



高等教材

全国高等农林院校教材

# 植物营养学

黄建国 主编



中国林业出版社

Q945.1/8

全国高等农林院校教材

# 植物营养学

黄建国 主编

中国林业出版社

## 内 容 提 要

本书由4篇17章组成,比较系统和全面地讲述了植物营养基本理论、物质基础和调控技术。第1篇是植物营养的基本理论,由植物营养原理、植物的土壤营养、肥料资源与利用3章组成。第2篇是化学肥料,主要讲述植物营养元素的营养生理,化学肥料的品种、性质,以及它们在土壤中的转化和施用技术。第3篇是有机肥料,包括厩肥、绿肥、粪尿肥、秸秆肥和微生物肥料等,主要论述有机肥的重要作用、积制方法、利用途径和施用技术。第4篇是施肥原理与技术,讲述植物营养与产量品质的关系,植物营养诊断,肥料效应曲线,以及主要粮食、经济作物和果树等的施肥技术。

### 图书在版编目(CIP)数据

植物营养学/黄建国主编. —北京:中国林业出版社,2003. 9

全国高等农林院校教材

ISBN 7-5038-3445-5

I. 植… II. 黄… III. 植物营养—高等学校—教材 IV. Q945.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第053867号

中国林业出版社·教材建设与出版管理中心

电话:66170109 66181489 传真:66170109

---

出版 中国林业出版社(100009 北京西城区刘海胡同7号)

E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话:66184477

发行 新华书店北京发行所

印刷 三河市富华印刷包装有限公司

版次 2004年3月第1版

印次 2004年3月第1次

开本 850mm×1168mm 1/16

印张 28.75

字数 605千字

定价 38.00元

---

凡本书出现缺页、倒页、脱页等质量问题,请向出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

全国高等农林院校“十五”规划教材

## 《植物营养学》编写人员

**主 编：**黄建国  
**副主编：**张乃明 黎晓峰 袁 玲  
**编 者：**(按姓氏笔画为序)  
申 鸿 (西南农业大学)  
刘鸿雁 (贵州大学)  
李廷轩 (四川农业大学)  
李 勇 (西南农业大学)  
张乃明 (云南农业大学)  
张锡洲 (四川农业大学)  
杨水平 (西南农业大学)  
周永祥 (西南农业大学)  
赵 平 (云南农业大学)  
耿建梅 (海南热带作物大学)  
顾明华 (广西大学)  
袁 玲 (西南农业大学)  
郭彦军 (西南农业大学)  
黄建国 (西南农业大学)  
黎晓峰 (广西大学)  
魏成熙 (贵州大学)  
**审 阅 人：**毛炳衡 白厚义 陆申年

# 前 言

进入 21 世纪以来，我国高等教育的招生规模不断扩大，高等教育开始从精英教育逐渐转向大众化教育，并按照“厚基础，宽口径，重能力”的目标培养学生，专业课的学时数大幅度减少，迫切需要编写出适应新形势的专业教材。在这种情况下，我们编写了这本《植物营养学》，作为高等农林院校农业资源与环境专业的本科教材，也可作为农林院校农学类各专业的通用教材。

《植物营养学》包括了过去土壤农化专业植物营养与肥料和植物营养与施肥两门课程的教学内容。将两门课程的教学内容合并编写成《植物营养学》一书，既保证了学科的完整性和系统性，又起到了删繁就简，避免重复的作用。从应用的范围看，既覆盖了农业资源与环境专业本科教学的全部内容，又兼顾了农学类各专业的通用性。因此，本书可以通用于农林院校的有关专业。在编写本书时，我们按照植物是核心，土壤是基础，肥料是物质，施肥是手段，气候和耕作影响植物营养之需要，土壤养分之转化，肥料养分之供应的思路进行编写。取材承前启后，内容新颖翔实，文字深入浅出。

本书由 4 篇 17 章组成，比较系统地讲述了植物营养基本理论、物质基础和调控技术。第 1 篇是植物营养的基本理论，由植物营养原理、植物的土壤营养、肥料资源与利用 3 章组成。第 2 篇是化学肥料，主要讲述植物营养元素的生理及生物化学，化学肥料的品种、性质，以及它们在土壤中的转化和施用技术。第 3 篇是有机肥料，包括厩肥、绿肥、粪尿肥、秸秆肥和微生物肥料等，主要论述有机肥的重要作用、积制方法、利用途径和施用技术。第 4 篇是施肥原理与技术，讲述植物营养与产量品质的关系，植物营养诊断，肥料效应曲线，以及主要粮食、经济作物和果树等的施肥技术。

参加本书编写的单位有西南农业大学、云南农业大学、广西大学、贵州大学、四川农业大学和海南热带作物大学。参加编写的人员是黄

建国（绪论和第1章）、黎晓峰（第2章）、李廷轩（第3章）、张锡洲（第4章）、张乃明（第5章）、顾明华（第6章）、赵平（第7章）、刘鸿雁（第8章）、耿建梅（第9章）、袁玲（第10章、第11章）、李勇（第12章）、申鸿（第13章）、郭彦军（第14章）、杨水平（第15章）、周永祥（第16章）和魏成熙（第17章）。此外，陆申年教授审阅了第3章和第6章，白厚义教授审阅了第15章和第16章。

中国林业出版社对于本书的出版给予了大力支持。本书在完稿之后，承蒙西南农业大学毛知耘教授审阅。在此，编者深表感谢！

限于编者的业务水平，书中存在偏颇和不妥之处在所难免，切望读者批评指正，以利今后修订。

黄建国  
2003年10月

## **PREFACE**

---

Since the beginning of the 21<sup>st</sup> century, student enrollment in institutions of higher education has been increasing and higher education has been experiencing a transformation from an “elite-oriented education” to a “popular education”. Accordingly, the college students are trained with the principles of “stressing basic education and the cultivation of abilities, and enhancing their adaptability to social needs”. As a result, the classroom hours allotted to specialty courses have been greatly reduced. Such a new environment requires the production of new textbooks for various specialty courses that will suit the new situations. This textbook *Plant Nutrition Science*, thus compiled, is intended to serve as the coursebook for the undergraduate students of the major of resources and environmental science in agriculture/forestry universities/colleges of China. It can also serve as a coursebook for other majors in agriculture/forestry universities/colleges.

*Plant Nutrition Science* covers the contents of two subjects, “Plant nutrition and fertilizer” and “Plant nutrition and fertilizer application” originally offered to the students majoring in soil science and agricultural chemistry. Integration of the contents of the two subjects into one helps to cut out repetition and ensure the integrity and systematicness of the discipline. While covering all the teaching contents for the major of agricultural resources and environment, this textbook gives enough consideration to its adaptability to other agriculture – related majors. Therefore, it can be adopted by various specialties in agriculture/forestry universities/colleges. In the compiling of the textbook, we took it as our guiding principles that for plant nutrition, plants serve as its core, soil as its foundation, fertilizer as its material carrier and fertilization as its means, and that climate and tillage affect the needs of plants for nutrition, the transformation of soil nutrients and the supply of fertilizer nutrients. In compiling the textbook, we tried to realize that it would form a connecting link between the preceding and the following, with novel contents described in full and with satisfactory accuracy, in a style that explains the profound in simple terms.

This textbook, consisting of 4 parts or 17 chapters, presents a comprehensive and systematic description of the basic theories, material foundation and regulation techniques of plant nutrition. Part one is devoted to the basic theories of plant nutrition and

composed of 3 chapters: Principles of plant nutrition, Soil and Plant Nutrition and Fertilizer Resources and Their Exploitation. Part two is entitled Chemical Fertilizers, focusing on the nutritional physiology of various plant nutrient elements, the varieties of chemical fertilizers and their properties, transformation of chemical fertilizers in the soil and the techniques of their application. Part three is concerned with Organic Manures, including stable manure, green manure, dung manure straw – derived manure and microbial manures. It expounds the importance of organic manures, the methods for their preparation, the approaches for their exploitation and the techniques for their application. Part four, with “Principles of fertilizer application and its techniques” its title, discusses the relationship between plant nutrition and the yield and quality of farm crops, plant nutrition diagnosis, the curves of fertilizer response and fertilizer application technique for different crops.

The compilers of the book come from Southwest Agricultural University, Yunnan Agricultural University, Guangxi University, Guizhou University, Sichuan Agricultural University and Hainan Tropical Plant College. They are Huang Jianguo (Introduction and Chapter 1), Li Xiaofeng (Chapter 2), Li Tingxuan (Chapter 3), Zhang Xizhou (Chapter 4), Zhang Naiming (Chapter 5), Gu Minghua (Chapter 6), Zhao Ping (Chapter 7), Liu Hongyan (Chapter 8), Geng Jianmei (Chapter 9), Yuan Ling (Chapters 10 and 11), Li Yong (Chapter 12), Shen Hong (Chapter 13), Guo Yanjun (Chapter 14), Yang Shuiping (Chapter 15), Zhou Yongxiang (Chapter 16) and Wei Chengxi (Chapter 17). Professor Lu Shennian went over the manuscript of Chapter 3 and 6, and Professor Bai Houyi went over the manuscript of Chapter 15 and 16.

We owe much to China Forestry Publishing House for the publication of this textbook. We are deeply indebted to Professor Mao Zhiyun from Southwest Agricultural University, who reviewed the manuscripts of the whole book after its completion.

Of course, it will be unavoidable that this book has its shortcomings. Any comments or criticisms from the readers aiming at its improvement will be welcome so that necessary modifications can be made in its revised edition.

Huang Jianguo  
2003. 11



# 目 录

## 前 言

绪 论	( 1 )
1 肥料在农业生产中的作用	( 1 )
1.1 肥料在我国农业生产中的作用	( 1 )
1.2 肥料与“石油农业”和持续农业	( 3 )
2 植物营养学发展概述	( 4 )
2.1 现代植物营养学的建立	( 4 )
2.2 近 20 年来植物营养学的发展趋势	( 6 )
3 植物营养学的内容及其研究方法	( 7 )
3.1 植物营养学的内容	( 7 )
3.2 植物营养学试验研究方法	( 8 )

## 第 1 篇 植物营养的基本理论

第 1 章 植物营养原理	( 12 )
1.1 植物的营养元素	( 12 )
1.2 植物对养分的吸收	( 23 )
1.3 植物的叶部营养	( 36 )
1.4 影响作物吸收养分的因素	( 39 )
1.5 植物体内的养分运输	( 47 )
第 2 章 土壤与植物营养	( 57 )
2.1 植物的根际	( 57 )
2.2 土壤与植物营养	( 69 )
第 3 章 肥料资源与利用	( 82 )
3.1 大量元素肥料资源与利用	( 82 )

3.2	中量元素肥料资源与利用	(97)
3.3	微量元素肥料资源与利用	(98)
3.4	有机肥料资源与利用	(100)

## 第2篇 化学肥料

<b>第4章</b>	<b>植物的氮素营养与氮肥</b>	(106)
4.1	植物的氮素营养	(106)
4.2	土壤氮素含量与转化	(114)
4.3	氮肥的种类、性质与施用	(123)
4.4	氮肥的合理利用	(132)
<b>第5章</b>	<b>植物的磷素营养与磷肥</b>	(140)
5.1	植物的磷素营养	(140)
5.2	土壤磷素含量与转化	(145)
5.3	磷肥的种类、性质与施用	(151)
5.4	磷肥的合理施用	(157)
<b>第6章</b>	<b>植物的钾素营养与钾肥</b>	(165)
6.1	作物的钾素营养	(165)
6.2	土壤钾的含量和转化	(176)
6.3	钾肥的种类、性质与施用	(181)
6.4	钾肥的合理施用	(184)
<b>第7章</b>	<b>植物的微量元素营养与微肥</b>	(190)
7.1	植物的硼素营养与硼肥	(190)
7.2	植物的锌素营养与锌肥	(197)
7.3	植物的铁素营养与铁肥	(204)
7.4	植物的钼素营养与钼肥	(212)
7.5	锰素营养与锰肥	(217)
7.6	植物的铜素营养与铜肥	(222)
7.7	植物的氯素营养及含氯化肥	(226)
<b>第8章</b>	<b>植物的中量元素营养与钙、镁、硫、硅肥料</b>	(232)
8.1	植物的钙营养与钙肥	(232)
8.2	作物的镁营养与含镁肥料	(237)
8.3	植物的硫营养与硫肥	(241)
8.4	植物的硅营养与硅肥	(245)

<b>第 9 章 复混肥料</b> .....	(251)
9.1 复混肥料概述 .....	(251)
9.2 复合肥料主要品种和性质 .....	(253)
9.3 混合肥料的剂型、品种和性质 .....	(258)
9.4 复混肥料的肥效与施用 .....	(262)

### 第 3 篇 有机肥料

<b>第 10 章 有机肥料概述</b> .....	(270)
10.1 有机肥料的特点和作用 .....	(270)
10.2 有机肥和化肥配合施用的效果 .....	(276)
<b>第 11 章 粪尿肥和厩肥</b> .....	(283)
11.1 粪尿肥 .....	(283)
11.2 厩肥 .....	(289)
<b>第 12 章 秸秆与堆肥</b> .....	(295)
12.1 秸秆还田 .....	(295)
12.2 堆肥 .....	(303)
12.3 沼气发酵肥 .....	(306)
<b>第 13 章 微生物肥料</b> .....	(310)
13.1 微生物肥料概述 .....	(310)
13.2 根瘤菌与固氮菌肥 .....	(317)
13.3 菌根真菌肥料 .....	(323)
<b>第 14 章 绿肥</b> .....	(331)
14.1 绿肥在农业生产中的作用 .....	(331)
14.2 绿肥的种类及其合理施用 .....	(336)
14.3 绿肥的栽培利用 .....	(342)

### 第 4 篇 施肥原理与技术

<b>第 15 章 科学施肥的基本理论</b> .....	(356)
15.1 植物营养特性与施肥原则 .....	(356)
15.2 植物营养诊断 .....	(360)

15.3	施肥量的确定方法·····	(373)
<b>第 16 章</b>	<b>肥料效应函数与推荐施肥</b> ·····	<b>(380)</b>
16.1	肥料效应曲线的一般规律及数学模型·····	(380)
16.2	肥料效应函数的参数估计·····	(387)
16.3	边际分析·····	(389)
16.4	计算机技术在推荐施肥中的应用·····	(396)
<b>第 17 章</b>	<b>主要作物的施肥技术</b> ·····	<b>(402)</b>
17.1	粮食作物的施肥技术·····	(402)
17.2	经济作物的施肥技术·····	(418)
17.3	果树施肥·····	(428)
	<b>参考文献</b> ·····	<b>(441)</b>

# CONTENTS

---

## Preface

<b>Introduction</b> .....	( 1 )
1 The role of fertilizers in agriculture .....	( 1 )
2 A general view on the development of plant nutrition science .....	( 4 )
3 The research contents and methods of plant nutrition science .....	( 7 )

## Part 1 Basic Theories about Plant Nutrition

<b>Chapter 1 Principles of plant nutrition</b> .....	( 12 )
1.1 Nutrient elements for plants .....	( 12 )
1.2 Absorption of nutrients by plants .....	( 23 )
1.3 Foliar nutrition .....	( 36 )
1.4 Factor influencing nutrient absorption by plants .....	( 39 )
1.5 Nutrient transport in plants .....	( 47 )
<b>Chapter 2 Soil and plant nutrition</b> .....	( 57 )
2.1 Rhizosphere of plants .....	( 57 )
2.2 Soil and plant nutrition .....	( 69 )
<b>Chapter 3 Resources and exploitation of fertilizer</b> .....	( 82 )
3.1 Resources and exploitation of macronutrient fertilizers .....	( 82 )
3.2 Resources and exploitation of silica, calcium, magnesium and sulfur .....	( 97 )
3.3 Resources and exploitation of Micro-nutrient fertilizers .....	( 98 )
3.4 Resources and exploitation of organic resources .....	( 100 )

## **Part 2 Chemical Fertilizers**

### **Chapter 4 Nitrogen nutrition for plants and nitrogen fertilizers**

- ..... (106)
- 4.1 Nitrogen nutrition for plants ..... (106)
- 4.2 Contents and transformations of nitrogen in soils ..... (114)
- 4.3 Properties and applications of N fertilizers ..... (123)
- 4.4 Rational application of nitrogen fertilizers ..... (132)

### **Chapter 5 Phosphorus nutrition for plants and phosphate fertilizers**

- ..... (140)
- 5.1 Phosphorus nutrition for plants ..... (140)
- 5.2 Content and transformation of phosphorus in soils ..... (145)
- 5.3 Properties and applications of phosphorus fertilizers ..... (151)
- 5.4 Rational application of phosphorus fertilizers ..... (157)

### **Chapter 6 Potassium nutrition for plants and potash fertilizers**

- ..... (165)
- 6.1 Potassium nutrition for plants ..... (165)
- 6.2 Content and transformation of potassium in soils ..... (176)
- 6.3 Properties and applications of potassium fertilizers ..... (181)
- 6.4 Rational utilization of potassium fertilizers ..... (184)

### **Chapter 7 Micro-elements for plant nutrition and microelement fertilizers**

- ..... (190)
- 7.1 Boron for plant nutrition and boron fertilizers ..... (190)
- 7.2 Zinc for plant nutrition and zinc fertilizers ..... (197)
- 7.3 Iron for plant nutrition and iron fertilizers ..... (204)
- 7.4 Molybdenum for plant nutrition and Molybdenum fertilizers ..... (212)
- 7.5 Manganese for plant nutrition and manganese fertilizers ..... (217)
- 7.6 Copper for plant nutrition and copper fertilizers ..... (222)
- 7.7 Chlorine for plant nutrition and Cl-containing fertilizers ..... (226)

### **Chapter 8 Calcium, magnesium, sulfur and silicon elements for plant nutrition and fertilizers**

- ..... (232)
- 8.1 Calcium for plant nutrition and calcium fertilizers ..... (232)

8.2	Magnesium for plant nutrition and Mg-containing fertilizers .....	(237)
8.3	Sulfur for plant nutrition and sulfur fertilizers .....	(241)
8.4	Silicon for plant nutrition and silicon fertilizers .....	(245)
<b>Chapter 9</b>	<b>Compound/mixed fertilizers .....</b>	<b>(251)</b>
9.1	A general view of compound/mixed fertilizers .....	(251)
9.2	Main kinds and properties of compound fertilizers .....	(253)
9.3	Forms and properties of mixed fertilizers .....	(258)
9.4	Application and efficiency of compound/mixed fertilizers .....	(262)
 <b>Part 3 Organic Fertilizers</b> 		
<b>Chapter 10</b>	<b>A general View of organic fertilizers .....</b>	<b>(270)</b>
10.1	Properties and roles of organic fertilizers .....	(270)
10.2	Efficiencies of application of organic fertilizers combined with chemical fertilizers .....	(276)
<b>Chapter 11</b>	<b>Dung fertilizers and stable manure .....</b>	<b>(283)</b>
11.1	Dung fertilizers .....	(283)
11.2	Stable manure .....	(289)
<b>Chapter 12</b>	<b>Straw and compost .....</b>	<b>(295)</b>
12.1	Incorporation of the straw into the field .....	(295)
12.2	Composts .....	(303)
12.3	Manures produced by biogas fermentation .....	(306)
<b>Chapter 13</b>	<b>Microbial fertilizers .....</b>	<b>(310)</b>
13.1	A general view of microbial fertilizers .....	(310)
13.2	Fertilizers involving rhizobium and nitrogen-fixing bacteria .....	(317)
13.3	Fertilizers involving mycorrhiza fungi .....	(323)
<b>Chapter 14</b>	<b>Green manures .....</b>	<b>(331)</b>
14.1	The role of green manures in agricultural production .....	(331)
14.2	Properties and rational application of green manure crops .....	(336)
14.3	Cultivation and utilization of green manure crops .....	(342)

## **Part 4 Principles and Techniques of Fertilization**

<b>Chapter 15 Basic theories for scientific fertilization</b> .....	(356)
15.1 Characteristics of plant nutrition and principles of fertilization .....	(356)
15.2 Nutritional diagnosis of plants .....	(360)
15.3 Methods for determination of fertilization quantities .....	(373)
<b>Chapter 16 Fertilizer response function and fertilizer recommendation</b> .....	(380)
16.1 General response curves of crops to fertilization and their mathematical models .....	(380)
16.2 Estimate of the parameters for fertilizer efficiency functions .....	(387)
16.3 Marginal analysis .....	(389)
16.4 Application of computer technology in recommended fertilization .....	(396)
<b>Chapter 17 Fertilization techniques for crops</b> .....	(402)
17.1 Fertilization techniques for grain crops .....	(402)
17.2 Fertilization techniques for cash crops .....	(418)
17.3 Fertilization techniques for fruit trees .....	(428)
<b>References</b> .....	(441)



# 绪 论

“植物营养学”是农业资源环境专业学生的重要专业课，过去的名称是“农业化学”（总论），由植物营养的基本理论和肥料科学两大部分组成。随着科学的发展，人们越来越清楚地认识到植物营养的有关知识是本门学科的核心，是指导科学施肥的理论基础。近年来，植物营养科学飞速发展，在许多重大领域取得进展，植物营养的知识日益丰富，植物营养理论的应用日益广泛，为了准确反映本门课程的性质、内容、任务，在我国，20世纪90年代，原“农业化学”开始更名为“植物营养学”。

植物由地上部和地下部组成。地上部的主要功能是在光能的作用下，利用根系吸收的养分和水分，以及空气中的 $\text{CO}_2$ ，形成有机化合物，谓之“地上部营养”。地下部的主要功能是吸收水分和养分满足地上部和自己的需要，谓之“地下部营养”。植物营养学就是研究植物地下部营养的科学。在这门科学中，植物是核心，土壤是基础，肥料是手段，气候是影响植物营养之需要、土壤养分之转化、肥料养分之供应的重要环境条件。在气候、品种、灌溉一定的条件下，营养管理对于促进作物的优质、高产、高效极其重要。

## 1 肥料在农业生产中的作用

### 1.1 肥料在我国农业生产中的作用

农业是国民经济的基础，农业生产包括植物生产和动物生产。植物生产是利用绿色植物的光合作用生产有机物质的基础生产，称为第一性产业；动物生产必须依靠植物提供的有机物质，谓之第二性产业。植物生产依赖于土壤、肥料和水三个基本因素。没有适宜的土壤、肥料、水分，就没有茂盛生长的绿色植物，就没有发达的农业，人类也就得不到量多、质优的粮食和天然有机物质。

新中国成立50多年来，农业生产有了很大的发展，主要经验是：一靠政策，二靠科学，三靠投入。肥料是植物的粮食，是种植业中的重要物质投入，在农业生产中起着重要的作用。国内外的研究表明，肥料在种植业中的增产作用一般占30%~50%。根据有关部门对我国28个省、自治区、直辖市多年来的统计数据，分别估计了化肥、农电、农机和水利在技术进步中的作用。结果表明，我国农业生产中，化肥因素占整个农业技术进步作用的52.23%。这里的化肥因素包括化肥数量的增加，化肥质量的提高与科学施肥等方面的技术进步。