



原色 农作物营养诊断图谱

AN ILLUSTRATED HANDBOOK OF NUTRITIONAL DIAGNOSE OF CROPS IN COLOUR

邱 强 李贵宝 吕世华 编著
秦遂初 张福锁

中国科学技术出版社



1 玉米缺铁新叶变黄叶脉残绿



2 芝麻缺氮自下而上叶变黄



绿豆缺钾自下叶起叶缘失绿



4 棉花缺氮自下叶变黄发红

系列原色农作物病虫图谱(1)

原色农作物营养诊断图谱

AN ILLUSTRATED HANDBOOK OF NUTRITIONAL DIAGNOSE OF CROPS

邱 强 李贵宝
秦遂初 张福锁 吕世华 编 著

中国科学技术出版社

· 北京 ·

(京)新登字 175 号

图书在版编目(CIP)数据

系列原色农作物病虫图谱(1):原色农作物营养诊断图谱/邱强等编著。

——北京:中国科学技术出版社,1996.12

ISBN 7-5046-1770-9

I.系… II.邱… III.农作物—栽培—营养缺乏病—图谱 IV.S66-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 15889 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号

文物出版社印刷厂印刷

版权所有 不准翻印

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:14 插页:2 印张 字数:340 千字

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:38 元

目 录 CONTENTS

I、植物营养与施肥原理

一、植物生长发育必需的营养元素与施肥原理

- (一)植物的元素组成 1
- (二)植物必需营养元素种类 1
- (三)科学施肥的基本原理 3

二、氮素营养与氮肥

- (一)氮的营养功能 5
- (二)氮的含量与分布 5
- (三)缺氮症与氮过多危害 6
- (四)主要作物氮素诊断指标 7
- (五)主要土类含氮量及诊断指标 9
- (六)氮肥的种类、性质及施用 10

三、磷素营养与磷肥

- (一)磷的营养功能 13
- (二)植物体内磷的含量与分布 13
- (三)缺磷症状与磷过多危害 14
- (四)作物磷素诊断指标 15
- (五)主要土类含磷量及其诊断指标 16
- (六)磷肥种类及施用 17

四、钾素营养与钾肥

- (一)钾的营养功能 20
- (二)植物体内钾的含量与分布 20
- (三)作物缺钾症状 21
- (四)土壤钾素营养状况诊断 22
- (五)土壤钾素营养状况诊断 23
- (六)钾肥种类和施用 25

五、钙素营养与钙肥

- (一)钙的营养功能 26
- (二)作物缺钙症状 27
- (三)作物钙素营养状况诊断 28
- (四)土壤钙素营养状况诊断 29

- (五)含钙肥料种类与性质 30

六、镁素营养与镁肥

- (一)镁的营养功能 31
- (二)植物体内镁的含量与分布 31
- (三)主要作物缺镁症状 32
- (四)作物镁素营养状况诊断 33
- (五)土壤镁素营养状况诊断 34
- (六)镁肥的种类和性质 34

七、硫素营养与硫肥

- (一)硫的营养功能 35
- (二)植物体内硫的含量与分布 35
- (三)作物缺硫症状 36
- (四)作物硫素营养状况诊断 36
- (五)土壤硫素营养状况诊断 37
- (六)含硫肥料的种类与性质 38

八、锌素营养与锌肥

- (一)锌的营养功能 39
- (二)植物体内锌的含量和分布 40
- (三)缺锌症状与锌中毒症状 40
- (四)作物锌素营养状况诊断 41
- (五)土壤锌素营养状况诊断 42
- (六)锌肥种类及应用 45

九、硼素营养与硼肥

- (一)硼的营养功能 47
- (二)作物缺硼症状 48
- (三)作物硼素营养状况诊断 49
- (四)土壤硼素营养状况诊断 50
- (五)硼肥种类与常见有机肥含硼量 54

十、铁素营养与铁肥

- (一)铁素的营养功能 55
- (二)作物缺铁症状 55
- (三)作物铁素营养状况诊断 56
- (四)土壤铁素营养状况诊断 57
- (五)铁肥种类 58

十一、锰素营养与锰肥

- (一)锰的营养功能 59

(二)作物缺锰症与锰中毒	60
(三)作物锰素状况诊断	61
(四)土壤锰素状况诊断	62
(五)锰肥主要品种及其施用技术	63

十二、铜素营养与铜肥

(一)铜素的营养功能	64
(二)铜素营养失调症状	65
(三)作物铜素营养状况诊断	66
(四)土壤铜素营养状况诊断	67
(五)常用铜肥品种	69

十三、钼素营养与钼肥

(一)钼的营养功能	70
(二)作物缺钼症状	70
(三)作物钼素营养状况诊断	71
(四)土壤钼素营养状况诊断	73
(五)钼肥种类、性质与应用方法	74

十四、氯素营养

(一)氯的营养功能	75
(二)作物缺氯与氯害症状	76

十五、硅素营养与硅肥

(一)硅的营养功能	77
(二)缺硅症状	77
(三)作物硅素营养状况诊断	77
(四)土壤硅素营养状况诊断	78

十六、农作物营养诊断的方法与缺素原因

(一)作物营养诊断的一般方法	79
(二)营养元素缺乏的一般原因	82

II、农作物营养诊断与施肥技术

一、麦类的营养诊断与施肥技术

(一)麦类营养失调症

小麦缺氮症 彩版 1.1	88
小麦氮过剩症	89
小麦缺磷症 彩版 1.2①~⑧	89
小麦磷过剩症	90
小麦缺钾症 彩版 2.2①~③	90

大麦缺钾症 彩版 2.3①~⑤	
燕麦缺钾症 彩版 2.4	
小麦缺硫症 彩版 3.1	91
小麦缺镁症 彩版 3.2①~②	91
燕麦缺镁症 彩版 3.3	
大麦缺镁症 彩版 3.4	
麦类锰中毒 彩版 3.5	
小麦缺锰症 彩版 3.6①~③	91
大麦缺锰症 彩版 3.7	
小麦缺铜症 彩版 4.1①~⑨	92
小麦缺钼症 彩版 4.2	94
小麦缺铁症 彩版 3.8	95
小麦缺钙症 彩版 5.1	94
大麦缺钙症 彩版 5.2	
小麦缺硼症 彩版 5.3①~③	94
小麦硼过剩症 彩版 5.4	
小麦缺锌症 彩版 5.5①~②	95
小麦锌过剩症 彩版 5.6	
麦类酸害—铝毒 彩版 6.1①~⑥	95
小麦 SO ₂ 害 彩版 6.2	
小麦缺氯症 彩版 6.3①~②	96
小麦氟化氢害 彩版 6.4	
(二)小麦营养元素缺乏症一览表	96
(三)小麦的营养元素失调症图解	97
(四)小麦的施肥技术	98
(五)大麦的营养元素失调症图解	103
(六)大麦的施肥技术	104

二、水稻的营养诊断与施肥技术

(一)水稻营养失调症

水稻缺氮症 彩版 7.1①~③	104
水稻氮过多症 彩版 7.2①~②	105
水稻缺磷症 彩版 7.3①~④	105
水稻缺钾症 彩版 8.1①~③	106
水稻缺硫症 彩版 8.2①~②	107
水稻缺锌症 彩版 8.3①~⑤	108
水稻缺镁症 彩版 9.1①~④	110
水稻缺硅症 彩版 9.2①~④	110
水稻缺钙症 彩版 9.3	
水稻缺铁症 彩版 9.4	112

水稻缺锰症 彩版 10.1	112
水稻锰过剩症 彩版 10.2	
水稻硼过剩症 彩版 10.3①~②	
水稻砷中毒 彩版 10.4①~③	112
水稻肥料浓度障害 彩版 10.5	113
水稻盐雾害 彩版 10.6	113
水稻强酸害	114
水稻盐害	115
水稻亚硝酸中毒	116
水稻铁毒害症 彩版 9.5	117
水稻苗中毒发僵	117
水稻黑根黄叶症	119
水稻青立症	120
(二)水稻营养元素缺乏症与对策一览表	
(三)水稻营养元素失调症图解	122
(四)水稻的施肥技术	123
三、玉米营养诊断与施肥技术	
(一)玉米营养失调症	
玉米缺氮症 彩版 11.1①~②	127
玉米缺磷症 彩版 11.2①~②	128
玉米缺钾症 彩版 11.3①~②	129
玉米缺锌症 彩版 12.1①~⑦	129
玉米缺镁症 彩版 13.1①~④	131
玉米缺锰症 彩版 13.2①~②	131
玉米缺铜症 彩版 13.3	132
玉米铜过多症 彩版 13.4	
玉米缺钙症 彩版 14.1①~③	132
玉米缺铁症 彩版 14.2①~②	132
玉米缺硼症 彩版 14.3①~③	133
玉米缺硫症 彩版 14.4	133
玉米缺钼症	133
(二)玉米营养失调症图解	134
(三)玉米营养元素缺乏症与对策一览表	135
(四)玉米的施肥技术	136
四、高粱的营养诊断与施肥技术	
(一)高粱营养失调症	
高粱缺氮症 彩版 15.1	140
高粱缺磷症 彩版 15.2	140

高粱缺硫症 彩版 15.3①~②	140
高粱缺硼症 彩版 15.4	140
高粱缺钙症 彩版 15.5	140
高粱缺铁症 彩版 15.6①~②	140
高粱多种缺素症 彩版 15.7	140
(二)高粱施肥技术	140
五、薯类营养诊断与施肥技术	
(一)薯类营养失调症	
马铃薯缺氮症 彩版 16.1	141
马铃薯缺磷症 彩版 16.2	141
马铃薯缺钾症 彩版 16.3	142
马铃薯缺硼症 彩版 16.4①~③	142
马铃薯缺锰症 彩版 16.5	142
马铃薯锰过剩症 彩版 16.6	
马铃薯缺铁症 彩版 16.7	143
马铃薯缺钙症 彩版 16.8	143
马铃薯缺锌症 彩版 16.9	143
马铃薯缺镁症 彩版 16.10	144
马铃薯缺铜症 彩版 17.1	145
马铃薯铜中毒 彩版 17.2	
甘薯缺钾症 彩版 17.3	
甘薯缺铁症 彩版 17.4	
(二)马铃薯营养元素缺乏症检索表	145
(三)马铃薯营养元素失调症图解	146
(四)薯类营养元素缺乏症状及对策一览表	147
(五)马铃薯的施肥技术	147
(六)甘薯的施肥技术	148
六、花生的营养诊断与施肥技术	
(一)花生营养元素失调症	
花生缺氮症 彩版 17.5①~②	150
花生缺磷症	150
花生缺钾症 彩版 17.6①~③	150
花生缺铁症 彩版 18.1	151
花生缺锰症 彩版 18.2	151
花生缺硫症 彩版 18.3①~②	
花生缺镁症 彩版 18.4	
花生缺铜症 彩版 18.5	
花生缺钙症 彩版 18.6①~②	151

花生缺硼症 彩版 18.7①~② 152

花生硼过多症 彩版 18.8

花生锌中毒症 彩版 18.9

(二)花生营养元素缺乏症及对策一览表 152

(三)花生的施肥技术 153

七、油菜的营养诊断与施肥技术

(一)油菜营养失调症

油菜缺氮症 彩版 19.1 153

油菜缺磷症 彩版 19.2 156

油菜缺钾症 彩版 19.3①~② 156

油菜缺镁症 彩版 19.4①~④ 159

油菜缺硼症 彩版 20.1①~④ 159

油菜缺钙症 彩版 20.2①~② 159

油菜缺硫症 彩版 20.3 160

(二)油菜的施肥技术 160

八、豆类的营养诊断与施肥技术

(一)大豆营养元素失调症图解

大豆缺氮症 彩版 21.1 163

大豆缺磷症 彩版 21.2 163

大豆缺钾症 彩版 21.3①~③ 163

大豆缺硫症 彩版 21.4 163

大豆缺镁症 彩版 21.5①~② 163

大豆镁过多症 彩版 21.6 163

大豆缺锌症 彩版 21.7①~② 163

大豆缺硼症 彩版 22.1 163

大豆硼过多症 彩版 22.2①~② 163

大豆缺锰症 彩版 22.3①~② 163

大豆缺铁症 彩版 22.4 163

大豆缺钙症 彩版 22.5①~②

(二)大豆营养元素缺乏症状及对策一览表 163

(三)大豆的施肥技术 164

(五)其它豆类营养失调症

绿豆缺氮症 彩版 23.1

绿豆缺磷症 彩版 23.2

绿豆缺钾症 彩版 23.3

豇豆缺锰症 彩版 23.4①~③

豇豆锰过多症 彩版 23.5

豇豆缺硫症 彩版 23.6

豆类缺锌症 彩版 23.7

蚕豆缺铁症 彩版 23.8

蚕豆缺锌症 彩版 23.9

蚕豆缺钾症 彩版 24.1

蚕豆缺镁症 彩版 24.2①~③

蚕豆缺硼症 彩版 24.3

蚕豆缺硫症 彩版 24.4

蚕豆缺钙症 彩版 24.5①~②

蚕豆缺锌症 彩版 24.6①~②

豌豆缺磷症 彩版 24.7

豌豆缺钙症 彩版 24.8

豌豆缺铜症 彩版 24.9

豌豆缺铁症 彩版 24.10

豌豆缺硼症 彩版 24.11

绿豆的施肥技术 168

蚕豆的施肥技术 169

(六)豌豆营养元素失调症状图解 171

九、向日葵营养诊断与施肥技术

(一)向日葵营养失调症

向日葵缺磷症 彩版 25.1

向日葵缺硫症 彩版 25.2

向日葵缺镁症 彩版 25.3①~②

向日葵缺硼症 彩版 25.4 172

向日葵缺锌症 彩版 25.5

向日葵缺钙症 彩版 25.6

向日葵缺锰症 彩版 25.7①~②

(二)向日葵施肥技术 172

十、棉花营养诊断与施肥技术

(一)棉花营养失调症

棉花缺氮症 彩版 26.1 173

棉花缺磷症 彩版 26.2 175

棉花缺钾症 彩版 26.3①~⑧ 176

棉花缺镁症 彩版 27.1 177

棉花缺锰症 彩版 27.2 177

棉花缺硼症 彩版 27.3①~④ 178

棉花缺钙症 彩版 27.4 180

棉花缺硫症 彩版 27.5①~② 181

棉花缺铜症 181

棉花缺钼症	181
棉花缺锌症	181
(二)棉花营养元素缺乏症状及对策一览表	182
(三)棉花的施肥技术	184
十一、甘蔗的营养诊断与施肥技术	
(一)甘蔗营养元素失调症	
甘蔗缺氮症 彩版 28.1	186
甘蔗缺磷症 彩版 28.2①~②	186
甘蔗缺钾症 彩版 28.3①~③	186
甘蔗缺铁症 彩版 28.4 ①~②	186
甘蔗缺锌症 彩版 28.5	187
甘蔗缺镁症 彩版 28.6	188
甘蔗缺铜症 彩版 28.7	188
甘蔗缺硼症 彩版 28.8	188
甘蔗缺钙症 彩版 28.9	188
甘蔗缺锰症 彩版 28.10	189
甘蔗缺硫症 彩版 28.11	190
甘蔗缺钼症	190
(二)甘蔗的施肥技术	190
十二、甜菜的营养诊断与施肥技术	
(一)甜菜营养元素失调症	
甜菜缺氮症 彩版 29.1①~②	193
甜菜缺磷症 彩版 29.2①~②	193
甜菜缺钾症 彩版 29.3①~②	193
甜菜缺硫症 彩版 29.4	193
甜菜缺镁症 彩版 29.5	193
甜菜缺铁症 彩版 29.6	194
甜菜缺钙症 彩版 29.7	194
甜菜缺锌症 彩版 29.8	194
甜菜缺锰症 彩版 29.9	194
甜菜缺硼症 彩版 29.10	194
甜菜缺钼症 彩版 29.11	194
(二)甜菜的施肥技术	194
十三、烟草的营养诊断与施肥技术	
(一)烟草营养元素失调症	

烟草缺氮症 彩版 30.1	196
烟草缺磷症 彩版 30.2	196
烟草缺钾症 彩版 30.3	196
烟草缺硫症 彩版 30.4	197
烟草缺镁症 彩版 30.5	197
烟草缺锰症 彩版 30.6	197
烟草缺钙症 彩版 30.7~8	197
烟草缺锌症 彩版 30.9	198
烟草缺铁症 彩版 30.10	198
烟草缺铜症 彩版 30.11	198
烟草缺硼症 彩版 30.12①~②	198
烟草氯失调	198
(二)烟草的施肥技术	199
十四、其它作物营养元素失调症	
可可缺钾症 彩版 30.13	200
茶树缺氮症 彩版 31.1	200
茶树缺磷症 彩版 31.2	200
茶树缺钾症 彩版 31.3	200
茶树缺铁症 彩版 31.4	201
茶树营养元素缺乏症状及对策	201
茶树的施肥	201
剑麻缺钾症 彩版 31.5	204
油棕缺钾症 彩版 31.6	204
橡胶树缺钾症 彩版 31.7	204
咖啡缺钾症 彩版 31.8	205
十五、紫花苜蓿营养元素失调症	
紫花苜蓿缺钾症 彩版 31.9	
紫花苜蓿缺磷症 彩版 31.10①~②	
紫花苜蓿缺硼症 彩版 31.11	
紫花苜蓿缺镁症 彩版 31.12	
附 录	
1、作物营养元素缺乏症检索表	205
2、农作物叶面喷肥种类	206
3、农家肥与绿肥的氮、磷、钾含量速查表	207
4、一些作物利用养分的近似值	208
参考文献	209

I、植物营养与施肥原理

植物营养原理是进行农作物营养诊断、指导合理施肥的理论基础。而要做到合理施肥,科学调节农作物营养,了解植物营养与施肥的原理是很有必要的。

一、植物生长发育必需的营养元素与施肥原理

(一)植物的元素组成

植物的组成十分复杂。一般新鲜植株体含有 75%~95% 的水分,5%~25% 的干物质。如果将干物质燃烧,其中的碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)等元素以二氧化碳、水、分子态氮和氮的氧化物形式跑掉,留下的残渣称为灰分。因此,植物必需的营养元素除碳、氢、氧外,可以分为氮及灰分元素两大类。地球上自然存在的化学元素有 92 种,到目前为止,已发现植物体内化学元素大约有 70 多种,但是,这些化学元素在植物体内含量不同,而且所含的这些元素不一定是植物生长必需的。有些元素可能是偶然被植物吸收,甚至还能大量积累;反之,有些元素对于植物需要虽然极微,然而都是植物生长不可缺少的营养元素。

(二)植物必需营养元素的种类

高等植物已知需要碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)等 16 种营养元素,其中碳、氢、氧从空气中获得,其余的元素从土壤与肥料中获得,称为矿质营养元素。但需要量之间差别很大,一般分为大量元素和微量元素。表 1-1 是高等植物必需的营养元素和比较适合的含量。

表 1-1 高等植物必需的营养元素及其较适合的浓度

(Stout, P. R.)

营 养 元 素		植物可利用的形态	在 干 组 织 中 的 含 量	
			百 分 率 (%)	ppm
大 量 营 养 元 素	碳(C)	CO ₂	45	450,000
	氧(O)	O ₂ , H ₂ O	45	450,000
	氢(H)	H ₂ O	6	60,000
	氮(N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1.5	15,000
	钾(K)	K ⁺	1.0	10,000
	钙(Ca)	Ca ²⁺	0.5	5,000
	镁(Mg)	Mg ²⁺	0.2	2,000
	磷(P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	0.2	2,000
	硫(S)	SO ₄ ²⁻	0.1	1,000

营 养 元 素		植物可利用的形态	在 干 组 织 中 的 含 量	
			百 分 率 (%)	ppm
微 量 营 养 元 素	氯(Cl)	Cl^-	0.01	100
	铁(Fe)	$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}$	0.01	100
	锰(Mn)	Mn^{2+}	0.005	50
	硼(B)	$\text{BO}_3^{3-}, \text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	0.002	20
	锌(Zn)	Zn^{2+}	0.002	20
	铜(Cu)	$\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}^+$	0.0006	6
	钼(Mo)	MoO_4^{2-}	0.00001	0.1

近年来许多文献报导,钠、钴、硅、钒、镍等元素对某些植物的生长有良好作用,甚至也是不可缺少的。如藜科植物需要钠;豆科作物需要钴;蕨类植物和茶树需要铝;硅藻和水稻都需要硅;紫云英需要硒等。只是限于目前的科学技术水平,尚未证实它们是否为高等植物普遍所必需。所以,称这些元素为有益元素。由于分析技术,尤其是化学药品的纯化技术不断改进,有可能使许多植物体内含量极低的一些化学元素进入必需营养元素的行列,也有可能再发现一些新的必需营养元素。

各种必需营养元素在植物体内的含量的相差很大(表1),一般可根据植物体内含量的多少划分为大量营养元素和微量营养元素。大量营养元素含量一般占干物质重量的0.1%以上,它们是碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁和硫9种;微量营养元素的含量一般在0.1%以下,有的只含0.1mg/kg,它们是铁、硼、锰、铜、锌、钼和氯7种。

上述必需营养元素在植物体内的含量常受植物种类、年龄以及环境中其它矿质元素含量等因素的影响,尤其是环境条件的影响,可使体内各种营养元素的含量发生很大的变化。在植物组织中常出现某些微量元素含量明显超过其生理需要量,例如铁、锰的含量能接近植株中硫或镁含量,这主要是环境条件影响的结果。应该指出,植物各器官中营养元素的含量,并不能完全反映植物对这些养分的实际需要量,尤其是一些非必需营养元素常常是被动吸入植物体内的。

在必需营养元素中,碳和氧来自空气中的二氧化碳;氢和氧可来自水,而其它的必需营养元素几乎全部是来自土壤。只有豆科作物有固定空气中氮气的 ability,植物的叶片也能吸收一部分气态养分,如二氧化硫等。由此可见,土壤不仅是植物生长的介质,而且也是植物所需矿质养分的主要供给者。实践证明,作物产量水平常常受土壤肥力状况的影响,尤其是土壤中有效态养分的含量对产量的影响更为显著。

在正常施肥情况下,大量元素肥料的施肥量为每亩10~50公斤,而微量元素肥料每亩只需施用0.1~2公斤即可满足作物的需要(表1-2)。施用微量元素肥料的量过大不仅不会增产反而会引起作物中毒。

表1-2 作物施肥量参考表(公斤/亩)

元 素	肥 料	施用量	元 素	肥 料	施用量	元 素	肥 料	施用量
氮(N)	尿 素	40~50	磷(P)	过磷酸钙	30~50	钾(K)	硫酸钾	10~15
锰(Mn)	硫酸锰	1~2	锌(Zn)	硫酸锌	1~2	硼(B)	硼 砂	0.25~1
铜(Cu)	硫酸铜	0.25~0.5	钼(Mo)	钼酸铵	0.1~0.2			

(三)科学施肥的基本原理

1、养分补偿学说

养分补偿学说是养分归还学说的发展,是施肥的基本原理之一。德国化学家李比希 1843 年在所著的《化学在农业和生理学上的应用》一书中,系统地阐述了植物、土壤和肥料中营养物质变化及其相互关系,提出了养分归还学说。认为人类在土地上种植作物,并把产物拿走,作物从土壤中吸收矿质元素,就必然会使地力逐渐下降,从而土壤中所含养分将会越来越少,如果不把植物带走的营养元素归还给土壤,土壤最终会由于土壤肥力衰减而成为不毛之地。因此要恢复和保持地力,就必须将从土壤中拿走的营养物质还给土壤,必须处理好用地与养地的矛盾。

2、同等重要律

不论大量元素或微量元素,对农作物来说都是同等重要的,缺一不可,缺少了其中的任何一种营养元素,作物就会出现缺素症状,而不能正常的生长发育、结实,甚至会死亡,导致减产或绝收。例如作物对铜的需要量很少,但小麦缺少了它就会出现不孕小穗。

3、不可代替律

作物需要的各种营养元素,在作物体内都有其一定的功能,相互之间不能互相代替。如缺少钾,不能用磷代替,缺磷不能用氮代替。也不能用和它们化学性质十分相似的元素所代替。缺少什么元素,就必须施用含有该元素肥料。

4、最小养分律

上述的两条定律说明,要保证作物的正常生长发育,获得高产,就必须满足它们所需要的一切元素的种类和数量及其比例。若其中有一个达不到需要的数量,生长就会受到影响,产量就受这一最小元素所制约。最小的那种养分就是养分限制因子。无视这种养分的短缺,即使其它养分非常充足,也难以提高作物产量。

需要提出的是最小养分不是指土壤中绝对含量最少的养分,而是对作物的需要而言的,是指土壤中有效养分相对含量最少(即土壤的供给能力最低)的那种养分。最小养分不是不变的,它随作物种类、产量和施肥水平而变。一种最小养分得到满足后,另一种养分就可能成为新的最小养分。例如,解放初期,我国基本上没有化肥工业,土壤贫瘠,突出表现缺氮,施用氮肥都有明显的增产效果。

到了 60 年代,随着生产的发展、化学氮肥的施用量有了一定增长,作物产量也在提高,但有些地区开出现单施氮肥增产效果不明显的现象,于是土壤供磷不足就成了当时进一步提高产量的制约因素。在施氮基础上,增施磷肥,作物产量大幅度增加。到了 70 年代,随氮、磷用量的增长及复种指数的提高,作物产量提高到了一个新水平,对土壤养分有了更高的要求,南方的有些地区开始表现缺钾;北方一些高产地块也出现了土壤供钾不足或某种微量元素的缺

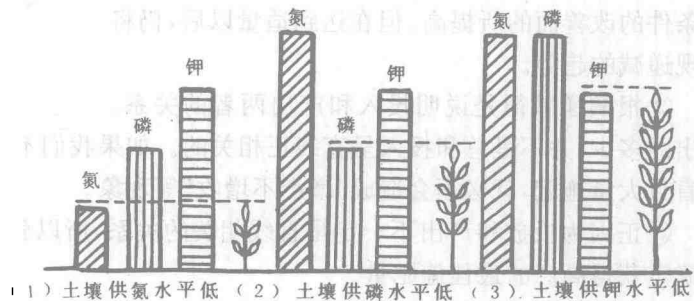


图 1 最小养分随条件变化与作物增产的关系示意图

(1)土壤供氮水平低 (2)土壤供磷水平低 (3)土壤供钾水平低

乏。最小养分一般是指大量元素,但对某些土壤缺硼,出现油菜花而不实或棉花的蕾铃脱落;北方出现的水稻坐蔸和玉米白化苗病,只有在施用硼肥或锌肥后,病症才会消退。

最小养分率可用图2形象地表示出来。土壤好比一个盛水的木桶,构成木桶的每一块木板代表土壤中一种营养元素,如果土壤缺氮,氮素就是最小养分,代表氮素的木板就比其他木板低一些,木桶的盛水量代表作物的产量,盛水超过代表氮素的木板就会自然流出,要想提高木桶的盛水量,必须提高氮素木板的高度。根据最小养分律,在施肥实践上,应根据土壤有效养分含量和作物需肥特性,首先施用含量小养分的那种肥料,当发生最小养分转变,新的最小养分出现时,施肥的目的随之转变到解除新的最小养分限制作用上来,因而在实际施肥过程中,需进行各种肥料的配合施用,使各种养分因子在较高水平上满足作物需要。

5. 报酬递减律

该规律可概述为:在生产条件相对稳定的前提下,随着施肥量的增加,作物产量也随之增加,但增产率为递减趋势。

这一经济规律包含以下几层意思。

①这一规律是以各项技术条件相对稳定的为前提,反映了限制因子与棉花增产的关系。如果在生产过程中,某项技术条件有了新的改变或突破,那上述限制因素也就随之发生变化。原来的生长限制因素很可能让位给另一生长限制因素,产量将随新的因素条件的改善而有所提高。但在达到适量以后,仍将出现递减的趋势。

②报酬递减律是说明投入和产出两者的关系。产出的多少,并不是总和投入呈直线正相关的。如果我们不注意研究投入和产出的关系,而一味地盲目大量施肥,就必须会造成“增产不增收”等现象。

③正因为投放和产出不一定呈直线相关的关系,所以就应该根据农作物对肥料的效应曲线来确定获得高产的最佳施肥量。

总之,充分认识报酬递减这一经济规律,并用它来指导施肥,就可避免施肥的盲目性,提高肥料的利用率,从而发挥肥料最大的经济效益。另一方面,我们也不应该消极的对待它,片面地以减少化肥施用量来降低生产成本;相反,我们应研究新的技术措施,促进生产条件的改进,在逐步提高施肥水平的情况下,力争提高肥料的经济效益,促进农业生产的持续发展。

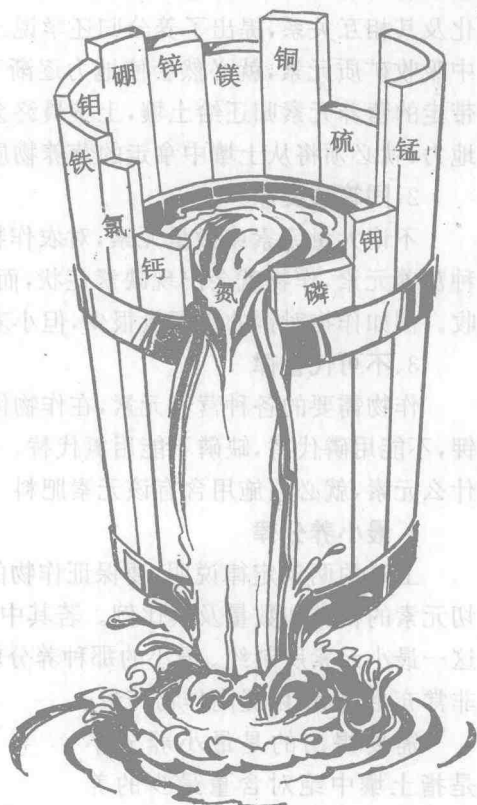


图2 李比希的“最小养分率”

二、氮素营养与氮肥

我国绝大部分耕地土壤氮素供应不足,在农业生产中氮素往往成为限制产量的主导因素,因此,施用氮肥均可普遍增产。

(一)氮的营养功能

- 作物体内含氮化合物主要以蛋白质形态存在。蛋白质中氮含量约占 16%~18%,蛋白质是构成生命物质的主要成分。

- 氮也是核酸的组成成分。核糖核酸(RNA)和脱氧核糖核酸(DNA)是合成蛋白质和决定生物遗传性的物质基础。植物体内的遗传信息靠脱氧核糖核酸传递。

- 氮也是植物体内许多酶的组成成分。因而氮也通过酶而间接影响植物体内的各种代谢过程。

- 氮也参加叶绿素的组成。叶绿素是植物进行光合作用的场所,因此叶绿素含量多少,直接与光合作用产物、碳水化合物的形成密切相关。植物缺氮时,体内叶绿素含量减少,叶色呈浅绿或黄色,叶片的光合作用就会减弱,碳水化合物含量降低。

- 植物体内一些维生素如维生素 B₁、B₂、B₆、PP 等也含有氮。它们是辅酶的成分,参与植物的新陈代谢。一部分植物激素如生长素、细胞分裂素也是含氮化合物,它们对促进植物生长发育过程有重要作用。

(二)植物体内氮的含量和分布

植物需要多种营养元素,而氮素尤为重要。从世界范围看,在所有必需营养元素中,氮是限制植物生长和形成产量的首要因素。它对改善产品品质也有明显作用。一般植物含氮量约占植物体干重的 0.3%~5%,而含量的多少与植物种类、器官、发育阶段有关。

豆科作物含有丰富的蛋白质,含氮量也高。按干重计算,大豆植株中含氮 2.49%、紫云英植株含氮 2.25%;而禾本科作物一般含氮量较少,大多在 1%左右。但作物种类不同含氮量也不相同,如玉米含氮常高于小麦,而小麦又高于水稻。即使是相同种类的作物也常因品种不同,而含氮量有明显差异。

植物体内氮素主要存在于蛋白质和叶绿素中。因此,幼嫩器官和种子中含氮量较高,而茎秆含量较低,尤其是老熟的茎秆中含氮量更低。如小麦籽粒含氮 2.0%~2.5%,而茎秆仅含 0.5%左右;豆科作物籽粒含氮 4.5%~5%,而茎秆仅含 1%~1.4%。玉米也有相同的趋势:叶片含氮 2.0%,籽粒 1.5%,茎秆 0.7%,苞叶最少,只有 0.4%。

同一作物的不同生育时期,含氮量也不相同。如水稻,分蘖期含氮量明显高于苗期,通常分蘖盛期含量达最高峰,其后随生育期推移而逐渐下降。在各生育期中,作物体内氮素的分布在不断变化。在营养生长阶段,氮素大部分集中在茎叶等幼嫩的器官中;当转入生殖生长时期以后,茎叶中的氮素就逐步向籽粒、果实、块根或块茎等贮藏器官中。

(三)植物缺氮症状与供氮过多的危害

1、作物缺氮的外部特征 作物叶片出现淡绿色或黄色时,即表示有可能缺氮。

苗期 由于细胞分裂减慢,苗期植株生长受阻而显得矮小、瘦弱,叶片薄而小。禾本科作物表现为分蘖少,茎秆细长;双子叶作物则表现为分枝少。

后期 若继续缺氮,禾本科作物则表现为穗短小,穗粒数少,籽粒不饱满,并易出现早衰而导致产量下降。

许多作物在缺氮时,自身能把衰老叶片中的蛋白质分解,释放出氮素并运往新生叶片中供其利用。这表明氮素是可以再利用的元素。因此,作物缺氮的显著特征是植株下部叶片首先褪绿黄化,然后逐渐向上部叶片扩展。

表 2-1 几种主要作物氮素缺乏症状^[37]

作物	氮素缺乏症状
水稻	植株瘦小,直立,分蘖少,叶片小,呈黄绿色。从叶尖沿中脉扩展到全部,下部叶片首先发黄焦枯,穗小而短,并提前成熟,根细而长,根量少。
小麦	叶片短、窄,基部叶片叶色先发黄,植株瘦小,直立,分蘖少,穗粒少而小。根细而长,根量少。
大麦	叶色淡黄绿,老叶叶尖干枯,逐步发展为基部叶片枯黄,茎细长,直立,有的呈淡紫色,分蘖少,穗小。
玉米	植株矮小,生长缓慢,叶片由下而上失绿发黄,症状从叶尖沿中脉向基部发展先黄后枯,成“V”字形。
油菜	植株矮小瘦弱,分枝少,叶片小而苍老,叶色从幼叶至老叶依次均匀失绿,由淡绿→淡绿带黄→淡红带黄,根特别细长。
大豆	叶片出现青铜色斑块,渐变黄而干枯,生长缓慢,基部叶首先脱落,茎瘦长,植株生长缓慢显得矮小、瘦弱。花、荚稀少,根瘤少,发育差。
花生	叶片呈淡黄色至几乎白色,茎发红,根瘤很少,植株生长不良。
蚕豆	植株矮小,瘦弱,叶片小而薄,呈淡绿色,老叶则呈黄色,过早脱落,花也少。
棉花	植株矮小,叶片由下而上逐渐变黄,幼叶黄绿,中下部叶片黄色,下部老叶片为红色,叶柄和基部茎秆暗红或红色,果枝少,结铃小。
烟草	生长缓慢,幼叶叶色淡绿,中下部叶片变成柠檬黄或橙黄色,并逐渐干枯脱落,落叶的多少,依氮素贫乏的程度而异,其余叶片向上竖立,与茎形成的夹角较小。
甘蔗	植株瘦弱,茎呈浅红色,叶片呈黄绿色,叶的尖端和边缘干枯,老叶淡红紫色,分蘖受阻。
糖用甜菜	植株矮,叶片狭而薄,小而黄。贮藏根小,发育不良,并且微带红色。
马铃薯	叶面积小,淡绿色到黄绿色,中下部小叶边缘褪色呈淡黄色,向上卷曲,提早脱落,植株矮,茎细长,分枝少,生长直立。块茎品质差。

2、氮素过多的危害 供应充足的氮素能促使植物叶片和茎加快生长,然而必需有适量的磷、钾和其它必需元素的存在,否则氮素再多也是不可能增产的。

如果整个生长季中供应过多的氮素,则常常使作物贪青晚熟。在某些生长期短的地区,作物常因氮素过多造成生长期延长,而遭受早霜的严重危害。

大量供应氮素常使细胞增长过大,细胞壁薄,细胞多汁,植株柔软,易受机械损伤和病害侵

袭。

氮素供应过多还会使谷类作物叶片肥大,相互遮荫,碳水化合物消耗过多,茎秆柔弱,容易倒伏而导致减产。棉花常用氮素过多而生长不正常,表现为株型高大,徒长,蕾铃稀少而易落,霜后花比例增加。甜菜块根的产糖率也会因施氮量过高而下降。

含氮量高的植物具有细胞多汁的特点,这时纤维作物是不利的,例如,对大麻供氮量过多,则表现为生物量虽有增加,但纤维产量减少,细胞壁薄,纤维拉力降低。

(三)作物氮素化学诊断

作物化学诊断包括组织速测诊断及叶片常规(全量)分析诊断两部分。前者属于半定量的诊断方法,具有简单快速的特点,目前多用于作物氮、磷、钾等营养状况诊断。后者结果较前者准确,方法成熟,被国内外广泛应用,但诊断费时。

1、速测诊断及诊断指标

(1)旱作硝态氮的诊断指标

表 2-2 旱作硝态氮的速测诊断指标

作物名称	栽培条件	采样部位	采样时间	作物 $\text{NO}_3\text{-N}$ 水平(ppm)				参考文献
				低	中	高	过	
小麦	田间	叶鞘	拔节期	100	250	500	>750	1
		叶鞘	冬前分蘖期	<200	300-400			5
		叶鞘	返青期	<200	200-300			5
		叶鞘	开花期	<100	100			5
玉米	田间	叶鞘下半段	苗期	100	300-500	500-600		6
		叶鞘下半段	拔节期	300	500	800-1000		6
		果穗在位叶中脉	扬花期	100	300-500	500-600		6
棉花	田间	顶部第三叶叶柄	蕾期	500-800				7
		顶部第三叶叶柄	盛花结铃期	100-200				7
		顶部第三叶叶柄	开花后期	>100				7
		顶部第三叶叶柄	花铃期	<100	200-300	>300		3
甘薯	田间	顶部第六张叶	生长早期	1500	2500	3500		

(2)水稻氨基酸氮的诊断指标

表 2-3 水稻氨基酸氮的诊断指标^[11]

作物	栽培条件	采样部位	采样时期	氮素营养状况			
				低	中	高	过
单季稻	田间	第三叶鞘	分蘖期	<150	150-200	200-250	>250
双季稻、后季稻	田间	第三叶鞘		104-140	125-200	200-240	

(3) 水稻淀粉法氮素诊断指标

表 2-4 水稻淀粉法氮素诊断指标

株顶第一叶鞘	染色后 A/B 值稻株氮素营养水平	0.4—0.5 一类苗(高)	0.5—0.6 二类苗(高)	0.6—0.7 三类苗(高)	福建省农业科学院标准
株顶第二叶鞘	染色后 A/B 值稻株氮素营养水平	<1/3 高	1/2 正常	>2/3 缺	中国科学院南京土壤研究所标准

2、叶片全氮素诊断及诊断指标

测量定法 叶片全氮分析通常用开氏法消煮,以蒸馏法定氮,也可以用扩散法定氮。

表 2-5 一些作物的全氮含量诊断指标

作物	栽培条件	采样部位	采样时间	氮素营养状况				参考文献
				低	中	高	过	
水稻	田间	功能叶	分蘖期	3.15	4.04	4.80	5.00	8
		第二、三叶	幼穗分化期	2.02	3.15	3.82	4.80	8
			减数分裂期	1.97	2.27	2.40		9
			齐穗期	1.46	1.63	1.82		9
杂交水稻	田间	植株	分蘖期	<2.5	3.0—3.5			10
		植株	幼穗分化期	<2.5	>2.5			10
		植株	抽穗期	<1.2	1.2—1.3			10
冬小麦	田间	叶片	拔节期	<3.5	3.6—3.9	>4.2		2
		叶片	孕穗期	<4.0	4.0—4.5	>4.8		2
棉花	田间	叶片	蕾期	3.23	3.68	4.23		3
		叶片	初花期	2.15	3.69	4.03		3
		叶片	花铃期	2.49	2.85	3.13		3
油菜	田间	植株	苗期		3.60			5
		植株	苔期		4.30			5
		植株	花期		2.30			5
		植株	成熟期		1.64			5
大麦	田间	地上部整株	抽穗期	<1.25	1.25—1.74	1.75—3.00	>3.0	
马铃薯	田间	地上部	60 天		3.76	6.33		
		地上部	73 天		3.43	4.39		
		地上部	88 天		2.87	3.00		

(五)主要土类含氮量及诊断指标

1、我国主要土类有机质和含氮量

凡是有机质含量较多的土壤,含氮量也较高。根据大量资料分析,我国以华北平原、黄土高原土壤和黄淮海地区土壤中的有机质和含氮量为最低;而东北黑土含量最高,华南、长江流域的水稻土次之。表2-6是我国各地区耕地土壤有机质和氮素含量概况。

由于我国耕地含氮量均较低,所以各地施用氮肥均有增产效果。

表2-6 不同地区土壤耕层的有机质和氮素含量^[14]

地 区	利用情况	有机质(%)	全氮(%)	C/N
东北黑土地区	旱 地	2.53~7.47	0.150~0.348	10.1~13.9
	水 田	3.19~6.91	0.150~0.350	10.1~12.3
蒙新地区	旱 地	0.60~2.48	0.052~0.195	7.0~10.9
青藏地区	旱 地	0.72~5.35	0.052~0.266	7.0~12.4
黄土高原地区	旱 地	0.63~1.39	0.04~0.097	7.0~10.0
黄淮海地区	旱 地	0.40~1.29	0.03~0.099	7.0~10.5
	水 田	1.20~3.48	0.08~0.188	8.0~12.0
华中红壤地区	旱 地	0.83~1.98	0.060~0.119	8.0~12.8
	茶园、桔园	1.30~1.96	0.067~0.100	8.1~12.0
	水 田	1.04~2.97	0.07~0.179	8.0~12.0
西南地区	旱 地	0.56~2.46	0.036~0.133	8.0~13.9
	水 田	1.00~3.45	0.061~0.192	7.5~13.9
华南滇南地区	旱 地	0.79~3.21	0.070~0.183	8.3~13.5
	胶 园	1.27~2.96	0.06~0.156	9.4~13.9
	水 田	1.52~3.98	0.08~0.206	9.0~13.0

2、土壤氮素诊断及诊断指标

(1)土壤有效氮的速测诊断

铵态氮的速测—纳氏试剂比色法

表2-7 土壤硝态氮速测诊断参考指标

NO ₃ -N(ppm)	级 别	NO ₃ -N(ppm)	级 别	NO ₃ -N(ppm)	级 别
<10	低	10~20	中	>20	高

(2)土壤水解氮的常规诊断及诊断指标

测定方法 土壤水解氮的测定可采用碱解扩散法。

诊断指标 土壤碱解氮常规诊断的诊断指标如表2-8