行使营养功能;调节渗透压,影响水分平衡与细胞伸展;刺激植物生长等	土壤、肥料
	18 钴(Co)	Co^{2+}	痕量	参与豆科植物根瘤固氮;参与植物激素的调控作用,刺激生长;稳定叶绿体	土壤、肥料
	19 硅(Si)	$Si(OH)_4$	痕量~15	增加细胞壁的坚韧性;提高叶绿素含量;参与细胞壁的组成,影响光合作用与蒸腾作用;提高抗逆性;降低铁、锰毒害,促进生长等	土壤、肥料
	20 硒(Se)	SeO_4^{2-} 、 SeO_3^{2-}	痕量	刺激生长;增强抗氧化作用;与硫竞争性抑制,可部分代替硫或与硫共存于某些氨基酸和蛋白质中	土壤、肥料
	21 钒(V)	VO^{2+} 、 VO_3^{-} 、 HVO_4^{2-}	痕量	提高叶绿素含量,参与光合作用;是固氮菌的必需元素,参与固氮作用	土壤、肥料

续表

序 号	化学 元素	主要吸 收形态	占作物体 干重%	主要营养生理功能	主要来源
有益 元素	22 镍(Ni)	Ni^{2+}	痕量	刺激种子发芽和幼苗生长;是脲酶和某些脱氢酶的金属组分,参与氮代谢;提高抗病性等	土壤、肥料
	23 碘(I)		痕量		土壤、肥料
	24 铝(Al)	Al^{3+}	0.002~0.02	刺激生长;影响植物叶、花的颜色;是一些酶的激活剂;提高抗逆性等	土壤、肥料

注:据徐静安等,2001;陆景陵,2003。

二、作物对各种营养元素的需要特点和平衡原则

植物必需营养元素中的每一种在植物体内都有特殊作用,无论是大量元素还是微量元素,均有其不同的营养作用和生理功能,缺少任何一种植物都不能正常生长发育,因此,各种营养元素对于植物的生长发育都是同等重要的,此为必需营养元素的“同等重要性”。而且各种营养元素之与植物的作用和功能均不能互相代替,如:缺磷不能用施氮代替,缺氮不能以施钾代替,缺大量元素不能以施微量元素代替,此为必需营养元素的“不可替代性”。

因此表明,在施肥时要全面考虑作物对各种营养元素的需要性,有针对性地施肥,缺什么补什么,而不能以一种养分代替另一种养分。作物缺乏任何一种必需营养元素都会表现为独特的缺素症状,只有补充这种元素后才能使症状缓解或得到矫正。同样,任何一种必需营养元素过剩或施用过量又都会对作物体造成不同程度的伤害或毒害作用。

虽然各种必需营养元素具有“同等重要性”和“不可替代性”,但作物对各种必需营养元素的需要量是不同的,作物正常生长发育要求各种营养元素平衡供应,即作物的营养元素间存在着平衡比例关系,施肥时要遵循“养分平衡原则”,例如,若增加氮的供应量则需相应提高磷、钾以及中、微量元素的供应量,否则,若单一提高一种营养元素的供应量,其他元素的量不做相应调整,那么养分就不会很好地发挥作用。另外,作物的生长发育还要求各种营养元素持续供应,如在化肥中氮肥肥效最快,但其持续供应养分的时间也最短,因而,如何保证作物生长发育过程中氮肥的持续供应是一个值得研究的问题。

三、作物的需肥特点

作物生长必须及时供应氮、磷、钾及各种必需的中、微量元素,但不同作物

因其遗传性所决定，对各种养分的吸收规律以及需求特点均有较大差异。

（一）不同作物或同一作物的不同品种养分需求特点不同

禾谷类作物，如小麦、水稻、玉米等，需要氮较多，同时又要供给足够的磷、钾，以使籽粒饱满；豆科作物，如大豆、豌豆、花生等，因其根部生有根瘤菌具有固氮作用，能固定空气中的氮气（ N_2 ）而为其植株体的生长发育供应部分氮素，因此，与其他作物相比，豆科作物需人为补施磷、钾较氮多，但在根瘤尚未形成的幼苗期也可补施少量氮；薯类作物和甜菜需要更多的磷、钾和一定量的氮；棉花、油菜等油料作物对氮、磷、钾的需要量都很大，要充分供给；对于蔬菜作物，叶菜类要求较多的氮量供应以使叶片肥大，质地柔嫩，而茄果类和根茎类则要求较多的钾以提高产量和品质。另外，油料作物对镁有特殊需要；而甜菜、苜蓿、亚麻则对硼有特殊要求。

即使是同一作物，也因栽培目的的不同，养分供应情况也需有所不同。如食用大麦，应在灌浆前后多供应氮素（N）营养，使种子中的蛋白质含量增高；酿造啤酒的大麦则应减少后期施氮，否则，蛋白质含量高会影响啤酒品质。

（二）不同作物对不同养分形态的需求性不同

对忌氯作物，如烟草和马铃薯，忌用氯化钾做钾肥，因为氯可降低烟草的燃烧性和马铃薯的淀粉含量（氯有阻碍糖运输的作用）；水稻为喜铵态氮作物，宜施铵态氮而不宜施硝态氮，因水稻体内缺乏硝酸还原酶，难以利用硝态氮；而烟草则既需要铵态氮，又需要硝态氮，因为烟草需要有机酸来提高叶的燃烧性，又需要有香味，硝酸能使细胞内的氧化能力占优势，故有利于有机酸的形成，铵态氮则有利于芳香油的形成，因此，烟草施用硝酸铵（ NH_4NO_3 ）效果最好；又如，黄花苜蓿及紫云英吸收磷的能力弱，以施用水溶性的过磷酸钙为宜；毛苕、荞麦吸收磷的能力强，施用难溶解的磷矿粉和钙镁磷肥也能被利用。

（三）同一作物在不同生育期养分需求性不同

一般情况下，作物对矿质养分的需要量与它们的生长量有密切关系。通常情况下，种子萌发期间，因种子内储藏有丰富的营养物质，所以一般不吸收矿质养分；幼苗可吸收一部分矿质养分，但需要量少，随着幼苗的长大，吸收矿质养分的量会逐渐增加；开花结实期，对矿质养分吸收达高峰；以后随着生长的减弱，吸收量逐渐下降，至成熟期则停止吸收。但是不同作物在不同生育期对各种养分元素的吸收情况又有一定的差异。因此，在不同生育期，施肥对作物生长的影响不同，增产效果也有很大的差别。根据实践和研究，在作物营养临界期和营养最大效率期施肥效果最好。

综上所述，不同种类作物在不同生育期对养分的要求是不同的，而且作物对

养分的需求性还受土壤、气候等环境因素的影响，因此，在生产实践中要针对具体的作物种类及其生长特点与环境条件等性况进行合理施肥。

第二节 作物对养分的吸收

据前所述，植物生长发育所必需养分的来源主要是空气、水和土壤，而土壤则是作物必需养分的最大库源，但土壤所固有的养分远远不足作物生长和生产所需，因此，还需要外源补充，即人为施肥。施肥是为了最大限度地满足作物对养分的需求。作物所需各种养分主要是通过地下部——根系从土壤溶液中吸收的，研究发现作物地上部——叶片（及部分茎枝）也具有养分吸收功能，而且，作物对叶片所吸收养分的利用同根部吸收的是一样的，由此，对作物施肥也就有两种方式——根部土壤施肥与叶面施肥。

一、根部对养分的吸收与土壤施肥

作物吸收养分主要是通过根系从土壤溶液中吸收，所以根部是作物吸收养分的主要器官。根系吸收的养分主要是土壤溶液中各种离子态养分，如 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 HBO_4^- 、 $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ 、 MoO_4^{2-} 、 Cl^- 等，除此之外，根系也能少量吸收小分子的分子态有机养分，如尿素、氨基酸、糖类、磷酸酯类、植物碱、生长素和抗生素等，这些物质在土壤、厩肥和堆肥等有机肥中都有存在。尽管如此，土壤和肥料中能被根系吸收的有机小分子种类并不多，加之有机分子也不如离子态养分易被根系吸收，因此矿质养分是作物根系吸收的主要养分种类。如果土壤中的养分不能满足作物生长的需要，就需要通过施肥来补充。

在土壤中养分充足的前提下，作物能否从土壤中获得足够的养分主要与其根系大小、根系吸收养分的能力有关。同一类作物甚至不同品种之间，根系的大小和养分吸收能力差别很大，所以对土壤中营养元素的吸收量也不同。一般而言，凡根系深而广、分支多、根毛发达的作物，根与土壤接触面大，能吸收较多的营养元素；根系浅而分布范围小的作物对营养元素的吸收量就少。因此，为了提高作物对施入土壤中肥料养分的吸收利用，施肥时应尽可能将肥料施在作物生长期间根系分布较密集的土层中。

由于作物一生中根系生长和分布特点是不同的，所以施肥要根据作物不同生育时期根系的生长特点来确定适宜的肥料施用方法，如在作物生长初期，根系小而入土较浅，且吸收能力也较弱，故应在土壤表层施用少量易被吸收的速效性肥料，以供应苗期营养；在作物生长中后期，作物根系都处于较深土层中，所以追肥应深施。作物早期根系特点对施肥部位也有较大影响，作物早期若直根发达，

肥料最好施在下面，若侧根发达则应将肥料施在种子周围。作物从幼苗开始，根系就具有吸收水分和养分的能力，所以，要想使作物多吸收养分，就应及早促使根系生长。

二、叶部对养分的吸收与叶面施肥

作物除了根系能吸收养分外，还能通过地上的部分器官，如茎、叶等吸收各种营养物质，被称为叶面营养。除部分气态养分，如二氧化碳（根系也可吸收二氧化碳）、氧气、水（水蒸气）、二氧化硫等，是通过作物叶面上的气孔吸收的外，其他养分（包括各种矿质养分和少量有机养分）在农业生产中则主要是通过叶面喷施（叶面施肥）的方法来供给作物的。叶面施肥是作物通过叶部吸收养分的主要养分来源方式，它是将作物所需各种养分直接施于叶面的技术，具有吸收速度快、吸收利用率高、用肥量少、效益好等特点。利用叶面施肥，一方面可通过叶面施用各种矿质养分以补充作物生理营养，另一方面，可通过喷施各种生长调节物质以调节作物生长发育。

一般陆生植物的叶片由角质层、蜡质层、表皮细胞、叶肉细胞等组成。而叶面，即叶表皮细胞的最外面，是角质层和蜡质层，由表皮细胞原生质生成，通过细胞壁分泌到表面。研究表明，养分进入叶肉细胞可以通过气孔，也可通过叶片角质层上的裂缝和从表皮细胞延伸到角质层的微细结构，即外壁胞间连丝，它是角质膜到达表皮细胞原生质的通道。植物叶部吸收的养分和根部吸收的养分一样能在植物体内同化和转运。

但叶面吸收的养分量是有限的，不能完全满足作物各生育期对养分的需求，因此，叶面吸收不能完全代替根系吸收养分，而只能作为作物所需养分的一种辅助来源，叶面施肥也只能是土壤施肥的一种辅助手段，而不能完全代替土壤施肥，特别是对于作物需要量较大的养分如氮、磷、钾，主要还是要靠土壤施肥由根系吸收。但当作物需要强化某种（些）养分，特别是微量元素，或者是根部吸收养分困难时，叶面养分吸收对于作物的正常生长发育就具有重要意义。所以，叶面施肥也是一种重复、有效的施肥方式。

第三节 作物施肥的最佳时期

作物的生育期长短不一，所需营养元素的种类、数量和比例在不同的生育时期也不尽相同。因此，在作物不同的生育时期施用肥料，其效果也就不同。

在作物的生长发育周期内，根据作物的生理及其对养分需求特点的变化，可划分为若干具有不同特征的生育时期。在这些时期中，一般除萌芽期（种子供应营养）和成熟期（根部停止吸收营养）外，在其他各个时期作物都要通过根系从

土壤中吸收养分。作物吸收养分的整个生长历程称为作物的营养期。

在作物营养期中又有不同的营养阶段，在各个营养阶段中作物吸收养分的特点不一样。一般情况下，作物生长初期主要是利用萌芽种子或块茎、块根中储藏的养分，木本植物或多年生牧草在初春时利用第一年积累在储藏器官中的养分，从外界吸收的养分极少。随着植株体的逐渐长大，根系吸收能力渐增，直到开花结实期，吸收养分的数量及吸收强度达最大值；到了生长后期，作物生长量减小，养分需求量也明显下降，到成熟期根系即停止吸收养分，主要是靠之前所积累的营养物质。虽然不同作物吸收养分的具体数量和比例不同，但通常各种作物在不同生育期的养分吸收状况与其生长速度及干物质积累的趋势是一致的。此外，作物在不同营养阶段中需要养分的种类也不同。例如，冬小麦越冬前吸收养分较少，吸收的养分以氮为主，磷次之，钾最少；越冬后，植株的迅速生长造成对养分吸收量的急剧增加，其中磷、钾的吸收比氮更突出。由此可见，作物吸收养分有一个总的趋势，但不同作物在不同生育期需要养分的种类、数量和比例是不相同的，且养分吸收高峰也有差别。通常在作物营养期中，对养分的需求有两个极其重要的时期：营养临界期与营养最大效率期。

一、作物营养临界期

在作物生长发育过程中，某种营养元素过多、过少或营养元素之间比例不平衡，对作物生长发育起着显著影响的时期称为营养临界期。在此期作物对某种养分需求的绝对值虽然不高，但要求迫切，如果该养分缺乏、过多或比例失调时，都会明显影响作物的正常生长发育而造成损失，即使以后再补充供给这种养分或采取其他补救措施，也难以纠正或弥补损失。在营养诊断上，一般是当植株体内某种养分低于某一浓度时，作物的生长量或产量就显著下降，并表现出养分缺乏症状，此养分浓度称为“营养临界”值。

通常多数作物的营养临界期大都出现在生长发育的转折时期。作物生长初期对外界环境条件比较敏感，种子萌发出苗初期主要依靠种子胚乳中贮存的营养，当这部分养分消耗殆尽、开始依靠根系吸收养分时，必须及时供给充足的养分才能维持幼苗的正常生长发育，这个由靠种子供应营养向依靠根系吸收营养转变的时期，就是作物的一个营养临界期。所以，苗期是施用速效化肥的重要时期。实践和研究证明，不同作物不同养分种类的营养临界期出现的时期也同。

一般认为，作物磷素营养临界期多在生长初期——幼苗期，如，棉花在二、三叶期，玉米在三叶期，冬小麦和水稻在分蘖初期，此时大部分幼根在土壤表层，尚未伸展，吸收养分能力差，而土壤溶液中磷的浓度很低，移动性也小，所以幼苗期容易发生缺磷，表现为根系细弱，分蘖延迟或不分蘖，形成“小老苗”现象。因此，若作物苗期缺磷，生长发育会受到抑制而导致减产。所以在生产中