

甘薯的营养失调

J.N. O'Sullivan, C.J. Asher and F.P.C. Blamey

昆士兰大学农业系

澳大利亚国际农业研究中心

堪培拉 1997年

澳大利亚国际农业研究中心（简称 ACIAR）是由澳大利亚议会动议，于1982年6月创立的。其目的是帮助鉴别发展中国家的农业问题，并委托澳大利亚和发展中国家的研究人员在澳大利亚某些有特殊研究能力的领域开展合作。

在使用贸易名称的时候，这既不表示中心对任何产品的极力认可也不表示对其的歧视。

© 澳大利亚国际农业研究中心

GPO Box 1571, Canberra ACT 2601, Australia.

O'Sullivan, J.N., Asher, C.J. 与 Blamey, F.P.C. 1997年。
甘薯的营养失调。澳大利亚国际农业研究中心专题第48号，共136页。

中国—欧洲联盟农业技术中心译

策 划：于 戈

翻 译：张 莉 孙蔚青 王 原 梁 勇 刘建玲

审 校：周启疆 易小琳 于 戈

技术顾问：宋伯符

中文排版：侯学军 毕建红

ISBN 1 86320 2412

技术编辑、设计和版面编排 Arawang, 堪培拉

封面插图：印度尼西亚东爪哇甘薯地；巴布亚新几内亚 Rabaul 市场。

Foreword

(前言)

发展中国家农民种植甘薯有几种用途。在中国，甘薯作为一种粮食、家畜饲料和经济作物而大量种植。而在太平洋地区，甘薯是作为一种主要类型的食品，以供给该地区大量增加的人口的需要。重要的是，由于人口的增长而加大种植，必然耗尽土壤的自然肥力，并加剧养分失调，这是本书的中心问题。

本书的发表，得到澳大利亚国际农业研究中心（ACIAR）的竭诚支持。为促成澳大利亚国际农业研究中心，以及巴布亚新几内亚、汤加和萨摩亚群岛的科学家参加此项研究工作，研究范围集中在亚洲和太平洋地区。昆士兰大学的科学家们有一个研究诊断植物养分失调的追踪记录，这些是澳大利亚国际农业研究中心项目成功的一部分。

本书是基于一种系统的方法来研究太平洋岛屿国家内有关的试验管理和实地调查。本书对帮助出版的研究人员和澳大利亚国际农业研究中心出版部门是一个荣誉。我向他们表示祝贺。我希望本书对田间工作人员用其诊断农田养分失调状况，推荐适当的补救措施来解决这些问题时能有所帮助。本书的广泛使用对作者是极大的回报，同时对农民生产甘薯颇有裨益。

Eric T. Craswell

总裁

土壤研究和管理国际委员会

曼谷，泰国

About the Authors

(作者简介)

Jane O'Sullivan是昆士兰大学农业系植物营养学的研究人员,本人具有Melbourne大学农业科学学士学位和博士学位。本书包括的很多资料是源于她过去5年中关于甘薯和芋头养分失调的研究成果,以及她们在太平洋地区的管理成果。

Colin Asher是昆士兰大学自然资源、农业和兽医科学学院的研究主任、农学教授。他长期从事于土壤肥力的评估,特别是在亚太地区,并对一些研究较少的作物养分失调诊断方法进行改进。他参与了对可视症状的描述,以及甘薯和其它各种作物营养缺乏和过剩的组织临界浓度的研究。

Pax Blamey是昆士兰大学农学系作物农艺学高级讲师。他取得了南非Natal大学农业科学学士学位、硕士学位及博士学位。他对酸性贫瘠土壤的研究集中于铝在减少植物根生长中的作用,并致力于根环境中植物遗传性对可溶性铝的耐性机理的研究。这项研究强调了铝在植物细胞壁上反应的重要性。

Contents

(目录)

前言	3
作者简介	4
致谢	8
引言	9
甘薯养分管理	13
养分失调的原因	13
养分失调诊断	14
可视症状解释	15
养分失调的纠正	18
甘薯的养分需求	19
植物老叶养分失调症状	21
缺磷	21
缺钾	27
缺镁	32
硼中毒	39
锰中毒	43
高盐度	47
各类叶龄的养分失调症状	53
缺氮	53
缺硫	60
缺锰	64
缺铜	69
缺钼	75
锌中毒	78
铜中毒	82

植物幼叶养分失调症状	87
缺钙	87
缺铁	93
缺硼	97
缺锌	102
无特定叶症状的养分失调	109
铝中毒	109
病原体和虫害引起的叶症状	113
参考文献	121
附录一、术语，科学名称，缩写，换算和符号	129
附录二、营养失调的关键词	133

Tables

表 格

表1 世界各地区 1993 年甘薯的总产量、人均产量和单位产量，以及 从 1985 年 - 1995 年间的百分比变化（引自 FAO，1996 年）	9
表2 甘薯和其它主要热带作物的可食用能量、每千焦耳可食用部分 的大约构成.....	10
表3 养分缺乏和中毒的临界浓度及甘薯的适宜浓度范围，测自种植 后 28 天从芽尖开始第 7—9 片伸展开的叶子。数据来自栽培品 种 Wanmun 的溶液栽培试验.....	17
表4 50 吨 / 公顷（高产）和 12 吨 / 公顷（平均）甘薯作物从土壤 中带走的养分估量，一种是只收获储藏根，另一种是根、蔓一 起收获	19

Figure 图表

图表 1 作物组织中的养分浓度和与最大产量相关的干物重量间的图解关系	16
--	----

Plates 插图

图 1 缺磷	22
图 2 缺钾	27
图 3 缺镁	32
图 4 硼中毒	40
图 5 锰中毒	44
图 6 盐渍度	47
图 7 缺氮	55
图 8 缺硫	61
图 9 缺锰	65
图 10 缺铜	69
图 11 缺钼	76
图 12 锌中毒	79
图 13 铜中毒	82
图 14 缺钙	88
图 15 缺铁	93
图 16 缺硼	98
图 17 缺锌	103
图 18 铝中毒	110
图 19 由病原体引起的叶片症状	115

Acknowledgments

(致谢)

本书是澳大利亚国际农业研究中心 (ACIAR) 第9101号项目的成果, 该项目的题目是“对亚太地区块根作物矿物营养失调的诊断及纠正”。

很多人对本书的编著提供了极大的支持和帮助。项目合作研究人员包括汤加王国农林部的S. Halavatau先生; 来自巴布亚新几内亚Lae技术大学的A.J. Dowling博士, M. Johnston博士, V.P. Ila'ava先生和A. Hartemink先生; 来自巴布亚新几内亚农业和家畜局的W.D. Humphrey先生和S. Ivahupa女士; 来自澳大利亚昆士兰基础工业局的L. Loader先生。作者对J. Mercer女士, G. Walters先生, D. Browne女士, D. Appleton先生和J. Oweczkin先生通过昆士兰大学对本项研究工作所做的贡献和帮助表示衷心感谢。

衷心感谢堪培拉澳大利亚国立大学的R.M. Bourke先生, 他提供了在巴布亚新几内亚进行甘薯研究的一些照片和文字说明。同样非

常感谢来自肯尼亚首都内罗毕国际马铃薯中心(CIP)的J. Low女士, 本书使用了她提供的来自乌干达的照片。衷心感谢中国—欧洲联盟农业技术中心将本书译成中文, 以及中国农业科学院宋伯符先生给予的指导。

对下面人员提供了逼真的插图表示感谢:

R.M. Bourke:	2h,3e,15a,16i
A. Braun:	19d,19f,19i
A.J. Dowling:	16g
S. Halavatau:	17h
V.P. Ila'ava:	14h,18a
L. Loader:	19e
J. Low:	3b,3f,7c,18b,18c

Introduction

(引言)

甘薯 (*Ipomoea batatas*) 是耐寒且营养丰富的主要粮食作物, 遍布于世界上所有潮湿的热带、亚热带地区。甘薯属于旋花科多年生草本植物, 有较长的藤蔓和叶子, 从单叶到有深度裂片, 形态各异。食用性块根植物, 通常指根茎作物, 是由一些侧根根上部的二次增厚形成的。在各种各样的栽培品种中, 有两种被普遍认可。种植在热带的主要品种通常是白色、红色或紫色的, 黄色薯肉的品种主要在非洲种植。橙色薯肉的品种主要在美国种植, 特点是糖份多、干物质含量少, 通常作为补充食品或甜点蔬菜。

甘薯最早种植于美洲的热带地区, 史前时期传播到南太平洋, 但传播到那些甘薯占最重要地位的国家中却是相对近期的事情。欧洲贸易和殖民者把它带到了非洲、亚洲和西太平洋地区, 1594年传入中国 (Kochhar, 1981年), 300-400年前传入巴布亚新几内亚 (Yen, 1974年), 目前人均甘薯消费量最高的国家之一——卢旺达在18世纪 (IITA, 1992年) 才开始种植。

目前全球甘薯产量为1.22亿吨, 在块根

作物中列第三位, 排在“爱尔兰”马铃薯 (2.81亿吨) 和木薯 (1.64亿吨) 之后 (FAO, 1996年) (表1)。中国是迄今为止最大的甘薯生产国, 占全球产量的84%, 越南和印度尼西亚加在一起占4%。然而, 如果按人均产量

计算, 甘薯对东部非洲国家的山区和美拉尼西亚太平洋地区来说则是最重要的。甘薯是当地人们的主要食物。 (Opio, 1990年)。表1中的地区和国家数字不反映各国内部在使用方面的变化。

Table 1. 表1 世界各地区1993年甘薯的总产量、人均产量和单位产量, 以及1985年-1995年间的百分比变化 (引自FAO, 1996年)

地区或国家	总产量 1993年 (百万吨)	人均产量 (公斤/年)	单产量 (吨/公顷)	1985-1995年 产量变化(%)	1985- 1995年单产 变化(%)
全世界	122.0	21.4	13.2	+9.4	-11.1
非洲	7.48	10.3	4.9	+8.6	-20.0
- 乌干达、卢旺达和布隆迪	4.01	112.5	5.3	+1.2	-12.3
北美	0.584	2.0	17.1	-13.4	+7.9
中美洲	0.485	3.0	3.7	-43.3	-24.6
南美	1.31	4.1	11.4	-10.7	+25.2
亚洲	111.6	35.4	15.3	+10.4	-11.0
- 中国	102.2	83.7	16.5	+13.1	-16.3
- 其他亚洲国家	9.38	4.9	8.5	-11.8	+3.7
欧洲	0.056	0.1	12.1	-46.2	+8.1
太平洋地区	0.568	54.3	4.6	+2.3	-5.5
- 巴布亚新几内亚和所罗门群岛	0.513	109.6	4.7	-1.2	-2.4

实际上,在许多地区甘薯是作为主要食物。例如,1986年在卢旺达的一项调查表明,其北部地区,甘薯的年人均消费量超过了300公斤,占全部食物消费的40% (Woolfe,1992年);早些时候对巴布亚新几内亚一些村庄的研究表明,成年人每天的消费量为1.2-1.7公斤(约相当于400-600公斤/年),占食物消费总量的90% (Sinnett,1975年)。最近一段时间,由于许多地区的进口食物增多,这种比例已有所下降。但对巴布亚新几内亚的山地居民来说,仍有50%的饮食能量和30%的蛋白质是靠甘薯获取的(Harvey与Heywood,1983年)。

种植甘薯主要是作为食物,供种植者家庭食用,或不经加工处理提供给当地市场。然而越来越多的甘薯被加工成工业淀粉、酒精、粉条和其他产品,尤其是在中国。在一些地区,甘薯还用作支持家畜生产,甘薯蔓和小块甘薯都可以利用。在巴布亚新几内亚,靠甘薯养猪一直是主要的贸易项目和致富手段,它可以消耗甘薯收成的60% (Harvey与Heywood,1983年)。在秘鲁的卡涅特流域,甘薯支撑着现代乳品工业(Woolfe,1992年)。

从潮湿的热带到温暖的温带,从海平面到海拔2700米高度,甘薯均可广泛种植

(Bourke,1985年)。与可以在半干旱条件下生长的木薯相比,甘薯更能适应海拔较高地区的低温和难以耕作的土地。但是甘薯不耐涝,通常种植于山脊或山冈。在有利的生长条件下,甘薯蔓很快就长得盖住了土地,同时起到消除杂草的作用,因而把种植后所需的劳力降至最低。

Clarke (1973年)确定了有助于甘薯快速增长的一系列因素,以使其代替芋头和山药而在巴布亚新几内亚农业中占主导地位。更重要的是,甘薯对土壤条件的适应性非常

强,可以持续轮作,可以在较贫瘠的土地耕种,而且它所需的劳力少,收益快,可以根据消费需要延长收获期,喂养动物前不需煮熟。人口增长的压力及经济作物需要大量土地和劳力的压力都推动了甘薯生产,这些因素在那些以甘薯为主要生存作物的国家中起了很大的作用。

甘薯的短生长期(平均140天)和高食用率,使它相对于其他主要作物具有更高的可食用能量(表2)。表2中的数据是基于热带国家的平均量,并未考虑不同的生长条件。例

Table 2. 表2 甘薯和其它主要热带作物的可食用能量、每千焦耳可食用部分的大约构成

	可食用能量 千焦耳/公 顷/天 ^a	蛋白质 ^b (克)	钙 ^b (毫克)	铁 ^b (毫克)	胡萝卜素 相当于 ^{b,c} (毫克)	维生素B1 ^a (毫克)	维生素B2 (毫克)	烟碱酸 ^a (毫克)	维生素C ^{a,c} (毫克)
甘薯	201	3.6	67	1.5	0-42 ^d	0.22	0.08	1.5	62
木薯	146	1.7	66	1.9	0-0.25	1.10	0.05	1.1	48
马铃薯	205	5.9	25	2.3	微量	0.31	0.11	3.4	85
香蕉	184	3.3	20	1.5	1.0-2.6	0.09	0.09	1.3	38
大米	138	4.1	14	0.3	0	0.04	0.02	0.7	0
小麦	142	7.5	21	1.1	0	0.21	0.06	1.4	0
玉米	155	5.7	13	1.9	0.3	0.23	0.09	1.3	0
高粱	100	7.6	11	4.7	0	0.33	0.08	2.3	0

来源: ^a de Vries等(1967年), 源自Platt(1965年); ^b Woolfe(1992年)。

^c 18-78%的维生素C(维他命C)和20-25%胡萝卜素在煮沸过程中损失。

^d 橙色甘薯的胡萝卜素含量较高。

如，作为传统作物，甘薯、木薯和高粱就比大米、马铃薯或小麦更易于在贫瘠的土地上种植，不用灌溉或施肥。这些因素进一步强调了甘薯高产的潜力。

通常认为块根作物比谷物的养分低(de Vries等,1967年)。但是，如果在相同能量(表2)的基础上进行比较，甘薯的蛋白质含量与大米基本相当。此外，甘薯的蛋白质含量非常容易变化，通过基因和种植管理因素极有潜力大幅度提高。南太平洋地区的一项作物调查发现，甘薯的蛋白质含量从0.46%到2.93%不等，相当于每千焦耳1.6-6.1克(Bradbury与Holloway,1998年)。

甘薯还是钙、维生素C(维他命C)和β胡萝卜素(原维生素A)的极好来源。黄色及橙色薯肉品种的甘薯胡萝卜素含量尤其高。作为原维生素A的来源，只有胡萝卜与其相当(Woolfe,1992年)。在许多以大米为主食的国家中，缺乏维生素A是一个普遍、严重的健康问题，是引起儿童失明的主要原因。维生素A较缺乏可降低儿童对感染性疾病的抵抗力，使儿童死亡率上升。针对这个问题，许多亚洲国家正采取措施，促进食用黄色薯肉的甘薯。在一定范围内培育干物质含量高、糖分含量少的黄色薯肉的甘薯，对于把甘薯作

为主要传统作物的食用者来说比较容易接受。

在许多国家，尤其是亚洲，甘薯的叶状嫩芽被当作绿色蔬菜食用，它的蛋白质含量很高(约占干物质重量的20%)，同时也是β胡萝卜素、维生素B1、维生素B2、叶酸和维生素C的极好来源(Villareal等,1985年;Woolfe,1992年)。

在许多国家，甘薯被看作是穷人的食品，在高收入阶层中的人均消费量较低(Woolfe,1992年)。这种观点可能导致与其他类似的作物相比，对甘薯开发的研究投入相对较少。大多数研究主要是进行选择 and 培育改良品种，考虑到这能给培育者带来作物改良的巨大潜力和多样化的品种，因此这种想法是合理正确的。仅在巴布亚新几内亚，约1200个新增的品种被保留下来，而本地的所有品种约有5000个(Bourke,1985年)。然而，尽管在短期内就有巨大潜力，但对改进作物管理的关注仍相对较少，尤其是在作物养分方面。

在理想的条件下，甘薯的产量有可能达到每公顷80-100吨，但在大多数实际条件下不可能实现这样的产量。在集约化情况下，例如在爪哇东部发现的高投入体系中，最好的农民在4个月的种植期内实现的产量一直是每公顷30-50吨(E.van de Fliert,1996年)。即

使在自留地上，巴布亚新几内亚的产量记录也是从每公顷1吨(Floyd等,1998年)到50吨(Conroy与Bridgland,1950年,引自Brouke,1982年)不等，而全球的平均产量约为每公顷13吨(表1)。在经济不发达国家，产量仅为每公顷4-6吨。产量差距表明，在改善作物生产方面存在巨大潜力。非洲、太平洋及中美洲地区尤其是这样，由于人口增长和经济作物扩展，土地资源压力很大，改善作物生产尤为重要。而这些地区的产量或是下降或是几乎停止不变(表1)，这一点令人困惑。

在生产条件下，有许多因素可导致低产，其中养分问题很值得注意。首先是因为它的普遍性，其次是因为解决养分问题可获得高产。养分缺乏几乎总是限制作物产量的重要因素，即使在稳产作物中也很普遍。矿物毒性，尤其是那些与酸性土壤有关的，对很多地区有影响，还可能引起粮食歉收，但这些问题常常不能正确诊断。同一块土地由于持续耕作导致的产量下降在很大程度上常常是因为土壤养分衰竭所致，这一点可以从向种植过度的土地追加养分，通过有机覆盖物，或通过无机肥的形式(例如Bourke,1985年;D'Souza与Brouke,1986年;Floyd等,1988年)，而使甘薯产量增加中看出。但是，由于

土地资源的压力增加，传统依靠更新肥力的休闲作法已受到冲击（Bourke, 1977年；Halavatau等, 1996年）。新的要求是在那些集约化耕种后使产量降低的地区恢复持续耕作能力，在因生产扩大而使土地资源受限的地区提高产量。

对养分问题的准确诊断是找出解决方法的重要的、必不可少的第一步，这些方法从技术角度而言是正确、可行的，对环境也将是有益的。纠正养分失调并不仅仅要求使用无机肥料，在某些情况下，解决方法可以是利用当地资源，改进管理方法，包括使用作物轮作中的豆科作物。有许多传统方法可增

加或保持土壤养分（例如D'Souza与Bourke, 1986年），新技术也正持续不断地得到发展，但不断扩大的贸易和收入的机会使越来越多的生产者选择使用化肥。为使生产者获得最大利益，就需要在了解作物需求的基础上改良土壤，并认识到在某一地方有哪个或哪些因素对产量制约最大。

本书旨在从养分问题的判断及如何解决等方面，为从事甘薯生产的人们提供帮助。尽管我们认识到，有关甘薯养分知识较深奥的部分难以被有些农民所接受，但我们还是尽量全面涉及目前有关甘薯的知识。我们希望本书能够使农业顾问从中获得适用于当地甘薯种植者的环境、耕作和可利用资源的相关信息。

The structure and use of this book

本书结构及使用方法

本书提供了有关所有甘薯养分失调的详细的、配有插图的说明。这些失调问题在田间条件下极有可能发生，每一例说明都包含一些养分失调的发生和管理的相关信息。书中还提到其他可能出现的类似症状以及可用于对明显症状进行暂时处理的诊断性实验。甘薯养分管理部分可以帮助解释各种症状、决定下一步要采取的步骤。此外，书中还包括专业术语汇编（附录1）。

为帮助读者快速得到相关信息，我们根据症状易被发现的作物部位对养分失调进行了归类。书后面（附录2）是症状明显的各种养分失调的关键词，它可以用作每种失调的快捷参考信息，读者可以首先参阅这些关键词。

(甘薯养分管理)

作物养分是指作物组织的基本组成部分的化学元素，作物要健康生长就需要适量获得这些元素。作物中含量最多的元素碳(C)、氧(O)、氢(H)是从空气和水中获得的。其他的，主要指矿物养分，是由土壤中的矿物和有机成分提供。根据它们在作物中含量不同，可以将其分为两大部分，大量元素氮(N)、钾(K)、磷(P)、钙(Ca)、镁(Mg)和硫(S)构成了作物干物质的0.1-6%，微量元素铁(Fe)、氯(Cl)、硼(B)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)和钼(Mo)在每千克干物质中的含量要求是0.1-100毫克。

任何一种养分的缺乏都会导致作物生长速度减慢，产量降低，这一问题只能通过增加相应的养分供给加以解决。例如，氮肥和磷肥就不能补偿缺硼。因此，为有效解决养分失调，就必须对其作出正确诊断。

还有一点也很重要，即认识到超出作物需求而过分提供养分对作物并无益处，这种花费没有必要，而且当多余的养分渗到小溪

和地下水时还会造成环境污染。

许多矿物养分(包括B、Cl、Mn、Cu)，当其呈现较高浓度时会对作物造成毒害，其他一些对甘薯来说不是重要养分元素的物质也可能产生毒性，这些包括铝(Al)——酸性土壤中存在的问题以及钠(Na)——碱性土壤中存在的问题。

Causes of nutrient disorders

养分失调的原因

作物的矿物养分供给不仅取决于土壤中这种养分的总含量，而且也取决于在任何时候都以有效形式存在的养分总量的比例，另外还取决于作物获取有效养分的能力。

全部养分中通常只有一小部分可被吸收，许多重要养分的吸收受土壤pH值的影响。pH值高时(碱性土壤)，磷和许多其他微量元素(如Fe、Mn、Zn和Cu)的可溶性就会大大降低，因此可能会使作物缺乏这些养分。pH值

低时(酸性土壤)，一些元素的可溶性会降低，尤其是磷和钼，而铝和锰的可溶性却将升高到有害水平。类似铝产生毒害这样的失调会妨碍根部生长，降低作物获取养分和水的能力，而且还可能导致次生失调症状，如镁缺乏和水失调，在这种情况下，找出根本原因是非常重要的。

大量元素缺乏，尤其是氮、磷、钾，通常与持续耕作后土壤肥力下降有关，这些元素被作物大量吸收，因此种植大批作物后，土壤中所剩无几。耕作强度的不断提高导致了对外部提供这些养分的依赖。在耕作强度低的地区，可以在土地休闲期间，通过为矿物颗粒提供风化的时间，从地下向作物根区重新提供养分，以及获取由风从海浪中携带来的养分等方法补充养分。在休闲期间植物积累的养分在植物体腐烂或燃烧后可以被作物吸收。燃烧使许多养分能够被下茬作物快速吸收，但也会使这些养分极易通过淋溶而流失。燃烧还会降低土壤持续提供养分的能力，

因为可分解的有机物少了。有些养分，尤其是氮和硫，在燃烧时会扩散到空气中去。

微量元素缺乏通常与土壤中天然含量少、或是不利的土壤条件造成这些养分难以溶解有关。在含量低的情况下，解决办法通常是在每公顷土地上施加几公斤缺乏的那种养分，这可以在几年内有效，这样的投入比较经济有效，即使使用氮肥或磷肥也不贵。当养分缺乏是由不利的土壤条件造成的，如pH值很高的珊瑚色土壤的情况下，管理起来会更加困难。叶部喷洒营养液是避免其在类似土壤中固定的方法之一，提高土壤中有机物含量也很有益处。

Diagnosing nutrient disorders

养分失调诊断

作物对养分缺乏的最先反映是生长速度降低。可以确定养分失调的明显症状只有在失调已相当严重时才会出现，不过这些症状通常能最早提醒种植者已经出现问题，而且对作出诊断也很有帮助。由于作物种类对养分失调的敏感程度有所不同，所以通过对同一地区其他作物的症状观察，尽管症状不明

显，也能够向种植者和咨询者表明，同样的问题可能也正影响着甘薯作物。在可能的情况下，对作物组织进行化学分析是作出诊断的第二种方法，它对根据可视症状作出的临时诊断、在未发现症状时确定可疑问题是非常有价值的。

如果土壤的几种养分含量都低，作物通常显示缺乏最能限制生长的那种养分的症状。如果那种养分得到补充，生长速度将会提高，直至其受限于另一种最缺乏的养分，而一系列新的症状也会随之出现。除了最能限制生长的那种养分缺乏外，根据作物的症状或组织成分很难确定还缺乏哪些养分。土壤测试可以提供一些指示，但仍需对每种作物和土壤类型进行标准测定后才能作出正确解释。

发现土壤中所有缺乏养分的最简单、可靠的方法之一就是盆栽试验。在缺素盆栽试验时，每盆都得到适量的全部养分（对比或全处理），在此基础上，各盆分别减少一种养分元素。作物经过短期生长（通常4-6个星期），把其上部的干重与全处理的上部干重相比较，因缺少某种养分而导致重量明显下降时，那种养分可被认为缺乏。通常使用象玉米这样的指示作物，它的生长快速、均匀，对

养分缺乏的反映具有明显特症。然而，对于一种作物来说处于养分缺乏状态，对另外一种而言可能合适。在最近的研究中，甘薯顶端插条已成功地运用在养分盆栽试验中（Dowling, 1996年）。

如果怀疑缺乏某种养分，用来加以确认的最好办法就是观察其对含有那种养分的肥料肥效的正反应。进行肥效测试时，有一块未经处理的区域进行比较是很重要的。通常的做法是对田地中间的条形区域施肥，或是在整块地上施肥，留出中间的带状区域不施肥。肥料通常不止包含一种养分，确认哪种养分引起的肥效非常重要。例如，缺氮和缺硫在作物上能产生相似症状，通过在一块条形土地上施用硫酸铵（既含氮又含硫）、在另一块上施用尿素（只含氮）来区分，如果两块地上的作物都变绿，那就是缺氮；如果只有使用硫酸氨的作物变绿，那就是缺硫。

另一个确认微量元素缺乏的有效方法是叶片涂抹。用怀疑缺乏的那种养分的稀释溶液涂抹受影响的叶子的一半，可以通过比较涂抹和未涂抹部分的颜色或扩展情况观察反应。叶片涂抹已成功地用在判断甘薯的铁、锰

和锌缺乏上。

Interpreting visible symptoms

可视症状解释

由于每种养分在作物中所起的作用不同，每种养分失调都会产生其独特的症状，可视症状可以作为有效的诊断手段而不依赖于花费较多的实验室设备或费时较多的化学分析。然而，一些养分失调会产生类似的症状或根本没有症状，而且病虫害造成的影响和疾病也能产生与养分失调相类似的症状，环境条件（例如湿度、温度、阳光）也可能影响养分失调的出现和严重程度，不同品种的症状表现也不相同。甘薯尤其是这样，不同品种的表现形式非常多样化，这一点反映在其显示出的一系列症状中。然而，症状还是有其明显特征，如果不是只有一种原因，细心的观察者通常还是能把许多可能性归纳成几种。通过在条形区域上进行施肥测试、土壤测试、叶片涂抹或作物组织分析，就能够作出推测诊断。

可视症状经常表现为失绿症，即叶子的

绿颜色（叶绿素II色素）减退。失绿组织可能是淡绿色、黄色或白色，离叶脉最远的组织经常受侵袭最严重，因为它处于供给线的末端。因此，如果叶脉上或邻近组织的颜色比叶子其余部分的颜色深，该失绿类型通常可以描述为叶脉间失绿。除主叶脉外，支叶脉保持颜色的程度及颜色逐级变化的距离也是帮助诊断的其他特征。如果失绿症均匀地侵袭整个叶片，这叫做“普遍失绿”。“脉露病”，即叶脉颜色比叶片其他部分颜色浅，通常是病毒感染的症状而不是养分失调。

枯斑病是指组织坏死，作为组织逐渐退化的一部分，它可能继失绿症后而产生，或可能发生在叶子严重丧失功能的地方。坏死损伤的位置、形状、大小以及坏死组织的颜色、结构都是极有用的诊断依据。

其他症状包括：二次色素沉淀（红色或紫色）的出现和强度；一部分作物的形状、大小发生变化，如叶片增厚或卷曲及叶片变小、因畸形而引起叶片形状不规则或不完整，以及茎的节间变短等。

除了某种症状的出现，还必须注意症状在作物上出现的位置或区域。养分是由根系

统吸收，分布到作物各部分，其中一些养分在缺乏时或很快（如K, P）、或缓慢（如S）、或根本无法（如B, Ca）重新分布到作物新长出的部分。因此，K缺乏和P缺乏通常首先老叶上被观察到，S缺乏在新、老叶上都会发现，B缺乏和Ca缺乏多在嫩叶上发现。超出作物需求而吸收的养分在叶子的生长期继续积累，因而在积累时间最长的老叶子上将首先容易出现中毒症状。

在很多地方，甘薯很少开花或不开花。如果甘薯非同寻常地开花较多或早期开花，这通常是作物养分失调的征兆。然而，由于许多种养分失调都能使开花增多，这种症状在诊断具体是哪种养分失调时几乎没有用处。

Interpreting tissue analyses

组织分析说明

在诊断养分失调时，作物组织的化学分析也是非常重要的方法。对一年生作物进行组织分析经常是用来发现问题而不是确定施肥比例，但是，如果组织样本取自作物生长早期，并快速对其进行分析，那么也可能在

同一季节找出改进肥料施用的方法。

对组织分析的解释是基于作物产量与作物组织中养分浓度之间业已存在的关系(图1)。临界浓度是指区分养分充足(有益的)与养分不足及养分过剩以致产生毒性的界限。为切实可行,临界浓度被定义为最高产量的90%所需的浓度(Ulrich与Hills,1973年),这些浓度就是作物健康生长的浓度范围。

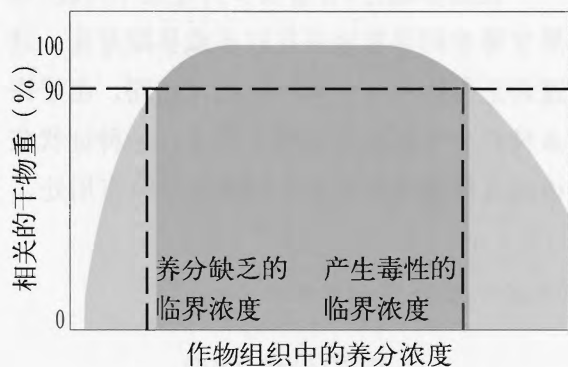


Figure 1. 图表1 作物组织中的养分浓度与最高产量相关的干物重之间的关系

作物产量与作物组织中某种养分浓度之间的关系可以通过养分溶液培养实验、温室盆栽实验或田间实验来确定。总的来说,田间实验被认为是最好的,但其花费也比溶液培养和盆栽实验大得多,而且还取决于具有被研究的养分缺乏的场地。本书的基本思路出自溶液培养实验(O'Sullivan,1996年),在可能的情况下,其可信度已在田间条件下得到证实。

人们通常选用作物的某一部分而不是整株作物来进行分析,叶子一般被认为是最合适的部分(Bates,1971年)。因为叶子在生长期中不断积累某些养分,对相同生理年龄的叶子中的养分浓度进行比较是很重要的。在一年生作物中,全部扩展开的最嫩叶片被用作“指示组织”来进行分析。然而,甘薯的叶子在其生长期中的大部分时间可能会继续扩展,因此不能简单地根据其全部扩展开来判断达到生理成熟。本书所参考的许多研究都选用不同的叶子或叶脉的不同部分进行分析,这使信息难以进行比较。在我们的研究中选用了叶子的第7—9片作为指示组织

(表3),选用它们是因为其对易移动或不移动的养分失调都能充分反映出来,并且其养分浓度的变化比幼叶小(O'Sullivan,1996年)。

除了叶子在作物上的位置所显示的生理年龄,叶子组织结构也会随着作物的年龄或生长阶段而变化。例如,一些调查者发现,缺N的临界浓度随着作物年龄而降低。因此,在把秧苗的临界浓度用于较成熟的作物组织上时应格外注意。参考表3的数据,甘薯作物在实验条件下比在田间条件下生长得快,它们可能与田间生长6—10周的作物大体相当,这取决于温度和作物的水分供给。在任何情况下,它们都代表储藏根快速生长阶段之前的作物。在诊断的基础上对作物采取改进措施,从这一点出发,在尽可能早的阶段对作物进行抽样更可取。但是,很多时候养分失调症状可能在作物生长晚期才出现,在这种情况下,组织分析仍然有用,但在解释结果时应记住因作物年龄不同而产生的差异。

环境条件可能会进一步影响叶子中的养分浓度。临界养分浓度的概念要求在对作物组织进行抽样检查时,该养分应是唯一限制

作物生长的因素。已经发现缺水能够改变叶子中的养分浓度，作物在重新获取适量水分后，需要一段时间才能恢复到正常的养分浓度 (Reuter 与 Robinson, 1986 年)。例如为了确定 *Stylosanthes humilis* 中 P 的状态, Fisher (1980 年) 建议在进行组织抽样检查前, 应有几周时间避免缺水, 这在很多情况下不太可行, 但读者应当记住这种潜在的错误根源。

采集叶子样本时, 不带叶柄而将叶片摘下, 并在采样后用温热 (60 - 70°C, 48 小时) 或微波尽快进行干燥。如果样本在干燥前必须贮存几小时, 那么最好将其冷藏 (如在冰盒中), 以使因活组织呼吸而造成的重量损失降到最低。样本叶子不被泥土弄脏是很重要的, 如果叶子上有尘土, 可以轻轻冲洗并吸干, 但应避免在水中长期浸泡和磨擦, 并且只用蒸馏水或无离子水。

对作物进行取样时, 最好从有同样症状侵袭的作物上提取叶子的混合样本 (Reuter 与 Robinson, 1986 年)。如果作物不均匀地受侵袭, 那么就取几个样本, 每个样本取自作物小而均匀的部位及从受侵袭最重到最轻的

不同部位。从每种样本上观察到的症状及其程度都应记录下来, 并在样本上清楚地贴上标签。

Soil analysis 土壤分析

土壤中某种养分的总量通常并不能反映

可供作物根部吸收的养分量, 因此开发出化学方法, 并将继续改进以用来估测可供作物吸收的养分量。除了要求方法能提供在指定土壤类型范围内准确测定养分的有效性, 土壤分析方法在被采纳为土壤测试实验室的常规方法之前, 必须具有快速、准确和重现性好的特点。

Table 3. 表 3 养分缺乏和中毒的临界浓度及甘薯的适当浓度范围, 该范围测自种植后 28 天的取样

养分	单位	养分缺乏的临界浓度	适当范围	产生毒性的临界浓度
氮	%	4.0	4.2-5.0	
磷	%	0.22	0.26-0.45	
钾	%	2.6	2.8-6.0	
钙	%	0.76	0.90-1.2	
镁	%	0.12 ^a	0.15-0.35	
硫	%	0.34	0.35-0.45	
氯	%	-	-	0.9-1.5
铁	mg/kg	33	45-80	
硼	mg/kg	40	50-200	220-350
锰	mg/kg	19	26-500	1600 ^a
锌	mg/kg	11 ^a	30-60	70-85
铜	mg/kg	4-5	5-14	15.5 ^a
钼	mg/kg	0.2	0.5-7	

^a 有时发现这些临界浓度与田间观察结果不一致, 或随环境条件而变化。请参考相关的详细讨论部分

土壤分析结果的应用建立在先前确定的作物产量与土壤测试值之间关系的基础上, 这些关系可以通过温室盆栽实验或田间实验的方法来确定。在任何一种情况下, 都是用于特定的土壤类型和作物种类(在某种程度上, 栽培品种), 因此用于其他作物或土壤时只能非常小心并具有不确定性。

土壤分析的好处之一, 即在作物播种前就可以测试并施肥。其不利之处包括: 难以找到适合各种土壤类型的方法, 因田间土壤变化而造成的采样问题, 以及预测在即将到来的季节中环境条件可能造成影响的难题等(Melsted与Peck, 1973年)。

Correcting nutrient disorders

养分失调的纠正

一旦对某个养分问题作出正确诊断后, 通常可以对其进行纠正, 如果不能对正在生长的作物进行, 那么至少可以对同一块地上即将耕作的作物进行。现有作物的产量是否能够通过纠正措施得以提高, 取决于作出诊断时问题的性质和作物的年龄。

养分缺乏可以通过增加所缺养分得到缓

解, 使用无机肥是方法之一, 如果有有机肥中含有适量的所需养分, 也可以添加类似动物粪便的有机肥。其他方法旨在改变土壤性质以提高现有养分的可吸收性, 或减少能产生毒性的养分供给。添加石灰(CaCO_3)或石灰岩($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)可提高酸性土壤的pH值, 石膏肥料($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)可用来纠正土壤表面板结及盐土渗透性差的问题。对于易涝的土壤, 有必要改善排水以减少反硝化作用、减少产生锰的有毒形态, 保证根部吸收到足够氧气以发挥其功能。甘薯根部对氧供应不足非常敏感。

增加土壤中的有机物含量有很多益处, 这些物质的逐渐分解可以稳定地提供可供作物吸收的养分, 有机颗粒还可为土壤养分保持有效形式提供合适的基质。有机物能增加土壤抗酸化的能力, 还可提高水分保持能力以使土壤可以在较长时间内抵御干旱, 还能使土壤结构疏松, 使更多的空气能够抵达根部。未经燃烧的田间作物根茎叶和休闲地上的残余物, 或是来自其他田地的作物都可增加土壤的有机物, 如果田间环境不允许遗留作物残渣, 那么可以先将其做成堆肥, 然后再还田, 或用于其他不存在虫害危险的作物。

甘薯藤蔓通常可用来喂养家畜, 动物粪便还田能代替一些养分, 但只有在增加休闲地上的作物残余或绿肥作物的情况下才能保持土壤的有机物含量。

对作物种类, 甚至是同一种类的不同品种, 对土壤养分缺乏的敏感程度各不相同, 它们可能在养分吸收或作物组织中对某种养分的需求方面有所不同。对某些作物种类, 农业科学家们已开发出可抵御某种养分问题的栽培品种, 如耐缺B的向日葵品种(Blamey等, 1984年)、能抵抗B中毒的大麦品种。在甘薯作物中存在着大量不同的栽培品种, 有证据表明, 具有地区适应性变化的某些品种可耐缺N(Jones与Bouwkamp, 1992年), 并有可能耐缺B(D'Souza与Bourke, 1986年)。研究者已确定了耐铝(如Munn与McCollum, 1976年; Sangalang与Bouwkamp, 1988年; Ritchey等, 1991年)或盐及B毒性的界限(Chavez, 1995年)。在对其他养分的需求方面可能也存在变异, 这一点将来可用来选育能够克服某些养分问题的新品种。

改善作物养分的方法取决于种植者的经济状况。如果肥料和水可很快获得并相对便宜, 种植者可将目标定为通过消除任何营养

缺乏以最大限度地发挥作物的潜力；如果肥料难以获得或太昂贵，那么目标可以定为积极利用农业生态系统中的资源，以使种植者所付出的劳动得到充分的、可持续的回报。无论在哪种情况下经营，重要的是认识到资源基础的有限性。无论是由于两次休闲间耕作轮次的增加，还是由于休闲期缩短而造成的集约化种植，可能使传统的种植制度变为非可持续性。然而，集约化种植经常伴随着从自产向经济种植的转化，在此进程中的某些方面，包括购买肥料等的投入可能会产生效益。种植咨询者们应始终意识到这些选择，即使目前还不能产生效益。

Nutrient requirements of sweet potato

甘薯的营养需求

甘薯能够耐较低的土壤肥力，它可以在对其他作物来说非常贫瘠的土地上获得相当高的产量。然而，在贫瘠土地上获得的产量仅是甘薯潜在产量的一小部分，只要略微增加一点养分供给就能使产量大幅度提高。

甘薯作物所吸收的大部分养分在收获时

从田间被带走。根据土壤养分的贮量，这种外流只能发生一次或几次，否则随后耕种的作物产量将因养分缺乏而受影响。作物带走的养分量取决于产量及甘薯蔓是否和根部一起收获。表4中列出了产量为每公顷12吨（全球平均产量）和每公顷50吨（高产）的块根大约带走的养分比例。在集约经营系统中，土

壤中所剩无几的那些养分可以通过肥料得到增补。除作物带走的养分外，因淋溶、土壤侵蚀和固定而造成的养分损失将影响对肥料的实际需求。在集约化程度较低的系统，可持续种植的比率将取决于土壤中贮存养分的有效化、有机物腐烂，以及补充土壤中可供作物吸收的养分所需的时间。

Table 4. 表4 50吨/公顷（高产）和12吨/公顷（平均）甘薯从土壤中带走的养分估量，一种情况是只收获块根，另一种是根和藤蔓一起收获

养分	作物块根产量带走的养分 ^a (kg/ha)			
	12 t/ha		50 t/ha	
	块根	块根和藤蔓 ^b	块根	块根和藤蔓 ^b
氮	26	52	110	215
磷	6	9	25	38
钾	60	90	250	376
钙	3.6	16	15	65
镁	3	6.5	12.5	27
硫	1.8	4.3	7.5	18
氯	10	18	43	75
铁	0.060	0.160	0.250	0.670
硼	0.024	0.074	0.100	0.310
锰	0.024	0.175	0.100	0.730
锌	0.036	0.062	0.150	0.260
铜	0.018	0.037	0.075	0.155
钼	0.004	0.006	0.015	0.023

^a 甘薯根部和顶部的养分浓度变化很大，带走的养分量是源于一系列资料中的代表浓度（包括 Scott 与 Bouwkamp, 1974 年; Bradbury 与 Holloway, 1988 年; Woolfe, 1992 年; Spence 与 Ahmad, 1976 年; Diem, 1962 年; Hill, 1989 年及作者本人的数据），在假设储藏根的水分 70%、蔓的水分 86% 的基础上转换出来的鲜重量。

^b 假设蔓与根的重量比率为 0.6，实际比率可能在 0.3-1.4 的范围内变化。

(植物老叶养分失调症状)

Phosphorus deficiency

缺磷

由于土壤中磷的含量并不丰富，磷对作物的效力是有限的，而且磷普遍存在于各种土壤矿物质中。在酸性土壤里，磷被吸附在氧化铝、氧化铁，以及各种粘土矿物质中。热带地区许多富饶的土壤来源于含有水铝英石的火山灰，其中含有大量的固态磷。缺磷可抑制作物生长，尤其是当前期的种植耗尽了土壤中的有机物质，加重了土壤酸化的情况下。在侵蚀严重的热带土壤和硅质沙地里，缺磷比较常见。事实上几乎没有天然含有这种养分物质的土壤。

在石灰石质的土壤里，磷被吸附在碳酸钙中，或成为磷酸钙(Tisdale等, 1993年)。pH值高可降低甘薯吸收磷的能力。在pH值为8的培养液中，发现甘薯生长迟缓(Ila'ava, 1997年)。尽管持续监测、保持溶液中磷的含量，但甘薯仍不能很好地吸收磷。

据报道，甘薯可以适应相对含磷较低的土壤(de Ceus, 1967年)。美国一些肥料试验显示，施加磷肥几乎对甘薯产量没有影响(Bouwkamp, 1985年; Jones与Bouwkamp, 1992年)。这些试验表明上茬农作物生长后残留的磷，足以满足甘薯作物的生长所需。

甘薯吸收磷的能力与囊状灌木菌根(VAM)有关。这些无处不在的土壤真菌侵入到作物根部，以作物的糖分为食。作为回报，它们可以帮助含磷低的土壤中磷的释放。许多研究表明，菌根的侵染可以有助于甘薯生长及增加产量(如Paterson等, 1987年; Khasa等, 1992年; Paula等, 1992、1993年; Dowling等, 1994年)。Floyd等(1998年)在巴布亚新几内亚山地的土壤中发现，菌根侵染的范围与甘薯的产量成正相关，与农作物对磷肥的反应成负相关。在磷的肥力较低的情况下，效果最明显(Negeve与Roncadori, 1985年)。囊状灌木菌根可能对作物本身无益或是有副作用，但当施加大量的磷肥时是有

益的。

虽然在含磷低的情况下，甘薯可以相对丰产，但缺磷仍然是减产的普遍原因。Goodbody与hunphreys(1986年)在巴布亚新几内亚的Simbu省观察了三种土壤，发现甘薯产量与可吸收的磷之间有显著的正相关。同样在巴布亚新几内亚的山地上，Floyd等(1988年)发现在施加了磷肥和钾肥后，甘薯产量增长了三倍。刚刚完成的汤加(Halvatau等, 1996年)和巴布亚新几内亚(Dowling等, 1994年)的田间试验，演示了甘薯对大量火山灰中的磷肥有积极的反应。在对乌干达的农作物的研究中发现，在酸性土壤中种植甘薯，最大的问题是缺磷(ECarey与J.Low, 1996年)。

从许多同样的例子中可以得出，与其它农作物一样，广泛施加磷肥可提高甘薯产量。然而对甘薯施用与其他作物相同的磷肥量，俨然是过量和浪费的。

Symptoms of phosphorus deficiency

缺磷的症状

在田间，很难区分轻度到中度缺磷的作物，这些作物的生长程度也许只是养分状态良好的作物的一半，现无其它易确认的症状(图1a)。轻度缺磷的症状经常表现为叶片的颜色比正常叶片的蓝绿色颜色要深。与缺氮一样，幼叶与定型叶在出现不同程度的缺磷症状时，都表现为暗绿色。老叶片上有明显症状时，则伴随出现作物矮化(图1b)。

缺磷的第一个症状通常为未定型的叶片开始衰老。在许多(不是所有)栽培品种中，在出现紫色素苷之前开始变黄。在衰老的叶片中，出现一系列秋季叶片的颜色(图1c)，从叶脉间稀疏的斑点开始逐渐变成黄色。这些清楚地成为花色素苷色素(图1d)，并经常感染到叶片的一半以上。由于花色素苷色素的加重，患失绿症的部分可能出现枯黄色或红色。在失绿症区域坏死的损伤将沿着不规则的斑点逐渐扩大(图1f)，直到整片叶子枯死，变为褐色。在一些栽培品种中，在出现坏死

性损伤前，绿色组织未出现黄色或紫色。然而某些品种的叶片，其坏死部分在最后衰老阶段变成黄色。

在一些品种的最新长出的幼叶的表面上，尤其是叶脉，出现紫色(图1i)，这类似缺磷症，但在缺磷的症状中，此现象不常见。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

幼叶叶脉上的红色类似缺磷的症状。但缺磷植株并不普遍出现失绿。缺钾和镁可引起老叶片上出现失绿症，其在叶脉间具有明显的图案，缺磷的症状与此不同。

甘薯羽毛状斑驳病病毒可引起老叶片上出现失绿的斑点，并围绕着紫色组织，此斑点造成的损伤很少扩散到整个叶片，也不仅仅只出现在老叶片上。此症状不进一步发展成坏死，可能在开始衰老的叶片上出现橘黄色或红色，如同在缺磷时所看到的症状。

Plate I. 图1. 缺磷



a) 溶液培养的栽培品种Beerwah Gold的幼苗，左为健康的，右为缺磷幼苗。缺磷幼苗只得到健康幼苗磷量的6%，所以出现严重的生长抑制，而无其它养分失调的症状。



- b) 栽培品种 Hawaii 生长在汤加一缺磷土壤里的幼苗，苗龄为6个星期，已严重矮化。缺磷的症状很明显，叶片变紫，随后老叶片变黄，而幼叶颜色为墨绿色。

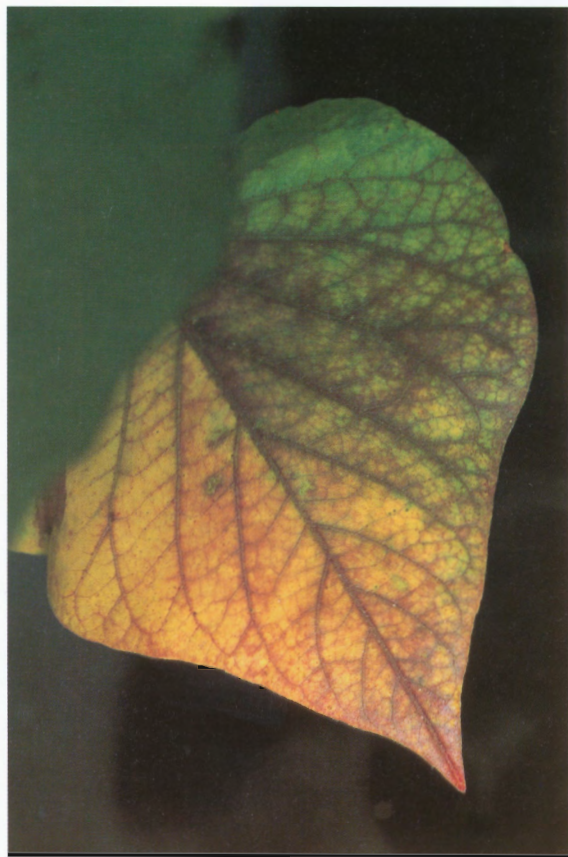


- c) 生长在汤加的Hawaii品种缺磷的幼苗，开始衰老的叶片出现鲜明的秋天颜色。大量花朵的形成也是缺磷的一个症状。



- d) 低磷溶液培育的Hawaii品种，一老叶片上的脉间褪绿斑正在发展成坏死斑。

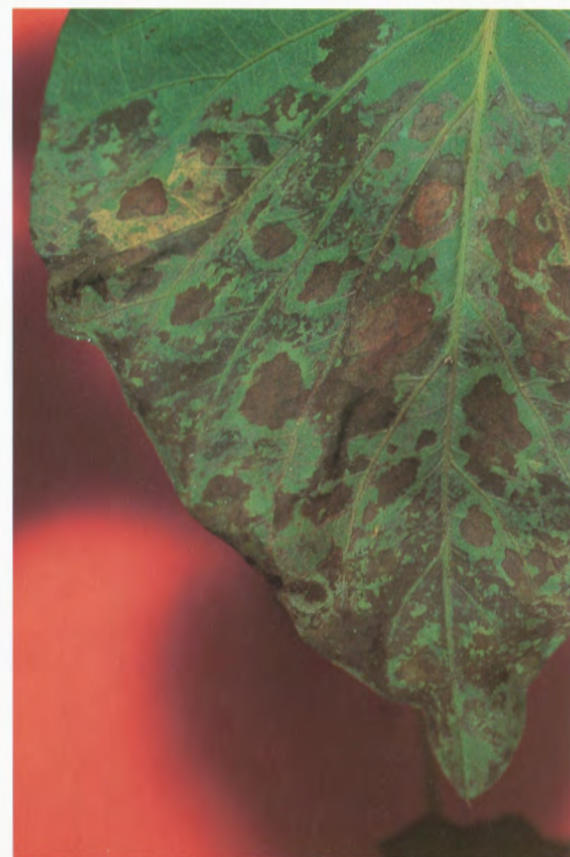
Plate I.



e) 栽培品种 Beerwah Gold 的一片老叶子，出现了失绿症，并且一面比另一面更严重。



f) 栽培品种 Wanmun 的一片老叶子，坏死斑在失绿的组织上扩展。



g) 栽培品种 Markham 的一片老叶子，缺磷导致的坏死性损伤，而未出现失绿症或紫色色素。

土壤与植物组织测试诊断

在溶液培养实验中,第7-9片幼叶含磷的临界浓度为0.22%。在0.26—0.4%之间的浓度与作物最大生长量有关(表3)。这些数据与Leonard等(1949年)和Weir与Cressvell(1993年)的试验结果一致。

以预测施磷肥后的甘薯产量为目的的土壤测试,其测试方法尚未标准化。对磷的需求较低的作物,如甘薯,Bingham(1962年)建议5-7mg/kg的有效磷的含量为缺乏阈限。Goodbody与Humphreys(1986年)认为有效磷与甘薯产量之间为正回归关系,其有效磷的浓度范围为0.6-5mg/kg(Olsen的方法)。Fox等(1974年)提出了0.001 ppm(0.3 μ M)为最低的土壤溶液磷浓度,其与甘薯的95%最大产量有关。Nishimoto等(1977年)发现土壤含磷浓度为0.003ppm(0.1 μ M)与70%的产量相关。应注意,这些测定方法仅包括部分土壤有机物质中的磷。它们可能代表一些土壤中对作物有效的大部分磷。

除对作物有效的磷以外,以磷的固定能力的大小估测在固磷土壤中所需的磷肥量。



h) 栽培品种 Markham 的一片衰老的叶子, 缺磷导致叶片黄化、大面积的枯死斑。



i) 栽培品种 Markham 一缺磷的幼苗, 嫩叶片上出现紫色色素沉积。相同品种的健康幼苗无此现象。

用磷的吸附等温线 (Fox 与 Kamprath, 1970 年) 或是磷的保持能力 (Saunders, 1974 年) 来估测固磷能力。Rayment 与 Higginson (1992 年) 描述过这些方法。

Correction of phosphorus deficiency

缺磷的补救措施

缺磷可用喷洒、带状或点状施加含磷溶液, 如单一或三倍的高效磷酸盐、磷酸铵或混合肥料 (含氮、磷、钾, 有或没有其它营养成分)。在磷固定的土壤中, 建议带状或点状施用磷肥。

磷酸盐的矿石是相对廉价的原料, 它含较多的可溶肥料。磷酸盐矿石可以很好地混合在土壤中, 通常仅在酸性土壤中发生效用, 这是由于其中性和碱性土壤中可溶性很低。在酸性砖红色土壤中, Kabeerathumma 等 (1986 年) 发现磷酸盐矿石对种植的第一茬甘薯作物的效用与高效磷酸盐的效果一样, 而且还有较大的残留效果。

单一的高效磷酸盐 (10% 磷) 还含有硫与钙, 这也是土壤所需的营养物质。三倍高效磷酸盐 (TSP, 24% 磷) 也含有钙, 但无硫。

依照产量 (表 4), 甘薯作物从每公顷土

壤中吸收 8 - 40 千克磷, 但在固磷土壤中, 第一年施肥时, 每公顷磷需求量较高 (大于 100 千克/公顷)。在其后几年里, 可较少的施加磷肥。

传统种植甘薯的方法包括施用大量的有机物质, 采用个大、良好的长匍茎进行栽培, 而且施加大量的磷肥以及其它养分的组合。

即使在固磷土壤中, 有机物质的分解保证了有效磷的稳定供给。添加有机物质对甘薯作物有益的原因, 主要是改善了营养物质——磷的含量。

Potassium deficiency

缺钾

与谷物作物相比，块根作物非常需要钾(K)，这是由于收获后的根中含钾很高(见表4)。每公顷20吨的甘薯块根移走大约100千克钾。如果根与蔓加在一起，移走的钾会更多(见表4)。即使土壤中天然含钾很丰富，但经过连续几次种植后，钾也会被耗尽。在巴布亚新几内亚的各种土壤中，已连续几年种植甘薯以后，通过施用无机钾肥和含钾较高的有机堆肥，使产量大幅度提高(Bouke; 1985年; D'Souza与Bourke, 1986年; Floyd等, 1988年)。

与缺少氮和磷相比，缺钾对贮藏根产量的影响要比对蔓的生长的影响大得多(Edmond与Sefick, 1938年; Bourke, 1985年)。因此，对明显缺钾的甘薯作物施用钾肥可以大幅度增产。

Symptoms of potassium deficiency

钾缺乏的症状

与其它养分物质一样，缺钾在具体症状出现之前，已直接对作物生长、发育产生了负影响，如生长迟缓(图2a)。在田间，一般需

要2-3个月才出现明显的缺钾症状，此时块根的生长开始需大量的钾。老叶片开始变黄，幼叶保持正常的颜色、大小和结构(图2b)。幼叶一般呈紫色，而对于缺钾的作物，此种色素作用被减弱。

老叶片在叶缘和叶脉之间的区域出现失绿症。其可发展成棕色坏死性损伤(图2d)，并逐渐感染到整个叶片。某些品种，虽然侵蚀斑从叶缘到叶脉间的扩散程度不同，其主要起始于靠近中主脉的叶脉间区域，但进一步的发展并不按照叶脉的分布。钾缺乏引起的坏死区域的颜色比较暗，而且干燥、易脆。

在叶片黄化和出现坏死之前，定型叶与老叶片上的叶脉间出现浅绿色斑。此症状在腋生幼芽上最明显。这可能是营养失调的唯一最早的症状，但在一定条件下有些栽培品种并不出现这种症状。正在定型的叶片在初使阶段比老叶片更易感染(图2e)。而主叶脉仍保持绿色，与失绿组织分开。有时，叶脉间的组织出现坏死，或是单一的空洞、或是连成一片的不规则的损伤(图2g)。

缺钾的作物，生长的根比较细小、质量较差(图2h)。橘黄色肉质的甘薯品种比正常的肉质的颜色浅。

Plate 2. 图2. 缺钾



a) 在溶液培养试验中，栽培品种Wanmun对施钾量的反应。图中从左至右的施钾量依次为最佳供钾量的100%、14%和1.7%。注意只有在严重缺钾(右)的情况下，老叶片黄化比较明显。

Plate 2.



b) 栽培品种Foketi的一棵缺钾的幼苗，生长在汤加的旧火山灰土壤中，其钾的含量较低。



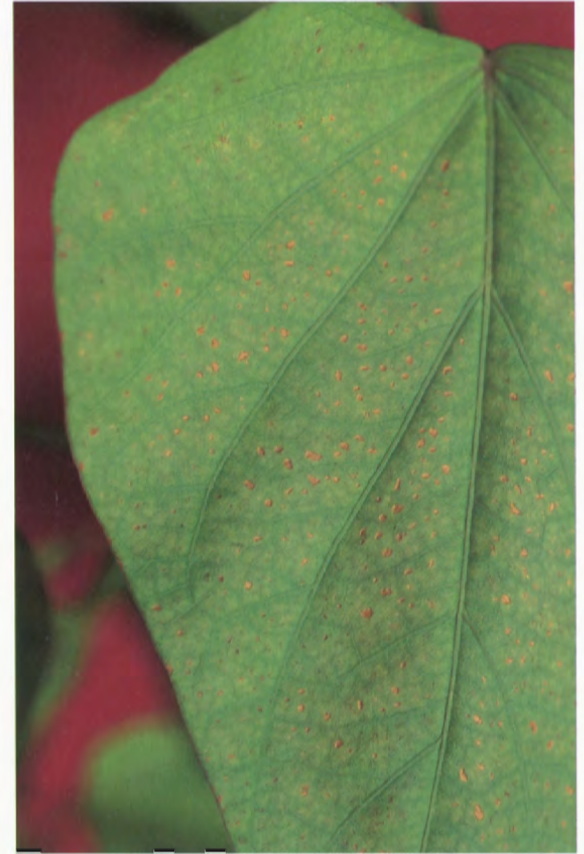
c) 栽培品种Wanmun的一片老叶子，失绿症从叶缘和叶脉间开始扩散，以及坏死斑发展的早期症状。



d) 在栽培品种Wanmun开始衰老的叶子上,失绿症和坏死斑逐渐扩散。

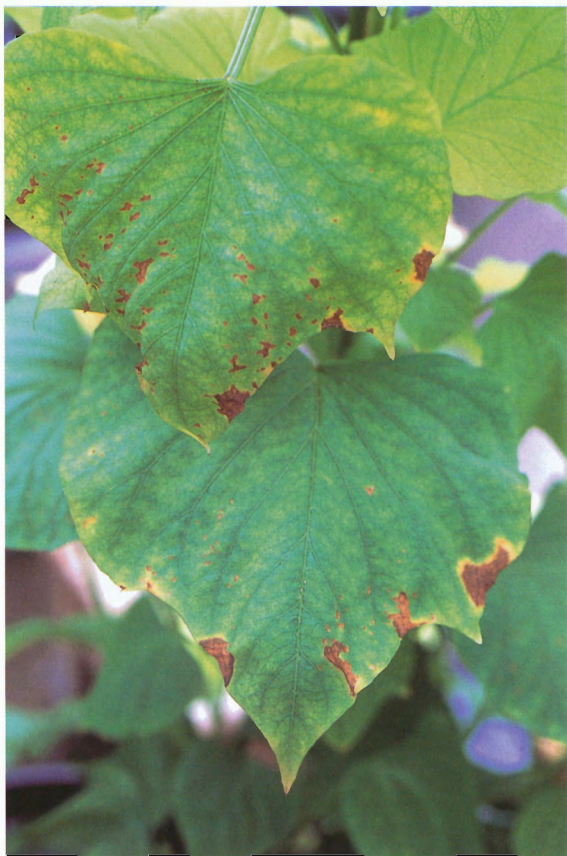


e) 在栽培品种Wanmun成熟叶片上,叶脉间的失绿症呈浅绿色。



f) 在栽培品种Markham的一片成熟叶片上,叶脉间的失绿症发展成小的坏死斑。

Plate 2.



g) 栽培品种 Beewah Gold 的成熟叶片上，叶脉间小的坏死斑发展成不规则的大块坏死。



h) 在巴布亚新几内亚的Nembi高原上，由于缺钾，混杂种植的几个甘薯品种所结的块根，细长且块小。此土壤已连续几年种植了甘薯。(R.M. Bourke 摄)

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

叶脉间患失绿症的斑点外形、或是正在定型的叶片上的叶脉间的小坏死孔，可能类似缺镁症。在缺镁的病例中，叶脉周围的绿色区域更宽，呈放射状。幼叶上无此症状，老叶片上出现坏死性损伤标志着缺钾。

失绿组织周围的坏死斑点也是缺镁的症状。缺镁作物的颜色较苍白，叶脉间失绿症的外形也较规则，主叶脉保持绿色

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

确定甘薯叶片中的钾含量的临界浓度是比较复杂的，这是由于甘薯作物可用钠满足部分钾的需要。在钠充足时，第7-9片幼叶上，钾的临界浓度为2.6%(表3)。在溶液培养实验中，钠的浓度较低时，钾的临界浓度约为4%(O'Sullivan等, 1997年; Ivahupa, 1997年)。在钠浓度相对较低时，可达到最大替代

效果(Ivahupa, 1997年),这种现象出现于许多土壤中。因此,2.6%的临界浓度可适用于多种土壤。这与田间作物对钾肥的反应是一致的。

对土壤中可交换钾的测量经常用于预估农作物中钾的状况,但这并不反映土壤中潜在有效性钾的贮量,土壤中的这些钾经过一段时间可释放出来。通常认为可交换钾的数量为 $0.2-0.6\text{cmol}(+)/\text{千克土}$ 时,农作物对钾肥有反应,当然这个数据关系还依赖于土壤结构和阳离子可交换量的总量(CEC):沙土中,此数字为 $0.05-0.25\text{cmol}(+)/\text{千克土}$ (Candon, 1991年)。在巴布亚新几内亚的山地,Goodbody与Humphreys(1986年)发现甘薯产量与 $0.2-1.0\text{cmol}(+)/\text{千克土壤}$ 的可交换钾之间呈正相关。

Correction of potassium deficiency

缺钾的补救措施

由于甘薯作物从土壤中吸收大量的钾(每吨块根和蔓中约有8千克钾),连续几次收获而不施钾肥,可导致土壤中钾贮量的耗竭。沙土中阳离子可交换量较低,因此在沙土和基础较差的氧化土中容易出现缺钾。一些火

山灰土壤中钾贮量大,而其它土壤中阳离子交换量可能较低,因此有效钾的含量较少,而且也不能保持施入的钾肥。

可以通过施加无机肥或有机覆盖物和堆肥的方式补充土壤中的钾。建议施肥量的范围为 $80-200\text{千克钾}/\text{公顷}$ (de Gens, 1967年)。有机覆盖物的量远远大于无机肥,因此需要更多的劳动力,但对农作物的营养效果也很好(Floyed等, 1988年)。D'Souza与Bourke(1986年)建议在巴布亚新几内亚的Nenbi平原,施用咖啡果肉制成的堆肥,每公顷20吨。

在种植前和作物生长4个星期前分别施用钾肥(Hill, 1989年),沿着每行作物施肥。然而Fujise与Tsunno(1967年)建议把钾肥深施在土壤下40厘米处,这是因为在作物生长过程中,深根吸收钾以供给块茎在作物生长后期的需求。但一般很少采用此深施法。传统方法是把堆肥简单地埋在土堆下面。

过量施加钾肥可导致镁和钙的缺乏,这是由于抑制了这些养分的吸收(Speer等, 1978年),特别是在沙土中,为了保持养分平衡,在施加钾肥时,有必要加上镁和钙(Landon, 1991年)。

Magnesium deficiency

缺镁

缺镁是因为土壤中镁的含量少,也可能由于钾和钙过剩抑制了农作物对镁的吸收(Leonard,等1948年)。因此,这种养分失调很可能发生在阳离子交换量较低的沙土中,以及含钾较高的火山灰土壤中,或是一些钙质土壤中。过量施用钾肥也可导致缺镁。在根的周围引起中毒的高铝浓度也可导致缺镁,这是由于铝阻止了作物对镁的吸收(参照铝中毒)。

Symptoms of magnesium deficiency

缺镁的症状

缺少镁的作物,其整体上为苍白色。缺镁的早期症状为老叶片上的叶脉之间出现失绿症(图3a)。典型症状是主叶脉周围存在暗绿色的组织,细小叶脉处于辐射状的苍白色的横纹组织中(图3b与c)。然而有一些栽培品种,其失绿症呈斑点状,叶脉有很小的绿边,似乎是在一苍白的叶片上有一绿网(图3d)。最老的叶片上先出现失绿症,也许会扩散到幼叶上(图3e)。同时也可能发生叶缘向上或向

下卷曲(图3d和a),或是叶片枯萎下垂(图3d)。

发生缺镁症状时,较老叶片上出现紫色或红棕色色素。很多情况下,色素沉积会影响叶片表面靠近叶尖和边缘的组织(图3f)。有些品种的叶片上的叶脉变成红色(图3g)。

最老叶片的失绿症可发展为黄化、坏死。叶片在成为棕色落叶前,完全黄化并且枯萎(图3h),或在叶脉间和叶缘组织中出现不太严重的枯斑病(图3i)。一般情况下,局部黄化出现在坏死性损伤之前,而且从叶脉间开始扩散(图3j)。

缺镁作物的蔓比较弱小、卷曲,节间较长,与黄化病的症状相似(图3k)。Edmond与Sefick(1938年)也曾报道,缺镁使蔓变长。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

缺钾也可使最老的叶片出现叶脉间坏死性损伤,并且失绿组织环绕其周围。但在缺镁的病例中,黑斑症在叶片上以规则的图案出现,并局限在叶脉间和叶缘中。开始衰老的叶片才全部枯萎,坏死的组织一般比较苍白、柔软。

Plate 3. 图3. 缺镁



- a) 溶液培养的栽培品种Beerwah Gold健康的(左)与缺镁(右)的幼苗。缺镁的幼苗生长迟缓、出现失绿症,较老叶片向下卷曲并出现红色色素。



b) 乌干达Kabale地区的栽培品种Kisozi出现缺镁的症状，刚刚成熟叶片的叶脉间开始出现失绿症，并随着叶片的年龄增加而逐渐加重。一些较老的失绿叶片呈现棕色。(J. Low 摄)



c) 栽培品种 Hawaii 幼苗的叶片，由于缺镁引起叶脉间的失绿症，在主叶脉和中叶脉两侧的组织呈现暗绿色，但小的叶脉不明显。

Plate 3.

Mg deficiency



- d) 栽培品种Wanmun缺镁的症状,叶脉周围已无绿色组织,叶片呈现斑驳状。叶缘向上卷曲,而且整个叶片无力下垂。



- e) 来自巴布亚新几内亚新不列颠的 Ubili 甘薯的叶片,幼叶(不是最嫩的叶片)的叶脉间出现失绿症。



f) 乌干达 Kable 地区的栽培品种 Mushemeza 的幼苗患缺镁症，叶片正面的叶脉间组织呈现红棕色，开始出现在叶缘，但可扩散到整个叶脉间区域。
(J.Low 摄)



Mg deficiency

g) 栽培品种 Wanmun 幼苗缺镁的叶片，其背面的叶脉出现红色色素。

Plate 3.

Mg deficiency



h) 栽培品种Wanmun的叶片,在逐渐老化的叶片上,依次出现失绿、黄化、萎焉,以致最后整个叶片上出现坏死斑。



i) 栽培品种Hawaii缺镁的叶片,在叶脉间和叶缘组织上出现坏死斑,但未出现一般的黄化现象。



j) 栽培品种 Lole 的老叶片，在其衰老的过程中，叶脉间区域出现局部黄化和坏死斑，并逐渐扩散。



k) 栽培品种 Hawaii 的藤蔓，由于缺镁变得细弱、扭曲、节间增长。

土壤与植物组织测试诊断

由于各种研究数据不径一致，目前尚未明确甘薯叶片中镁的临界浓度，尤其是基于溶液培养和沙培的实验所得数据低于田间测得数据。实验结果的差异可能由于所选择分析的组织不同。在溶液培养实验中，缺镁的临界浓度（4 星期时的第 7 - 9 个叶片）为 0.12%，同时，健康作物含镁 0.15% - 0.35%（表3）。Bolle-Jones 与 Ismunadji (1963年) 归纳沙培镁试验，在镁缺乏的作物中，镁的浓度为 0.06%（8个星期时的所有叶片），而不缺少镁的作物的叶片含镁 0.14 - 0.22%。同样利用沙培，Spence 与 Ahmad (1967年) 认为，在已表现缺镁早期症状的作物中，镁的浓度为 0.16%（10个星期时的第9片叶子），同时镁充足的作物含镁为 0.37 - 0.94%。然而，在乌干达和澳大利亚田间观察到指示叶片中，镁的浓度为 0.29 - 0.37%（作者的数据）。在美国，有报道认为在缺镁的作物中含镁 0.40%（来自 1986 年 Reuter 与 Robinson）。

有关甘薯对镁产生反应的土壤测试方法

尚未标准化。一般认为对于其它农作物，中性 1M 醋酸铵可交换的镁多于 80 - 160 cmol (+) / 千克土是足够了。欧洲的标准也考虑到了检测土壤中钾的水平，基于元素重量，钾与镁的比例小于 5 时，是比较理想的 (Doll 与 Lucas, 1973年)。

Correction of magnesium deficiency

缺镁的补救方法

可以采用把含有白云石的石灰或氧化镁掺入酸性土壤中（20 - 50 千克镁 / 公顷），也可以施加硫镁矾或硫酸镁化肥（10 - 40 千克镁 / 公顷）。在这些原料中，硫酸镁的可溶性最大，对于已确定缺镁的农作物，虽然硫酸镁的成本较高，但倾向于施用硫酸镁。如果表土追肥困难，可以采用叶面喷洒或水施。

Boron toxicity

硼中毒

硼肥施用过多，或是灌溉水中含硼量较高时，盐碱与碱性土壤中就会产生硼中毒。Chavez等(1995年)报道，在秘鲁南海岸，灌溉而致使甘薯产量减少的主要原因是高盐度与硼中毒的混合作用。

甘薯对硼中毒的忍耐力为中等强度，但此项判断是基于沙培作物出现的症状，可能没有反应出产量减少(Landon, 1991年)。

Symptoms of boron toxicity

硼中毒的症状

硼中毒可造成较老叶片上的叶脉间出现明显的坏死性损伤(图4a),导致未定型叶片衰老和凋落。出现硼中毒的叶片通常向下杯状弯曲，或是尖部卷曲。在溶液培养中，受到硼毒的作物，其症状较明显。但在田间，根部损伤可能导致严重矮化，插条也难存活。

某些品种，其早期症状可能是叶脉间的失绿症，从浅绿到白色(图4b),但其它品种发

生的枯斑是在局部出现失绿症之后，同时周围组织仍保持绿色(图4c)。枯斑可能是浅棕色(图4b)，或是深棕色(图4e)。坏死部分易脆，有时坏死部分留下一空洞。

枯斑一般集中在叶缘和叶脉间，但开始可能表现得更分散(图4c)。斑点可能扩散、融合，侵占叶脉间和叶缘的大部分组织(图4d与4e)。然而，叶片深度裂开的品种，枯斑分布并不规则(图4f)。

叶片衰老的进程很快，随着坏死部分的扩散，剩余的活组织发生黄化，并发展到整个叶片(图4g与4e)。

Chavez等(1995年)发现不同的甘薯品种对硼中毒的耐力不同，而且叶片严重损伤与作物的根部产量无关。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

高盐度使叶脉间出现坏死损伤的症状，与硼中毒引起的坏死症状相似。但是，高盐度导致的坏死损伤的颜色为深灰色，并首先

出现在较老叶片的叶缘上，当此症状扩散到幼叶上时，损伤更多出现在叶脉间。硼中毒的甘薯作物，在产生坏死性损伤前先出现失绿症。而除了坏死损伤的周围组织，高盐度很少引起其他部位的失绿症。

在某些品种上，硼毒症状出现的早期阶段，与缺镁症相似，硼中毒可使叶脉间出现失绿症。较老叶片上稀疏的枯斑可区分是硼中毒还是缺镁。

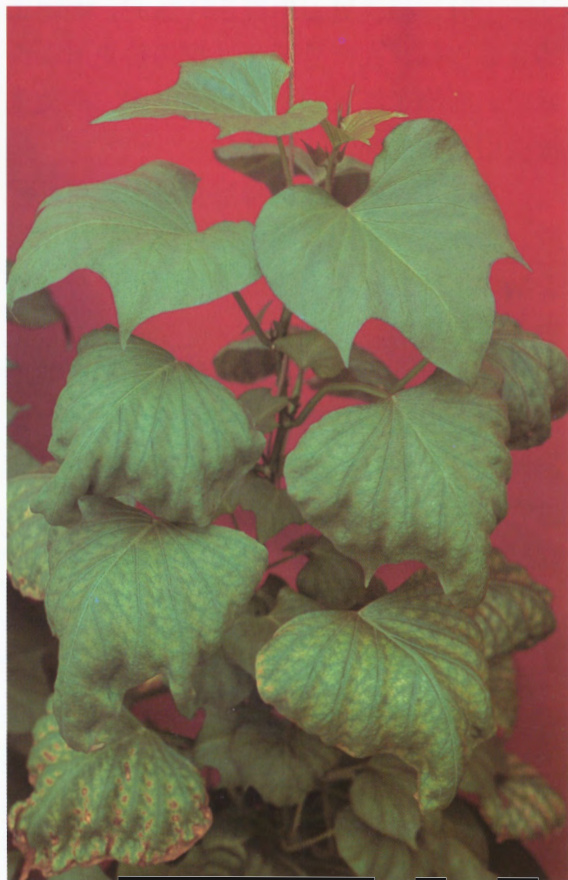
如果在此之前未出现失绿症，坏死性损伤也许被误认为是由真菌病原体引起的，如黑斑病、甘薯叶斑病细菌和坏疽病菌。可通过它们在叶片上不规则的分布确认真菌损伤，同时真菌损伤更多的出现在较老的叶片上。从老叶片到幼叶，此症状的严重程度不一样。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

甘薯第7-9片幼叶中硼中毒的临界浓度为220-350毫克硼/千克(表3)。硼的浓度为400-800毫克/千克时，生长下降30-50%。浓度为1200-2000毫克硼/千克时将严重影响农作物生长。从健康作物上取下的指示叶片的含硼量通常为50-200毫克硼/千克。

Plate 4. 图 4. 硼中毒



a) 栽培品种Beerwah Gold的幼苗出现硼中毒症状，在老叶片上的叶脉间出现失绿症、以及坏死斑，并向下杯状卷曲。



b) 栽培品种Hawaii的叶片，硼中毒引起的叶脉间的失绿症为苍白色。注意叶尖出现坏死斑。



c) 栽培品种Centennial的叶片，由于过量施加了硼肥，出现坏死斑的早期症状，其呈零散分布，发生在失绿症之后，而且在此之前叶片失绿较少。



d) 栽培品种Beerwah Gold的叶片，在叶脉间和叶缘上出现坏死斑。



e) 栽培品种Wanmun一片较老的叶子，叶脉间和叶缘组织坏死斑扩散，叶片黄化，最后死亡。可在下面看到以前的落叶。



f) 栽培品种Lole的一片老叶子，出现硼中毒症状，坏死斑呈不均匀分布。

Plate 4.



g) 栽培品种 Wanmun 的叶片开始衰老、黄化，很快整个叶片出现坏死斑，最后叶片凋落。

经常用热水提取法测定土壤中对作物有效硼的浓度。甘薯对于硼中毒的阈限为4毫克/千克热水浸出的硼。在土壤饱和浸提剂中硼大约是0.15毫克/千克(Landon, 1991年)。然而不同品种，对过量硼的耐性是不同的。

Correction of boron toxicity

硼中毒的缓解措施

如果出现硼中毒，可以用大量的优质水(含硼量低)从根区淋溶多余的硼。或者是施加大量的氮肥，尤其是硝酸钙，这样可以缓解硼毒(Bradford, 1966年)。有报道施用石灰和有机物也是有效的方法(Olsen, 1972年)。

不同的甘薯品种对硼中毒的耐性是不同的。国际马铃薯中心的育种项目确定了有价值的耐硼基因模式，而且还具有较好的农学和高质的特征(Chavez等, 1995年)。

Manganese toxicity

锰中毒

土壤中含有大量的锰。但在中性和碱性土壤中，其溶解度较低，所以这防止了作物对其的过量吸收。因此，锰的毒性几乎一直与酸性土壤有关。淹水可产生或加剧锰中毒，这是由于厌氧微生物高氧化锰被还原为作物可吸收的 Mn^{2+} ，因此在湿度大的时期可出现锰中毒。当土壤干燥后，锰中毒可消失，作物恢复常态。锰也是杀真菌剂的成分，尤其是在沙土中，重复使用杀真菌剂，可使锰沉积很多。

Symptoms of manganese toxicity

锰中毒的症状

与硼中毒类似，锰中毒产生的枯斑一般出现藤蔓的较老叶片上。锰中毒也经常出现失绿症，在幼叶上更严重，这可能是由于引起了缺铁。锰中毒的农作物可产生以上的一种症状或两种都有(图5a)。

较老叶片上的症状，开始为叶脉间小的、无规则形状的苍白色组织(图5b)。苍白部分

有轻微下陷，黑色枯斑发展很快(图5c)。枯斑集中在叶片尖部和叶缘，它们一般散布在叶脉间，在主叶脉间没有形成有规则的一条线，正如在硼中毒与高盐度症状中看到的。这些斑驳点与叶片背面上的次叶脉变黑同时发生(图5e)。这些斑点不断增多，并逐渐融合，直到侵占叶片的大部分区域(图5d)。感染后的叶片最终黄化、凋落。

枯斑症产生的原因是由于叶片中的锰经过一段时间的沉积。在其中毒程度相对较轻时，老叶片出现枯斑，藤蔓的生长没有明显减慢。在锰中毒严重时，根部受到损伤，生长严重矮化。这也是缺铁的症状，但缺铁症无枯斑。确认缺铁的症状是幼叶上叶脉间的失绿症从浅黄色到白色，最终幼叶坏死，苗尖停止生长(图5f)。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

锰中毒造成的坏死性损伤与高盐度和硼中毒造成的症状容易混淆。在锰中毒的情况

下，枯斑比较小，均匀地分布在叶脉间，并不是集中在主叶脉间的中部。直到侵占了叶脉间的大部分区域时，才可看到叶缘出现枯斑。

坏死性损伤也可能被误认为是真菌病原体引起的，尤其是 *Cercospora* 细菌，它可产生小的黑色斑点(Clark与Moyer, 1988年)。真菌斑点在叶片上随机分布，而且在老叶片上较常见，其严重程度从老叶片到幼叶上并非一定减轻。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

锰在第7-9片叶子中的临界浓度为1600毫克/千克时，可导致生长缓慢，例如，在溶液培养实验中的栽培品种 Wanmun(表3)。锰的浓度为8000毫克/千克时可严重影响农作物。然而，当田间生长的作物中锰的浓度为1500毫克/千克时，已表现出中毒症状及生长矮化。Rufty等(1979年)发现随着温度升高，烟草对锰的耐力增大，尽管其叶片中锰的浓度增加很多。这两种因素共同作用的效果表明，随着昼夜温差变化，从 $22^{\circ}C/18^{\circ}C$ 到 $30^{\circ}C/26^{\circ}C$ ，表现出症状的临界浓度可以提高

7倍,为700 – 5000毫克锰/千克。可以说锰浓度与温度交互影响着甘薯作物。当季节变暖时,锰中毒对作物的影响减弱,这也使确定植物组织中锰的浓度更为困难。

土壤中锰的总量(高氯酸可提取的)超过2000毫克/千克时为高浓度(Landon, 1991年)。常用的是易浸提锰的方法,即利用螯合剂如双乙三胺五乙酸(DTPA)作为提取剂(Ryment与Higginson, 1992年)。DTPA可浸提锰的浓度超过45毫克/千克时,对块根作物如甘薯、胡萝卜等产生有害影响(CFL, 1983年)。当土壤中pH值较低(水中测量<5.3)或淹水情况下,有产生锰中毒的危险。

Correction of manganese toxicity

缓解锰中毒的措施

由于锰中毒常产生于低pH值土壤中,可施加石灰或白云石以提高pH值到5.3以上(土与水的比例为1: 5中测量的)。如果是在淹水情况下产生的锰中毒,排水就有效。在许多淹水情况下,加高垄、埂也是有效的。

Plate 5. 图5 锰中毒



- a) 在澳大利亚北部地区 Atherton Tableland 生长的栽培品种 Puerto Rico 的叶片,出现锰中毒的症状。由于锰的积累引起坏死斑,同时还可看到由于缺铁引起的脉间失绿症,呈浅黄色。



b) 栽培品种 Wanmun 的一片较老的叶子，出现锰中毒的早期症状：叶脉间的淡绿色、下陷的斑点。



c) 栽培品种 Wanmun 的一片较老的叶子，叶脉间组织出现黑色坏死斑。



d) 坏死斑的扩展和融合形成大面积的坏死，叶片剩余部分变黄，预示着叶片开始衰老。

Plate 5.



e) 一片被感染的叶子的背面，显示出叶脉变黑。



f) 过量的锰引起严重的缺铁，造成栽培品种 Markham 的茎尖死亡。

Salinity

高盐度

土壤中含可溶性盐通常是氯化钠或硫酸钠较多,对作物产生多方面的影响。由于增强了土壤溶液的渗透压,作物对于干旱非常敏感。而且作物对钠的过量吸收,氯化钠和硫酸钠导致藤蔓出现中毒症状。除了对作物的直接影响外,高钠浓度也对土壤有害,包括土壤表面板结,增大了土壤容重、透气差、易淹水。生长在盐碱地中的作物受土壤高pH值的影响,包括微量养分铁、锰、铜和锌的有效性降低。

盐碱问题主要发生在沿海地区,降水量低、蒸发量高的地区的灌溉作物也有此问题。在这些情况下,来自灌溉水或升高的盐水位中的盐在根部积累。

Symptoms of salinity stress

高盐度的症状

钠、氯和硫酸盐各自对甘薯的中毒浓度的研究不多。在溶液培养研究中观察到,施用的氯化钠浓度为25、50、100或200 μM (相当于分别在2.9、5.6、10.7或20.4dS/m溶液中的电

导度),如果根部周围的浓度为50 - 100 μM ,作物生长缓慢,200 μM 的氯化钠造成根部坏死、叶子凋落,最终导致整株作物死亡(图6a)。

典型症状是较老叶片上的深色坏死性损伤,然后是迅速衰老和叶片凋落(图6b)。在出现枯斑症之前,有些品种的叶脉间会出现稀疏的失绿症或水渍的区域,它们位于主叶脉间的中间地带,并且是单独的不规则的形状,直径大约为3 - 10毫米(图6c),或在主脉到叶缘之间形成一细长带。坏死首先出现在最老叶片的边缘上,或是叶的顶端(图6d),并逐渐扩散到叶脉间组织(图6e)。当此症状扩散到幼叶上时,枯斑稀疏出现,侵蚀斑集中出现在叶脉间中部失绿区域(图6f)。随着枯斑的发展,很快扩散到叶缘(图6g)。初始时,侵蚀斑内的中心组织比坏死部分的颜色更浅。而后形成的坏死组织呈典型的深灰色。叶片衰老过程包括从坏死区域的边缘开始扩散萎黄病,叶片逐渐干燥、枯萎,然后凋落(图6h)。腋生的幼叶受到的影响较少(图6h)。

Plate 6. 图6. 高盐度



a) 栽培品种 Markham 的生长情况, 从左至右(根部区域)氯化钠浓度为0、100 μM 和200 μM 。

Plate 6.



b) 栽培品种 Hawaii 的盐害症状，从幼叶的叶脉间坏死斑发展到较老叶片的大面积坏死和黄化，黄叶片下的叶子已被打掉，只有侧芽上的叶片保存下来。



c) 栽培品种Wanmun的成熟叶片，叶脉间出现失绿症，此为坏死斑之前的症状。



d) 栽培品种Markham的一片较老叶子，坏死斑首先出现在叶缘组织上。

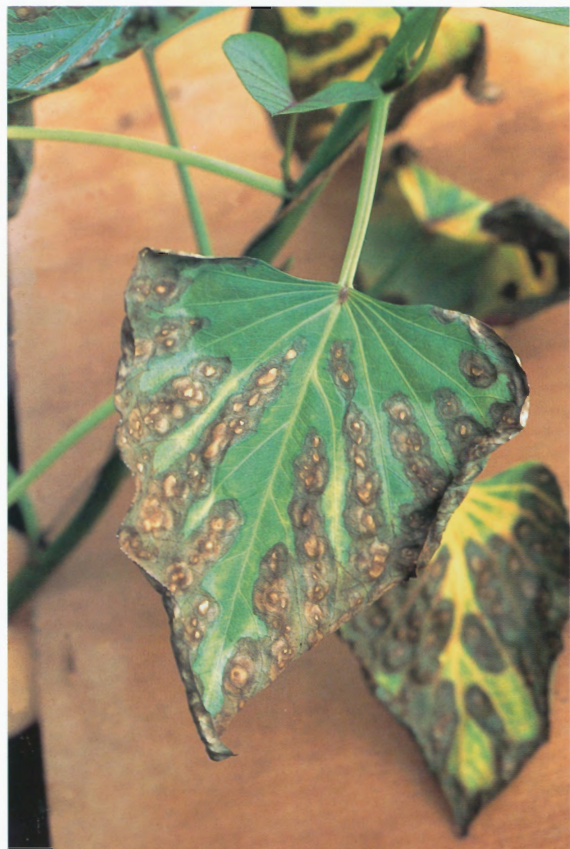


e) 栽培品种 Hawaii 的一片较老叶子，坏死从叶缘扩展到叶脉间。



f) 在栽培品种 Wanmun 的一片成熟叶子上，形成不连续的坏死斑。

Plate 6.



g) 栽培品种 Markham 的一片较老叶子，最初的坏死斑连成一片，形成暗色的枯斑。



h) 栽培品种 Markham 的叶片衰老过程是从坏死区域的周边开始变黄，直到整个叶片干枯。侧芽幼叶无此症状。



i) 高盐度导致根部死亡，造成栽培品种上 Wanmun 的叶片枯萎、凋落，而叶片并未出现大面积的坏死。

在严重的情况下，根部大面积损伤，作物轻度枯萎，普遍失绿。在枯斑进一步扩散前，较老叶片已凋落(图6i)。茎部组织坏死可导致苗尖死亡。

高盐度对贮藏根的影响大于对蔓的影响。Grey与Smith(1962年)研究了钠、钾、钙、镁和氯化盐的作用，发现在蔓上产生了相似的症状，蔓的生长与培养液的渗透浓度有关。然而只有钠明显减少了贮藏根的产量。氯化钠的多少对顶端生长无影响，但导致根的产量大幅度减少。受钠影响的贮藏根比健康作物的贮藏根瘦小。但是氯化钠并不减少每棵植物贮藏根的数量(Greig与Smith, 1961年)。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

硼中毒也在较老叶片上产生坏死性损伤，这些斑驳症是不连续的，可能会扩散和融合。然而随后出现的坏死并不扩散，直到整个叶片黄化，此为衰老的早期阶段。由高盐度造

成的损伤很快被后出现的深灰色坏死病淹没。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

在高氯化钠浓度的情况下，叶片组织中氯的浓度与作物生长紧密相关，钠的作用次之，而且不同的品种反应相同。可以认为，对于甘薯氯是最有毒的元素，所以植物的反馈是来自氯中毒。在溶液培养实验中，第7-9片幼叶中测量到氯中毒的临界浓度为1.5% (15,000毫克氯/千克)(表3)。在土培实验中，临界浓度降低，约为0.9%，较适宜(J.Yauwo, 1996年)。这是由于高盐度影响作物水分的吸收，而在土培中是限制因子。

土壤饱和提取物的导电度(ECe)可用于测量土壤盐度。不同的作物种类对盐的耐受度不同。对于敏感作物，4dS/m的ECe导致50%的产量减少。而耐盐度高的作物为10dS/m。甘薯的耐盐度为中等，6mS/cm导致产量减少50%。甘薯对盐度的反应阈限约为2.5dS/m(Bernstein, 1964年)。

土壤中的可交换性钠与可交换性钠的百分率(ESP=100X可交换钠阳离子的交换量)的测量，用于评估土壤的钠盐化度。

在某些特殊土壤中，有些因素可影响所需的钠的总量，每千克土的交换性钠含量大于1cmol(+)或ESP大于或等于15的粗质土壤，可以认为是潜在的钠盐化(Landon, 1991年)。在此种土壤中，甘薯要忍受钠中毒与钠含量高造成的土壤结构和渗透性的恶化。

Correction of salinity stress

缓解高盐度措施

为克服盐分积累的不利影响所采取的措施依赖于对当地具体复杂问题的理解。改善灌溉和有效的给水系统(减少至维持生长所需水量)，可以减缓灌溉地的盐碱化，以便季节性的雨水淋溶大量盐分并保持肥力。施用石膏可减少土壤结构中钠的有害作用。用加入石膏的非盐化水淋溶盐或把石膏施入土壤后用水淋溶盐都能获益。这些措施的前提条件是谨慎处理盐的淋溶物。

在很多情况下，最有效的方法是在受盐害的地区选择耐盐的品种。国际马铃薯中心

的研究人员正成功地在秘鲁沿海地区 (Chavez等,1995年)和孟加拉选育了有耐盐力的栽培品种。

...用下列符号表示... 土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

耐盐性品种选育

...由... 选育... 耐盐... 品种... 选育... 耐盐... 品种... 选育... 耐盐... 品种...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

...土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度... 土壤... 离子... 浓度...

Disorders Producing Symptoms on Leaves of Any Age

(各类叶龄的营养元素失调症状)

Nitrogen deficiency

缺氮

氮是植物与动物体内最丰富的元素之一。因为它是蛋白质的重要组成部分。作物对氮元素的需求要大于在大多数土壤中的天然氮。因此,对许多作物增施氮都是呈正效应。不论这些氮素来自动物粪便或来自化肥等。不过这种情况并不适于甘薯。有些研究表明,施氮肥将导致甘薯减产(如de Geus, 1967年; Bourke, 1977年; Navarro与Padra, 1983年; D'Souza与Bourke, 1986年)。通常少量施氮肥可以适当增产,而多施就会减产。

出现这种不正常反应的原因是氮元素的补充会对植物体内干物质分布有很大影响,它特别影响根的生长。通常对甘薯多施氮,将会导致藤蔓旺长而消耗了块根的营养。

不同品种最高产量的需氮量大不相同。总的趋势是多施了氮会导致减产。特别是在土壤肥力不高、传统上不使用土壤改良剂的

地区培养出的品种,对增施氮的反应通常是负效应。Jones与Bouwkamp (1992年)报道每公顷施用60千克氮素能使三个美国品种增产,但是三个非洲品种都减产。Watanabe (1979年)将那些蔓容易旺长、常常导致贮藏根减产,或是适应肥沃土壤和高氮投入而不减产的品种分为三类。

在发展中国家有种共识,即氮肥对甘薯不利。由于缺氮现象很普遍,因此这种观点是很可惜的。对氮素进行测试的许多结果常常是在过去连作多年或是很容易淋溶的土壤里进行的(Bourke, 1977年,1985年;Halavatau等, 1996年)。不过如果缺少诸如钾这样的营养素而未能及时得到补充的话(Bourke, 1977年,1985年),施氮的反应就比较微弱。植物材料的堆肥对甘薯生长的肥效反应很好,因为堆肥中含有大量的钾和氮,而含钾量少的动物厩肥则不行(Bourke, 1982年; D'Souza与Bourke, 1986年)。然而,这取决于土壤中其他营养元素的平衡。

改善作物的氮素营养也会提高块根的蛋

白质含量(Constantin等, 1974年; Kimber, 1976年; Purcell等, 1982年)。这可能对从甘薯获取大量的蛋白质的村社有重大意义(Heywood与Nakikus, 1982年)。例如在巴布亚新几内亚Kaintiba地区取样块根的蛋白质平均含量为0.62%,比南太平洋地区平均值的一半还要低(Bradbury和Holloway, 1988年)。因此,他们认为这些作物主要缺氮。巴布亚新几内亚山地地区的蛋白质摄入量是典型的不足,除非通过进口粮食补充(Heywood与Nakikus, 1982年; Harvey与Heywood, 1983年)。

已证明甘薯根部具有固氮细菌(*Azospirillum brasilense*) (Hill等, 1987年; Hill与Bacon, 1984年)。不施氮肥而接种这种细菌,作物可增加块根的产量及叶内组织氮素浓度(Crossman与Hill, 1987年; Mortley与Hill, 1990年)。在不同类型地区和环境条件下共生群体的出现,包括种植甘薯和其它作物共存的意义至今尚未得到进一步考证。

缺氮的症状

缺氮会导致甘薯植株生长急剧减退(图7a),然而在大田中并不易识别它。普通的症状是叶子上有一致的轻微失绿斑,生长缓慢进而停滞,或是造成地面植被稀疏(图7b)。这些症状同健康的植株相比显得较为明显,但并不是所有作物均是如此。

缺氮的症状按照作物生长的环境条件不同而各有差异。作物生长初期的氮素还是适量的,而到生长期就不够用。作物在叶色和生长习性上出现的正常或接近正常,但因荫蔽老叶组织的氮素再转移导致作物发黄和早衰的情况除外(图7c)。在此情况下,老叶变得有些不均一的黄色和轻度萎蔫,灰白色斑点从顶部或边缘扩展。在其斑点扩展前,这种叶子可能坏死的组织变软但不形成碎屑状。

与此相反,如果在作物整个生长期氮素补给量少,老叶就不会出现明显的早衰现象。慢性的缺氮症状包括出现不太一致的灰白色(图7b),叶子面积变小(图7c),失掉正常的光泽,从而导致叶色发暗,叶蔓加粗、扭

曲,而且腋芽活力减弱,进而减少分枝。严重时,某些品种老叶子上可以见到小的紫色素斑点或坏死组织(图7e)。

幼嫩叶的花青素增加,特别是叶脉的花青素增加是缺氮的明显症状,这已在所有品种中观测到了。然而,因为缺磷、缺硫的植株也有类似的症状,所以这种缺氮的症状也不是独有的,上述缺氮的症状也已在植株上观察到了。嫩叶含色素正常的品种,其紫色较深,并长期滞留在叶脉中(图7f),并且健康的植株叶子的紫色到绿色的转变比较均匀。在那些含有正常花青素或是不含花青素的品种,其幼嫩叶叶脉变为红紫色。有些品种叶子正面的色素很明显(图7g),而另一些品种则上部的叶面几乎没有一点色素,而在下部的叶面则很显著(图7d和7h),红色素往往能发展到叶柄和茎部。

与其他症状混淆的可能性

幼嫩叶发红的叶脉和发黄的老叶可以表明植株缺磷。不过,大多数缺磷植株仍呈深绿色。未衰老的老叶上的紫色色素能在一些缺磷而不缺氮的品种上发现。

缺硫也会导致植株上出现黄萎,这就很难与植株缺氮加以区别。如果幼嫩叶的黄萎现象重于老叶,如果叶脉变灰白程度高于叶面其他组织,或是老叶嫩叶紫红色素一样,则表明缺硫。

Plate 7. 图7 缺氮



a) Beerwah Gold 品种的健康植株(左)和缺氮植株(右)。图上表明其生长减缓,少分枝,而且叶子变小、叶色发白。



b) 在巴布亚新几内亚Lae的一个肥料试验中, Markham品种缺氮试验小区(图前部)与施了氮肥的试验小区(后部)的对比。

Plate 7.



- c) Markham 品种缺氮导致叶形变小、叶色发白、发暗（左），图为其与健康叶子（右）的对比。



- d) 乌干达 Kabale 地区甘薯扦插后缺氮的表现。老叶不均一地变黄、萎蔫，其幼嫩叶子的叶面下部叶脉发红（J. Low 摄）。



e) Wanmun品种严重缺氮后老叶出现小紫色斑点。



f) Wanmun 品种的幼嫩的叶脉出现红色色素。



g) Markham 品种幼嫩叶子正面叶脉出现红色色素。

Plate 7.



h) Hawaii 品种叶子只在反面叶脉见到红色色素。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤和植物组织测试诊断

将甘薯藤蔓浸在溶液中培养 28 天后 (表 3) 对第 7 - 9 个幼嫩叶片进行测定, 其含氮的临界浓度为 4.0%。这个结果与在汤加地区的大田生长的临界浓度相吻合。大田的取样是在种植二个月后进行。这时其产量已接近最高产量的 90% (S. Halavatan)。叶子中氮素浓度是随叶龄增加而减少 (Spence 与 Ahmad, 1967 年; Scott 与 Bouwkamp, 1974 年), 而且其临界浓度也随着作物的生长期延长而不断变化。Leonard 等 (1949 年) 就发现在高产所需要的第五片叶子展开时, 其氮素浓度初期为 4.7 - 5.0%, 而在收获期则为 3.0 - 3.8%。在 10 周后用同样方法取样, Mascianica 等 (1985 年) 测定其临界含氮浓度为 4.9%。Jackson (1972 年) 发现产量与氮浓度在第 10 周取第 5 - 6 片幼嫩叶作样本时呈线性的正反应, 最高可达 4.2%。Walker 与 Woodson (1987 年) 却发现在从 44 - 97 天间取样的叶片氮浓度并无明显差异, 他们测定的结果是顶端第 5 片叶子的氮临界浓度为 3.0 - 3.2%, 该浓度以 95% 关联度密切地与甘薯的市场最高产量相联系。

上述这些有关临界氮浓度的不同估计分析, 部分是基于品种中氮素的不同反应。Villareal 等 (1979 年) 发现不同的品种与甘薯作物年龄、蛋白质在枝条顶端的浓度有不同关系。有的结果显示植株生长 40 - 120 天时, 蛋白质浓度急剧下降, 而其他一些植株在整个生长期仍能保持其浓度。

硝态氮在叶柄的浓度常被用来测定、证实作物氮含量的实际状况。Lorenz (1965 年) 阐述中期生长由于缺氮、适量和过剩, 其第 6 片叶子的叶柄的硝态氮浓度分别为 1500、2500 和 3500 mg/kg。然而, Walker 和 Woodson (1987 年) 认为一旦叶柄硝态氮浓度对氮素补给很敏感, 则不同品种、不同龄期取样都很不相同, 而且很难预测其产量。

在大田里, 肥料试验常常用来确定是否缺氮, 或是用来区别是缺氮还是缺硫。例如尿素 (仅含氮) 和硫酸铵 (既含硫又含氮) 可分别施在一至二块试验区内, 施用量约每公顷 50 公斤氮 (如 2 米 × 10 米试验区的面积施 1 公斤氮)。如果施用了硫酸铵或是尿素, 植株都一样变绿, 这证明它们缺氮, 如果只有施用硫酸铵才变绿, 这说明问题出现在缺硫上。

弄清楚土壤中氮含量是困难的, 因为对

植物有效性不同的氮源还未确定。粗略估计,在土壤氮含量低于0.1%时(Kjeldahl方法)被认为是很低,而当氮素浓度达到0.5-1.0%时,便可最大限度地促进作物生长(Landon, 1991年,引自Metson, 1961年),对含有适量有机质的砂壤土, Mascianica等(1985年)测定的甘薯临界土壤含氮浓度为每公斤土壤含氮37mg。这是在移栽后29天取样测定的。

Correction of nitrogen deficiency

缺氮防治措施

每公顷20吨的甘薯需要消耗大约87公斤氮素。如果其块根和藤蔓均收获的话(表4),最佳施肥量是要以土壤中植物有效氮量和产量潜力为根据的,而这可能是由有效土壤水和降雨来决定的。根据文献介绍,一般来说甘薯施氮肥量均为每公顷30—90公斤(de Gues, 1967年),过量施氮肥可导致减产,因为它造成藤蔓旺长,而阻碍根部生长。

各种各样的含有机质的覆盖物,如豆科植物的枝叶和动物粪便均可用来增加作物氮素供应。在休闲期间,土壤有机物也会积存氮素,特别是如果处在前茬为豆科作物的休

闲期。这种情况将使得有机质不断分解,源源不断地供应给后茬作物加以利用。把休闲地的残渣烧掉可很快从有机质中释放氮素,但是在燃烧时氮素大多数呈氮氧化物(二氧化氮或是一氧化氮)的形态而损失在大气中,剩下的硝酸盐类很容易被淋溶和出现脱氮现象。因而燃烧产生的长期影响就会减少氮素供应和其他营养物质供应,并使土壤物理性质降低、恶化,可以利用种植豆科作物来补给氮素,如甘薯与花生轮作,而且要把作物秸秆留在地里。

有些时候缺氮与土壤渍水有关。在无氧状态下,土壤细菌很快就把土壤的硝酸盐转化成氮气,而在大气中损失。改善排水状况,如在田间作垄起墩,挖水沟,并使过多的水从大田排走就能取得成效。甘薯对渍水很敏感,哪怕短期渍水其产量也会受到影响,特别是在其早期生长阶段。因此,做好排水,有利氮素的供应。

Sulfur deficiency

缺硫

除了严重缺硫的作物以外，一般缺硫的症状不明显，所以在田间很难确认缺硫症状。然而最近在对土壤肥力的研究中发现，甘薯产量经常受供硫不足的制约。有文献记载，出现缺硫的土壤有巴布亚新几内亚山地的 ultisols(Dowing等, 1994年), 及其沿海地区的珊瑚色土壤(M.Johanston的未公布的资料)。

另一方面，甘薯对低硫的忍耐力比其它农作物强。Vance等(1983年)在查阅有关巴布亚新几内亚农业中缺硫的文献，发现了许多豆科植物、禾本和乔本作物中缺少硫的报告，未发现有关甘薯的报告。在所罗门群岛的北 Gudalcanal 平原地区的含硫少的土壤中，Chase与Widdowson(1983年)注意到，大量的牧草、豆科植物和不同的树种对施加的硫有反应，而甘薯则无反应。

硫很容易从土壤中流失。在降雨量大的风化土壤中含硫量较低，燃烧植被使硫（二氧化硫）从气体中损失。经常大量地施用磷肥可取代土壤基质中的硫，导致硫的耗竭。在接近工业区与火山活动的地区，雨水可提供大量的硫以供作物生长。溅出的海水也可成为沿海地区硫的来源。但也有报道在小海岛

上出现缺硫症(Halavatan等, 1996年), 那里的含硫量约超过10kg/公顷/年(Fox等, 1983年)。

Symptoms of sulfur deficiency

缺硫的症状

缺硫导致整株植物出现均匀的浅绿色失绿症(图8a), 叶脉也不是绿色。在许多情况下, 叶脉比叶脉间组织更显得缺绿(图8b和8c)。一般栽培品种的幼叶呈绿色(即缺少红色素沉积)。最嫩的叶子可能出现失绿症早于或重于定型叶片。栽培品种无明显红色或紫色顶尖。

在未出现缺硫症状时, 植物也可表现为生长迟缓。出现明显症状时, 生长已表现出严重矮化, 同时叶子缩小(图8d), 而且蔓的分枝和腋芽数都减少(图8a)。

在幼叶和老叶子上, 紫色或红棕色色素也许会进一步发展。带有绿色芽苗的品种, 其叶柄和幼叶边缘也变为红色, 并扩展到叶片表面上的斑驳图案中(图8e和8f)。在老叶子上也可看到相似的图案。当然此现象仅限于裂片的尖端, 而不是整个叶边。刚定型的叶子一般不存在紫色色素沉积。带有紫色顶尖的

品种, 由于叶子成熟, 该色素会减少(对照缺氮)。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

整株作物生长迟缓、出现失绿症, 与缺氮的症状相似。区分特征是: 缺氮的作物, 其幼叶的叶脉上有红色色素沉积, 但老叶子上无色素沉积; 而缺硫可加剧幼叶边缘和叶柄的色素沉积, 叶脉的图案并不明显, 老叶子上也有色素影响。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

在对Wanmun品种(表3)进行溶液栽培实验中, 测得第7-9片幼叶中硫的临界浓度为0.34%。健康作物中硫的浓度为0.35-0.45%。

土壤中硫的化学特性比较复杂, 现无可靠的方法测定适用于各种土壤的对植物有效的硫量。所有的测量方法都是基于土壤中含

硫量很低时，测定作物对硫肥的反应。磷酸钙浸提法被用以估测可溶性及可吸附态的硫的成分(Raynet与Higinson, 1992年)。此法可用于预测在有机物含量低的土壤中是否缺少硫。但在大多数湿润的热带土壤中，硫主要来自有机物的降解(Landom, 1991年)。Landom(1991年)证明了所有硫的临界水平为200mg/kg, 或是6 - 12mg/kg可提取的硫。低于此数, 在含有机物少的土壤中将缺少硫。

在田间，带状施肥试验可区分缺硫和缺氮。如未施尿素，只施用硫酸铵，作物变绿，可断定此作物缺硫；如果施用两种肥料都有效，就是缺氮。

Correction of sulfur deficiency

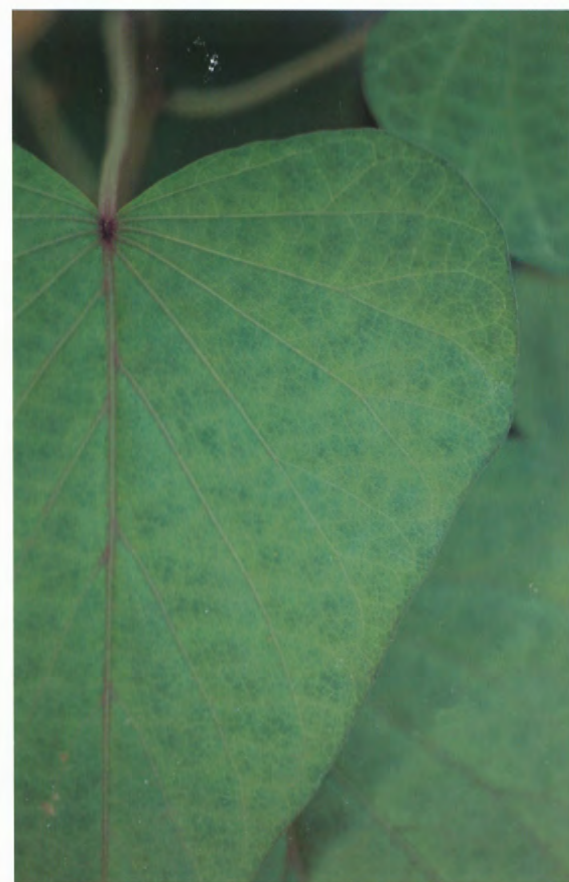
缺硫的补救措施

通常通过施加含硫的化肥纠正缺硫症，如石膏肥料、元素S, 或是作为施用其它养分物质时的成分之一，如硫酸铵(含S24%)、一元高磷酸盐(含S11%)。应当注意，许多“高分析值”的化肥，如三元的高磷酸盐、一铵磷酸盐、三铵磷酸盐和尿素只含微量的硫。

Plate 8. 图 8. 缺硫



a) Beerwah Gold 品种的健康幼苗(左)与出现缺硫症的幼苗(右), 后者表现为生长迟缓、分支少、叶片小且为浅绿色。



b) Wanmun品种中度缺硫的叶片, 叶脉及附近区域出现明显失绿症, 叶脉间的组织失绿较轻。

Plate 8.



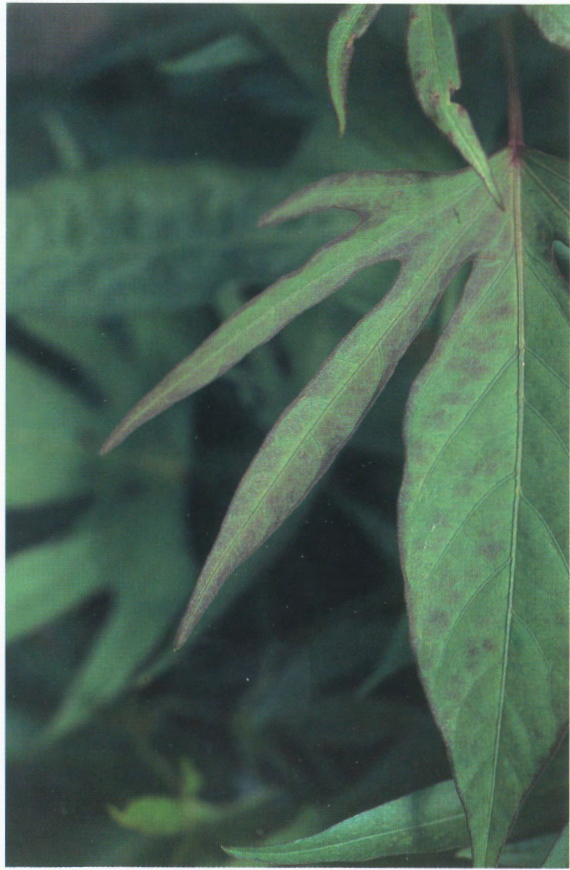
c) Hawaii 品种中度缺硫的幼苗，其叶脉颜色比周围组织的颜色更苍白。



d) 与健康的叶片相比(右), Hawaii 品种的幼苗缺硫叶片出现失绿症并且变小(左)。



e) Beewah Gold品种的幼苗出现的失绿症,并伴随着叶柄与幼叶叶缘上紫色色素沉积。



f) Lole品种的幼苗，色素沉积出现在幼叶叶缘和叶脉间。



g) Hawaii品种的一片老叶上，苍白的叶脉和紫色色素沉积从叶尖扩散到叶脉间组织。

土壤中保持大量的有机物含量将增加硫对根的有效性，并减小养分流失的速度。燃烧作物和无用的残渣造成硫损失到空气中，并减少了供给土壤的有机质含量。在缺硫地区，此方法不可取。

Manganese deficiency

缺锰

土壤中锰(Mn)为自由 Mn^{2+} 离子时对作物有效，而氧化物的可溶性低。锰的不同形式主要依赖于化学反应和微生物的活动。土壤的pH值较高将降低锰的可溶性，也就降低了锰对根部的有效性。因此缺锰常出现在碱性或撒过石灰的土壤中。Johnston(1996年)怀疑在巴布亚新几内亚Madang地区附近的珊瑚色土壤中种植的甘薯出现了缺锰症，即使甘薯比薯蓣属植物受养分失调的影响要小。

土壤中微生物的活动导致 Mn^{2+} 氧化成不溶性高价氧化物，但这有助于土壤通气。在干旱时期，间歇地出现缺锰，而排水良好的土壤会出现严重的缺锰。间歇性缺锰产生的症状一般出现在作物老枝部分的幼叶上。

Symptoms of manganese deficiency

缺锰的症状

甘薯缺锰的早期症状表现为作物整体轻度的失绿，特别是在定型叶片上(图9a)。主要

叶脉附近的绿色区域相对较宽并逐渐褪色。在有些品种中，失绿症经常大面积出现，但仅出现在叶脉间。失绿症经常伴随着叶片下垂(虽然叶片饱满)，而且叶片的表面轻微起皱或向下卷曲(图9b)。叶柄弯曲造成叶片下垂，并不是叶片枯萎，不会发展为衰老和凋落。

在展开的叶片上，次叶脉间的小块区域变得苍白和下陷，最终发展为坏死点。所有叶脉间部分都将被感染，但感染的速度不同，经常可以看到叶片上雨点般清楚的亮点(图9c)。图9d详细显示出坏死点的发展过程。开始，大部分被感染的叶片扩展迅速，叶尖部分产生一些节。当症状进一步加剧时，老叶与幼叶都会被感染。老叶片上的斑点的颜色趋向更深，并集中在中脉和主要叶脉根部(图9e)。幼叶在生长中变得苍白、加厚和易脆，并向下卷曲或弯曲。当小坑出现在幼叶上，随其生长发展为大洞(图9f)。在严重的情况小，叶片只剩下花边状脉络。严重感染的叶片将坏死，坏死部分从叶尖和侧边扩散

(图9g)。正在生长的芽尖和腋生的叶片仍将保持活力。腋生芽比包叶更不易受感染。有些品种的叶片裂开很深，此症状还将进一步加重。还会出现小的、失绿的、加厚的、变形的幼叶(图9h)。在叶片表面上，尤其是主要叶脉附近可能出现小的凹陷。

Pillai等(1986年)报道，缺锰的作物产生瘦小的块茎，其肉质中有棕色条纹。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

缺铜也可导致叶脉间的失绿症和定型叶子下垂，但其有明显的叶片枯萎，并造成叶子衰老和凋落。而缺锰不存在此种现象。当出现小的变了形的幼叶也可能误认为是缺铜，但这种情况并不造成叶片表面的失绿或留下疤痕。

叶脉组织中清晰的岛状组织，也是铜中毒症状之一。在这种情况下，失绿症经常影响定型叶片，而且只出现在叶片上的局部区域。缺锰的症状无规律地出现在整个叶片上。

土壤与植物组织测试诊断

在对 Wanmun 品种(表3) 进行溶液栽培研究中, 测得第7-9片幼叶中锰的临界浓度为19mg/kg。健康作物中锰的浓度在26-50mg/kg之间。

土壤中锰的有效性是通过用DTPA螯合剂提取的锰来估测的(Rayment与Higginson, 1992年)。如果DTPA提取的锰的浓度 $<4\text{mg/kg}$, 可以判断根部和蔬菜作物存在潜在的缺锰危险。

可以用叶片涂抹1%的硫酸锰溶液的方法确定是否缺锰。施用锰可使失绿组织重新恢复绿色(图9i), 并可抑制幼叶上的小坑进一步发展, 而且使痊愈的部分扩大。

Plate 9. 图9. 缺锰



a) Wanmun 品种的幼苗出现中度缺锰的症状(左), 对照健康的幼苗(右)。缺锰幼苗的所有叶片的叶脉间出现失绿症, 特别是那些正在成熟的叶片。



b) Markham品种的叶片, 叶脉间出现失绿症, 而且叶片低垂、叶片轻微起皱、叶缘向下卷曲。

Plate 9.



- c) Wanmun品种的一个张开的叶片，可看到叶片上叶脉间的亮点，为早期阶段的坏死凹斑。



- d) Wanmun品种的一个张开的幼嫩叶片，可看到斑点的详细情况。



- e) Wanmun品种的一个成熟叶片上的坏死斑点。



f) Markham 品种的一片幼叶，在其伸展过程中，叶脉间的坏死凹斑已经穿孔。

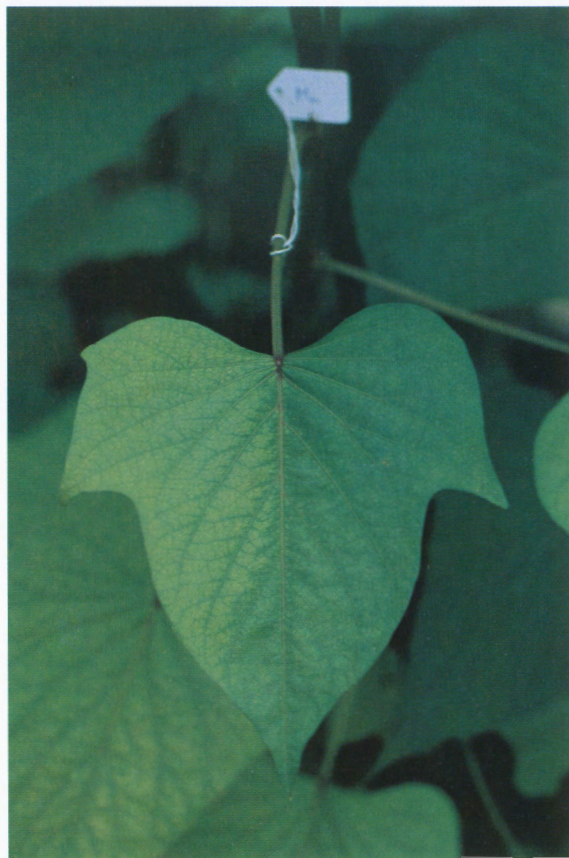


g) Hawaii 品种严重缺锰的幼叶，表现出失绿症、叶片卷曲和坏死斑。顶端和腋生芽受到的影响较小。



h) Lole 品种的幼苗，其幼叶出现失绿症、叶片增厚、变形。但无坏死斑和空洞。在叶片表面可看到细微小坑。

Plate 9.



- i) Wanmun品种缺锰的叶片, 叶片的右半部涂上了1%的硫酸锰溶液, 此处的失绿症已消失。

Correction of manganese deficiency

缺锰的补救措施

除了一些沙土, 土壤出现缺锰常常是由于土壤条件限制了锰对作物的有效性。因此给土壤施加含锰肥料可能无效, 而叶部喷洒0.1%的硫酸锰或螯合剂数量为每公顷2-4千克锰是有效的 (Tisdale等, 1993年; Weir与Cresswell, 1993年)。通过用覆盖物或施堆肥, 可提高土壤有机物质的成分, 这可改善锰与其它养分物质对作物的有效性。

当中性或酸性土壤中出现养分失调, 可施锰肥, 如硫酸锰或氧化锰。对其它作物典型施肥量为每公顷10-20千克锰。土壤pH值大于6.4时含锰量不会低(水中测量)。

Copper deficiency

缺铜

甘薯缺铜一般出现在一些酸性的、含铜量低的沙土中，如澳大利亚北部 Mareeba 附近的土壤(O'Sullivan等, 1997年)。缺铜也出现在石灰土壤中，由于铜在pH高的土壤中的可溶性低，降低了铜的有效性。在一些有机土壤中，铜与土壤成分紧密固定，因而对作物的有效性差。给低铜的土壤施用石灰会导致缺铜。

Symptoms of copper deficiency

缺铜的症状

在成熟的叶片和幼叶上，都能观察到缺铜的症状。不同的品种出现症状的形式和顺序不同，叶脉上明显的症状与作物生长严重矮化同时出现(图10a)。

缺铜的第一个症状是失绿症和定型叶子枯萎、低垂(图10b与10c)。叶龄中等的叶子首先被感染，但到叶子翻转期则意味着最老的叶子显示出症状(图10c)。叶脉间的失绿症表现为远离主叶脉的部分逐渐褪去颜色。细小叶脉的绿色比主叶脉的浅，这也许是失绿症

出现斑点状的原因(图10c)。叶片上失绿的部分会发展成点状或块状枯斑病，此病不断扩展直到整个叶子坏死。

有些栽培品种在其定型叶子上出现坏死性斑点之前，并未出现失绿症。首先，坏死的斑点表现为小、暗且界限明显(图10d)。斑点聚集在靠近叶柄连接处的区域，或是分布在叶片表面。在叶片背面的细小叶脉上可看到坏死性斑点。其次，在斑点的周围出现失绿症，并不断扩展，围成了大量侵蚀斑(图10e)。然后，在最早的侵蚀斑之间出现坏死(图10e)，最后整个叶子坏死。

幼叶的症状和生长点出现的时间可能早于或晚于以上所述。这些有可能是某些品种的唯一可视症状。首先，幼叶的外表呈银灰色(图10f)，出现一些畸形的叶片(图10f-h)。新发的叶一般较小、变形、杯状弯曲或增厚(图10g)。由于叶片不均匀的扩展，造成了一些空洞(图10h)。节间长度缩小也是常见的。与缺锌不同，叶子两侧狭小的裂片不是缺铜的特征。

Plate 10. 图 10. 缺铜



a) 缺铜的栽培品种 Wanmun 的幼苗(右)，缺铜表现出生长缓慢，(左)为健康幼苗。

Plate 10.

Cu deficiency



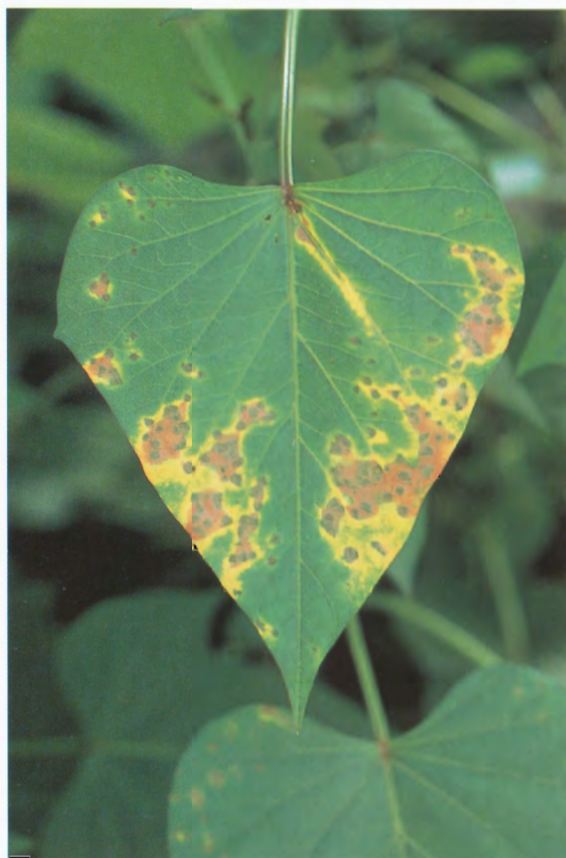
- b) 栽培品种Wanmun的成熟叶片, 出现失绿症并逐渐枯萎, 进一步发展成枯斑, 叶片开始衰老。



- c) 在澳大利亚北部, 缺铜的 Centennial 品种, 其叶片已严重感染, 叶脉间出现斑驳失绿症, 并发展成坏死性斑点。



d) Wanmun 品种的叶片，出现小的坏死斑点，而在此之前未出现失绿症：右为叶片的正面，左为叶片的背面。



e) Wanmun 品种的叶片，失绿症进一步发展，在首先出现坏死斑的周围，出现次生坏死斑。



f) 在澳大利亚北部(未命名的培育品种)，由于缺铜导致幼叶表面变成银色并起皱。

Plate 10.



- g)** 生长在澳大利亚北部的 Centennial 品种，其幼叶出现缺铜症，包括起皱、变形和叶片穿孔。



- h)** Wanmun品种的幼叶上缺铜的症状，包括叶脉增粗、叶片形状不对称、向上杯状弯曲，以及由于叶片不均匀伸展造成的空洞。



i) 澳大利亚北部缺铜的 Centennial 品种的块根，紧靠表皮下的维管组织已变黑。

Pillai 等人(1986年)观察到, 缺铜的甘薯作物生成的储藏根, 其外表正常, 但肉质含有棕色条纹。在澳大利亚北部的缺铜作物中, 也观察到此症状(O'Sullivan 等人, 1997年)。维管组织的坏死部分在表皮表现出棕色区域(图 10i)。其它的甘薯外表良好, 经过一段时期的储藏, 就会出现大面积断裂。甘薯被切开后, 迅速变黑。这些储藏根的营养失调可能出现在蔓上几乎看不到症状的甘薯作物上。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

缺铜引起的定型叶子上的失绿症与缺镁、锰症相似。在缺镁的情况下, 失绿症的图案非常明显, 靠近顶端的节间增长, 而缺铜作物的此处节间缩短。在缺锰的情况下, 整株作物的失绿症的症状较均匀, 定型叶子的失绿症不进一步发展为黄化、衰老。

缺锌也可造成幼叶窄小、畸形, 而且缺锌的叶片经常失绿、增长, 叶子两侧分裂。但

这些叶片两侧对称，并无杯状弯曲，此与缺铜的症状不同。蚜虫也会引起幼叶杯状弯曲。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

在第7-9片最嫩的叶子中测得铜的临界浓度为4-5 mg/kg(表3)。在澳大利亚北部发现，作物中含铜浓度低于2mg/kg时，将出现缺铜症(O'Sullivan等,1997年)。

建议用EDTA-碳酸氢铵提取剂，来估测土壤中铜的含量，尤其是碱性土壤和石灰土壤。用此试验，测得小麦铜的临界浓度为0.3-0.4mg/kg(Best等,1985年)。土壤测试法还没有与甘薯缺铜做出校验。

一个快捷、廉价的诊断方法是用稀释的含铜溶液(例如: 0.25% $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 0.25% $\text{Ca}(\text{OH})_2$)涂抹在幼叶的表面上。如果缺铜，涂抹后的叶片症状减轻，并且在随后的一个星期内，叶片长大。注意标清涂抹过的叶片，以便日后的观察。

如果只涂抹半片叶子，效果会更明显，因

为可与未涂抹的半片对比。使用少量的农业湿润剂和轻度清洁剂，有助于叶片表面均匀湿润。但对于甘薯作物，不必采用此法。

Correction of copper deficiency

缺铜的补救措施

可以给土壤施用铜或是叶部喷洒。在碱性土壤和有机土壤上，由于给土壤施加的铜被迅速固定，所以叶部喷洒更为有效。但是人们更倾向于对土壤施肥(Reuther与Labanauskas,1996年)。现还未获得对甘薯施加铜的最佳量。对于其它作物，在酸性、含有机物质少的沙土上施用硫酸铜的量为1kgCu/公顷，在碱性、泥炭的或重粘土壤上为7kgCu/公顷。过量施用铜可产生铜中毒，所以应测得最低有效铜量。单一施用铜在10年内有效(Weir与Cresswell,1993年)。

给叶片施肥，对于小麦最低施加量为每公顷0.25kgCu。对于姜和其它蔬菜作物，建议混合喷洒，包括0.5%的硫酸铜加上0.5%水合石灰(AsherLee,1975年)，或是0.5%的氢氧化铜(Weir与Cresswell,1993年)。单独使用硫酸铜可使叶子灼伤。

Molybdenum deficiency

缺钼

钼(Mo)是稀有的微量营养物质,在pH低的土壤中(pH<5),其对作物的有效性降低。所以缺钼与酸性土壤相关,尤其是地质久、高淋溶的土壤。目前还未有甘薯作物缺钼的报道。因为土壤缺钼的同时也缺乏磷和硫,除非通过施肥先纠正缺磷和缺硫情况,否则缺钼症状并不明显(Johnson,1966年)。

作物对钼的需求量较小。在非豆科作物中,钼的主要作用是作为还原硝酸酶的成分之一。作为硝酸盐新陈代谢的必要条件,在许多土壤中,硝酸盐是作物可吸收氮的主要形式。所以说,缺钼的作物似乎是缺氮,症状是普遍失绿和生长矮化。硝酸盐在组织中的积累可产生与缺氮不同的症状。

Symptoms of molybdenum deficiency

缺钼的症状

虽然现无对田间甘薯缺钼的描述,其症状与缺氮相似。包括整体为浅绿色,叶小、生

长矮化,以及幼叶叶脉可能变红。

在溶液培养的作物生长中,缺钼可导致轻度的生长迟缓。在Wanmun品种中,老叶的叶脉间组织出现银色斑,这是由于上边的表皮与下面的组织分离(图11a),最终这些斑点坏死,但单独的坏死斑不扩散(图11b)。在Beerwah Gold品种中,幼叶与定型叶的叶片显示出轻度的失绿症,一些叶脉间区域出现坏死(图11c)。在Hawaii品种中,失绿症不是很均匀,刚刚成熟的叶片边缘枯黄,尤其是裂片的尖部(图11d)。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

由于钼是作物吸收硝酸盐的必要条件,缺钼产生的症状与缺氮的相似。老叶子边缘和叶脉间的坏死斑与高盐度损伤和硼中毒的症状相象。然而,这些养分失调造成的坏死症比缺钼产生的要多,而且与酸性土壤无关。

Diagnostic soil and plant tissue tests

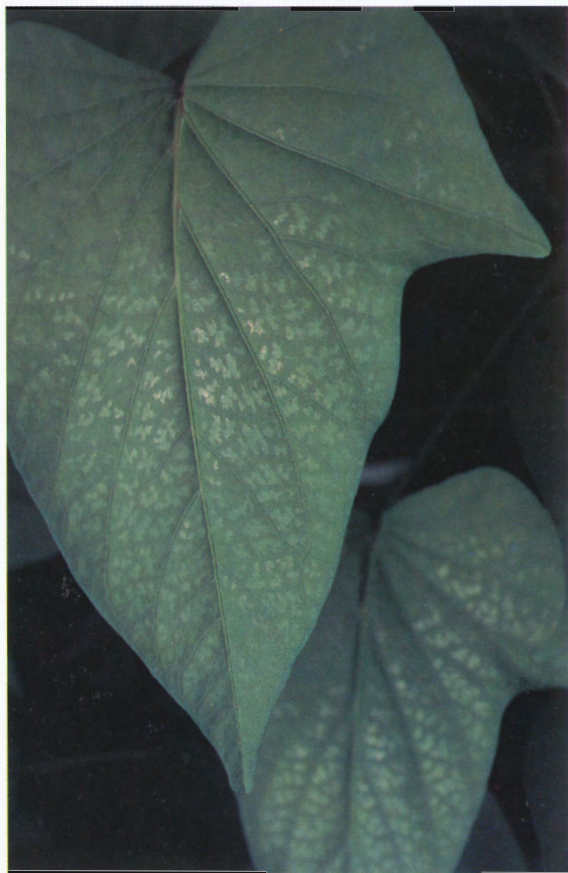
土壤与植物组织测试诊断

从溶液培养研究中得到,在第7-9片幼叶中,缺钼的临界浓度约为0.2mg/kg(表3)。健康植株中,同样的叶子含0.5-7mg/kg。

由于钼是硝酸盐新陈代谢的必要条件,缺钼可导致植物组织中硝酸盐的积累。测量汁液中硝酸盐的浓度,可区分许多作物中的缺钼和缺氮,包括向日葵作物(McDonald,1978年)与马铃薯作物(Ulrich,1993年)。用半定量的硝酸盐试纸条可测得汁液中的硝酸盐浓度。Merck曾做测试,把饱和试纸放在塑料带上,当滴上含硝酸盐的溶液(10-500ppm以上),试纸发生颜色变化,从白到深紫色。通过割开甘薯作物的藤蔓和叶柄,可测试其汁液,使试纸的一端粘上一滴从伤口渗出的汁液,然后使水分通过毛细管作用渗透到试纸。由于汁液着色较黑,所以不要使汁液直接滴到试纸表面,缺钼的植株的汁液将引起强烈颜色变化,而缺氮的植株则无变化。健康植株的汁液只有很弱的反应(图11)。注意缺硫也可增加汁液中硝酸盐的含量。

Plate II. 图 11. 缺钼

Mo deficiency



a) Wanmun品种的成熟叶子, 由于缺钼导致叶脉间的银色斑点。



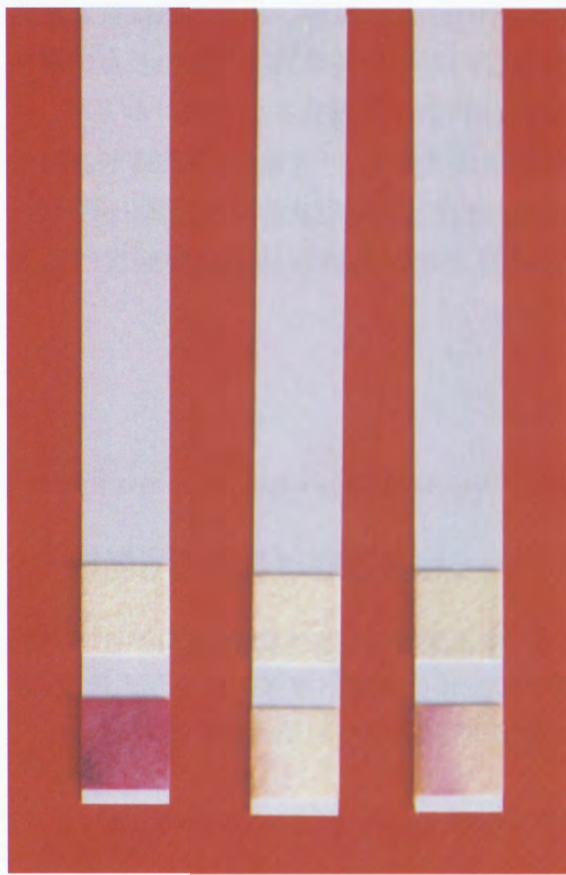
b) Wanmun品种的一个叶片, 坏死斑在叶脉间受影响的区域形成。



c) Beerwah品种的一成熟叶片, 出现叶脉间失绿症和坏死斑。



d) Hawaii 品种的一展开幼叶，一般出现失绿症，并且叶缘出现枯死，尤其是在裂片的顶端。



e) Merckoquant 硝酸盐试纸条，浸上了汁液后反应，(从左到右)为缺钼幼苗、缺氮幼苗和得到充足营养幼苗。

Correction of molybdenum deficiency

缺钼的补救措施

缺钼相对容易纠正，或是给土壤施加少量的钼，或是提高土壤的pH值。在许多情况下，施用钼酸钠或钼酸铵，含量为每公顷0.2–0.3kgMo足以够纠正缺钼症，而且其作用在几年内有效。钼酸钠也可以进行叶面喷洒，溶液浓度为50g钼酸钠/100升水，这对有些作物是成功的，如向日葵(Blamey等，1987年)。一些经济复合化肥也含有钼。

给土壤施用石灰，以提高其pH值达到5.5以上，通常也有效的纠正缺钼症，也可改善作物在其它方面生长的条件，例如提高磷的有效性，根除锰与铝中毒。

Zinc toxicity

锌中毒

锌中毒的发生率很低，现无有关甘薯作物的报告。在其它作物的案例报告中，锌中毒发生在含锌多的酸性土壤中、或是施用锌肥过多的土壤中。锌也是一些杀真菌剂的成分之一，持续使用此剂可造成锌的积累。

Symptoms of zinc toxicity

锌中毒的症状

锌中毒可引起作物严重生长迟缓，或阻碍扦插幼苗的移栽生长。在溶液培养实验中，锌在根部的浓度超 $10\mu\text{M}$ 时，可中度阻碍甘薯作物生长(图12a)；为 $50\mu\text{M}$ 锌时，生长完全停止，并且根部坏死。

锌中毒的可视症状一般并不明显。症状包括老叶片上的深色色素点或斑(图12b)；在严重情况下，整个蔓出现红色素沉积，尤其是在叶柄上和叶片的叶缘和叶脉上(图12c)。然而所有品种并不都能观察到色素现象。锌浓度高造成的根部损伤可引起普遍失绿症和枯萎(图12d)。

锌含量高可抑制作物对铁的吸收，常发

现锌中毒引起的严重缺铁的症状。缺铁的特征是幼叶上的失绿症，其颜色从浅黄发展为白色(图12e)，最终导致叶片和生长点出现枯黄病(图12f)。一些带有紫色嫩叶的品种，其尖端变成亮粉色。叶片涂抹1%的硫酸高铁铵溶液，可使已呈现症状的组织重新出现绿色，可以肯定叶部供铁不足是这些症状的原因(图12g)。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

很难区分锌引起的缺铁症与供铁不足的症状，除非是表现出很强的红色色素现象。叶片组织的化学分析可确定锌中毒。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤和植物组织测试诊断

在溶液培养实验中，锌中毒造成的生长迟缓的幼苗，其第7-9片幼叶中锌的浓度超过 $70-85\text{mg/kg}$ (表3)。严重矮化的幼苗的浓

度大于 150mg/kg ，在严重病状的幼苗中测量到锌的浓度高达 900mg/kg 。

用DTPA提取的锌的浓度大于 10mg/kg 时，在酸性土壤中就有潜在危害。土壤中全部锌的浓度(高氯酸提取的锌)通常为 $10-300\text{mg/kg}$ ，浓度大于 150mg/kg 的溶液含锌过高(Landon, 1991年)，有可能导致生长迟缓。

Correction of zinc toxicity

锌中毒的缓解措施

如果发现田间生长的甘薯出现锌中毒症，可给土壤施用石灰以提高其pH值，这样能降低对作物起作用的锌的浓度。大量施用磷肥也能产生有益的效果。

Plate 12. 图 12. 锌中毒



a) 在含锌量分别为 $10\mu\text{M}$ 、 $20\mu\text{M}$ 、 $30\mu\text{M}$ 和 $40\mu\text{M}$ 的溶液中生长的 Wanmun 品种的幼苗。其中 $10\mu\text{M}$ 的幼苗生长情况与只获得微量锌的对照幼苗相似。锌浓度高引起的缺铁导致幼苗出现失绿症。



b) Wanmun品种的一片老叶子，出现红棕色色素斑点，主要集中在叶脉周围。



c) Hawaii 品种的幼苗，锌中毒使叶片变成紫色。

Plate 12.

Zn toxicity



- d) Markham 品种的幼苗，锌中毒引起了根部损伤，使叶片严重枯萎，但未出现花色素苷色素。



- e) 锌浓度高使 Lole 品种出现典型的缺铁症状。



- f) Wanmun 品种的幼苗，严重的锌中毒症状，由于缺铁引起的整体失绿症、幼叶叶缘坏死，以及植株矮化和老叶片上的暗红色斑点。



- g) 叶片涂抹 1% 的硫酸铵铁溶液 2 天后，叶片的失绿组织重新变绿，说明此失绿症是由缺铁引起的。

Copper toxicity

铜中毒

土壤中很少出现天然的铜中毒。然而,由于施用污水淤泥、猪圈粪肥或矿渣,或长期使用含铜的杀真菌剂或化肥,铜就会积累(Tiller与Merry, 1981年)。在澳大利亚北部曾大量使用杀真菌剂的土壤里,甘薯出现过铜中毒的轻度症状(O'Sullivan等, 1997年)。

Symptoms of copper toxicity

铜中毒的症状

超量的铜对甘薯有剧毒(图13a),根部浓度在 $5\mu\text{M}$ 就足以造成生长迟缓,浓度大于 $20\mu\text{M}$ 将抑制根的生长并导致扦插移植苗死亡。根部损伤可引起藤蔓的苗尖枯萎、死亡(图13b)。与锌中毒不同,叶片几乎不出现普遍性失绿症,红色色素沉积也未增加。

中度的铜中毒症状是成熟叶片上出现从浅绿到白色的失绿症(图13c-e)。通常此症状只出现在藤蔓的几个叶片上,幼叶和老叶子上缺少失绿症(图13a)。叶脉间小的区域出现苍白色和轻度下陷,而主叶脉和此叶脉周围

仍保持通常的颜色。这种失绿症有不同的表现,从不明显的斑点到显著的、轮廓清楚的图案(图13e)。这些症状经常不均匀的分布在叶片上,影响一块区域,如叶片尖部或裂片上要比其它的区域多(图13d)。

与锰和锌中毒相同,铜中毒也可产生缺铁的症状,幼叶上出现明显的浅黄色失绿症。

Possible confusion with other symptoms

与其它症状混淆的可能性

叶脉间的失绿症与缺锰引起的小凹陷容易混淆。在铜中毒的情况下,成熟叶片上失绿症比幼叶上的严重,叶片上不存在普遍的失绿症。缺锰的明显症状大到整个叶片,铜中毒的症状只出现在局部上,为不均匀分布。

虽然锌中毒可造成蔓上红色色素沉积增强,但较难区分严重的铜中毒和锌中毒。有必要利用有关作物和叶片组织的化学分析以明确病因。

Plate 13. 图 13. 铜中毒



a) 在含铜浓度分别为(从左至右)微量、 $8\mu\text{M}$ 和 $12\mu\text{M}$ 的溶液中生长的甘薯栽培品种 Wanmun 的幼苗。



b) Markham 品种的幼苗，铜中毒引起的根部损伤使植株萎焉。



c) 生长在澳大利亚北部的Beerwah Gold品种的一片老叶子，由于过量的铜，使叶脉间出现中度的斑驳。

Plate 13.



- d) Wanmun品种的叶片,中度铜中毒引起老叶片上的叶脉间出现失绿斑点。失绿点不均匀分布在叶片上,并且轮廓分明,叶片其余组织保持均匀的绿色。



- e) Wanmun品种的一片老叶子,铜中毒使叶脉间出现明显的白色失绿症,并感染到叶片的大部分区域,但相邻的其它区域仍是深绿色。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

土壤测试值还没有与甘薯铜中毒作校验研究。对于许多作物,土壤中“全部”铜的浓度大于100mg/kg就已是很高(Landon, 1991年)。DTPA提取的铜的浓度大20mg/kg时,对酸性土壤具有潜在的危害(CFL, 1983年)。对于柑橘作物,利用Spencer的试验,土壤表层15厘米以内的含铜量超过112kg/公顷,已具有一定的风险性,尤其是如果土壤的pH值低于6.5(Koo等, 1984年)。

铜中毒主要影响作物的根部,因此土壤表层中铜的浓度并不能很好的表明作物含铜情况。当土壤中含铜量已抑制柑橘树的生长时,Alva等人(1995年)发现其叶片中的浓度并未增加。在对甘薯的溶液培养试验中,确定第7-9片幼叶组织中铜中毒的临界浓度为15.5mg/kg(表3)。然而,通过对田间生长的健康作物的分析,发现一般都超过了临界浓度。据记载,未施用过杀真菌剂的作物铜的浓度也超过了30mg/kg。同时,对于施用过杀真菌剂喷洒的作物,其含铜浓度肯定很高,但无病态反应。在昆士兰北部,表现出轻度铜中毒症状的作物,其中铜的浓度为

270mg/kg,而健康作物的叶片中铜的浓度为800 mg/kg以上。可能是由于喷洒杀真菌剂,叶片表面直接吸收到了铜,增加了铜的浓度,所以这些高浓度指标可以反映作物受药物喷洒的情况。根据结果,毒性主要来自土壤中喷药后积累的残留物,毒性也受制于成土过程和土壤固定铜的能力。

Correction of copper toxicity

铜中毒的缓解措施

超量施用铜肥可产生毒性,所以预防比治疗更重要。大量施加磷肥也可以降低过量铜的副作用。给土壤施用石灰也是有益的,因为pH高可降低铜的有效性。建议保持土壤的pH值在6.5以上,可降低柑橘作物的铜中毒。

Disorders Producing Symptoms Mainly on the Younger Leaves

(植物幼叶营养失调的症状)

Calcium deficiency

缺钙

钙(Ca)通常是土壤中主要的阳离子,酸性土壤的含钙水平低就很容易影响植物生长。高浓度的酸性土壤的交换性铝离子很高,这些铝离子对根生长的毒害影响可以进一步促使形成缺钙症状。土壤中含钾和镁离子,就可以抑制钙离子的吸收;同时,过量使用含钾、镁养分的肥料也会导致缺钙。

Symptoms of calcium deficiency

缺钙的症状

植物缺钙反应的最初症状就是它的嫩叶组织坏死。嫩叶上沿着侧边常常出现黑斑(图14a),然后向嫩叶中部叶脉组织扩展(图14b与14c)。坏死的组织有些呈深棕色,而且干枯易碎。在黑斑产生前先是出现局部的嫩叶萎黄,尽管这些嫩叶可能比正常的叶子颜色要淡一些。植物缺钙的症状首先就是从

嫩叶上看到的,一般是在顶尖下的二、三片叶子(图14c)。但是,由于缺钙导致营养失调加剧,以后新长的叶子也会受到影响,最后导致植物顶端枯死(图14d)。

坏死的叶子可能在未成熟前就脱落。某些品种的落叶是惊人的,只剩下顶端下部一段光秃的裸枝(图14c)。另有些品种脱叶较少,那些枯死的叶子仍挂在主茎上(图14d)。

缺钙的另一个症状是促使叶子老化,但这与嫩叶的坏死无直接的关系。出现黑斑后,它既会从叶柄基部到嫩叶大约一半的边缘处沿叶脉呈丛状发展,也会跨越叶中部叶脉区均匀扩散(图14f)。它们呈类似的环状,而且叶边缘易碎且呈不规则状,同时似乎不会加速叶子的衰老。这时,坏死的组织呈淡棕色,并且不易碎裂。在四种栽培品种中已有两种发现了这种症状。Bolle-Jones与Ismunadji(1963年)对印度尼西亚的栽培品种Djarak进行了报道。

植物缺钙还会抑制根系的生长发育,严

重缺钙时,根尖会坏死。钙浓度为 $13\mu\text{M}$ 或稍低一点,都会抑制甘薯插条的根生长(图14h)(Ila'ava, 1997年)。

Possible confusion with other symptoms

与其他症状混淆的可能性

植物缺硼也会导致枝条顶端坏死。不过缺硼时,坏死症状在叶子上一般不会扩展,而且使嫩叶变厚、起皱,通常失绿。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

采用溶液培养法测估出栽培品种Wanmun的第7-9片嫩叶干重的临界钙浓度含量为0.76%(表3)。健康的植株,其钙含量通常在0.9-1.2%之间。钙含量是与取样的叶龄密切相关的。由于钙在叶子里的积累时间较长,因此我们不要随机地在叶脉其他部分取样,而应按指定要求取样来测定钙

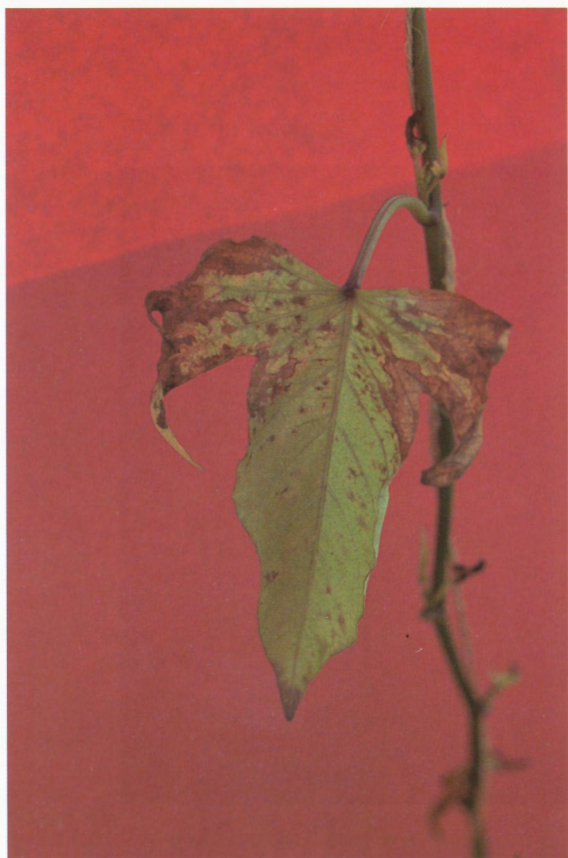
的临界浓度。温度等其他因素也会影响取样的实际叶龄，从而会增加叶分析测定钙状况的难度。

测定土壤中植物有效钙含量的愿望一般是不现实的，因为其有效性取决于诸多因素。土壤中交换性钙含量少于 $0.2\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 时，表明可能缺钙（Landon,1991年）。大量的有效态钾（通过重施钾肥）或钠（盐碱土壤）可以导致植物缺钙，即使可置换钙量可能在正常的范围之内。

Plate 14. 图14 缺钙



a) 嫩叶侧边出现坏死是北澳大利亚花岗沙土上种植的甘薯缺钙的早期特征（叶片上的洞是虫害所致）。



b) Hawaii品种嫩叶上的坏死由侧边向里扩展，老叶已脱落。



c) Wanmun品种的嫩叶，可以看到顶尖下部的叶片已有坏死斑形成。



d) 严重缺钙会导致 Wanmun 品种的生长点死亡。请注意枯死叶子仍留在藤蔓上。

Plate 14.

Ca deficiency



- e) Hawaii 品种幼嫩的坏死叶子脱落后只剩下光秃的主茎。



- f) 在 Wanmun 品种的一些老叶上，坏死斑沿着叶主脉呈丛状分布，而在其它一些叶片上，坏死斑则均匀分布。



g) Markham 品种的老叶子，整个叶片已布满了坏死斑。



h) 甘薯 Hawaii 品种插条的生根，从左到右，各培养液的含钙量分别为4、13、41、144、397 和 1328 μ M。(V.P. Ila'ava 摄)

Correction of calcium deficiency

缺钙防治措施

增施石灰（含钙40%），既可提高供钙，还可以改善土壤酸碱度。石灰并不可能全溶于水，它在土壤中移动性很低，因此必须撒施，而且要在播种前与土壤彻底混合。如果缺钙不影响土壤酸度，可增施（含钙22%）石膏。尽管它比石灰易溶解，通常还是要与土壤混合。单磷和三磷过磷酸盐也含钙（分别为23%和16%），在既缺磷又缺铁、钙的地区可能是适合的肥源。施钙肥（特别是石膏）将加剧缺镁和缺钾。因此，要结合施钙肥，也增施这些营养素，以保持土壤中适宜的阳离子平衡。

Iron deficiency

缺铁

缺铁(Fe)经常发生在石灰性土壤中。这类土壤中,由于pH值高使铁离子沉淀,以及可能由于土壤磷浓度高而使植物的有效铁降低。在这种条件下,缺铁常和缺少其他一些微量元素相伴而生,例如锰、铜、锌等元素的有效性也是与pH值密切相关的。重施石灰或是磷肥很容易引起缺铁。沙土地也易缺铁,有机土壤或酸性土壤往往含锰元素过高。

大量影响根功能失调的其他因素包括锰、铝、锌中毒或缺钙的影响,也能抑制铁的吸收和导致叶子上出现缺铁的症状。在所有的缺铁现象中,必须仔细认真地测定环境条件与失调的关系。

缺铁是一种可以明显观察到症状的失调状态。此时,作物的生长仅仅稍受影响,这一特征可能是对在甘薯作物中经常观察到缺铁症状的贡献(Bourke, 1983年)。

Symptoms of iron deficiency

缺铁的症状

缺铁的明显症状是幼嫩叶子失绿(图15a

与15b)。由于光照影响叶子的黄绿颜色,强光下的叶子将比隐蔽下的更容易受到影响。起初叶子先在叶脉间变黄,其特征是与叶脉绿色网络形成强烈的反差(图15b)。然而由于环境变得更为严峻,发黄的叶子将变成白色,叶脉也失去其原有的绿色(图15e与15d)。如果嫩叶在一般情况下属正常的紫色时,它们由于缺铁就会导致变成粉红色(图15d)。此时,植株上所有的叶子都可能受到危害,而幼嫩叶子通常受害最严重(图15c)。不过,如果铁元素的供应得到恢复时,亮绿的新叶子就会长出来,这时失绿的叶子就可能在这批新生的嫩叶下边了。

受到严重影响的叶片坏死,而且黑斑也常常从顶部、边缘一直蔓延到整个叶脉间(图15c)。最终,顶尖和侧枝的生长点就会坏死,叶片漫延开来的坏死组织一般呈淡棕色,而且变软,但是在枝条顶端的叶子就变得颜色发暗而且易碎。

Possible confusion with other symptoms

与其他症状混淆的可能性

缺硼也可能导致生长点坏死和嫩叶失绿,但是叶脉间失绿并不明显,特别是缺铁叶片的支脉看起来不很明显,而且缺铁的幼嫩叶子尚未发现叶片加厚和变形的情况。

Plate 15. 图15 缺铁



a) 巴布亚新几内亚新爱尔兰的石灰性土壤缺铁导致嫩叶失绿。

Plate 15.



b) Markham 品种缺铁导致叶片叶脉间失绿的典型症状。



c) Lole 品种缺铁的症状: 老叶表现为叶脉间淡绿色, 嫩叶则表现为浅黄色甚至白色。



d) Wanmun 品种缺铁的症状: 叶片的叶脉间由黄色变成完全白色, 叶片及顶尖出现坏死斑。这个品种的幼嫩叶正常为紫色, 现因绿色素脱色变为粉红色。



e) Lole 品种嫩叶片上的坏死斑。



f) Markham 品种严重缺铁导致顶尖、侧枝顶尖坏死。



g) Hawaii 品种缺铁叶子涂抹含铁溶液后的反应。叶片右边在 5 天以前涂抹了 1% 硫酸铵铁溶液。

Fe deficiency

缺铁也可能是受其他一些方面失调的影响。这种失调反过来影响根的功能。这些失调包括缺钙和锰、锌、铜的毒害等。要改善这种失调，需要找出最根本的原因。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

Wanmum 品种经过溶液培养研究测定，第7 - 9片叶子的临界铁浓度为33mg/kg (表3)。一般来讲，健康的植株铁的浓度在45 - 500mg/kg之间，这是Spence与Ahmad (1961年)研究的结论。他们报道说，幼嫩枝条干重的铁浓度为35mg/kg时，就会显露轻度缺铁症状，但并不影响其生长发育，而如果其铁浓度仅为28mg/kg时，就会显示出严重的失绿、萎黄现象。

由于土壤中影响铁对植株的有效性因素很多，因此，土壤测试对诊断植株是否缺铁并不一定实用。

诊断的办法可以采用对失绿叶子喷洒1%浓度的硫酸铁铵，这种溶液喷洒将会使叶子在几天后复绿。把喷洒过的叶子注明标记十分重要，这样就可以在以后的观察中加以识别。只需喷洒叶子面积的一半，其余剩下的

一半可用来作比较对照 (图15g)。在上述溶液中加上少量农用湿润剂或洗涤剂就可以增加叶面湿润的均匀一致，但是这对甘薯叶子并不重要，因为它的叶子的湿润相对要容易一些。

Correction of iron deficiency

缺铁防治措施

对于pH值高的土壤，施用含铁的肥料收效甚微，因为增加的铁元素会沉积在土壤中，而且对植株是无效的。最好的办法是叶面喷洒螯合物的铁，或是1 - 2%的硫酸铁铵溶液。可以把废铁小碎片在种植前埋入土中，例如钉子、铁质罐头盒等，这也能有效地缓解缺铁现象。把经过海水浸泡的罐头盒埋入土中使其更快地生锈，也能有效增补石灰性土壤中铁元素浓度 (Cable, 1992年)。

如果酸性土壤缺铁，它可能会导致其他营养元素失调，如锰中毒或缺钙等。在这种情况下，增施石灰可以从根本上减轻缺铁的影响。

Boron deficiency

缺硼

比较其他作物，甘薯似乎更易于感受到缺硼的影响。美国长期以来就认识到缺硼对甘薯作为商品的重要性，特别是它影响甘薯根的质量 (Willis, 1943年; Nusbaum, 1946年; Miller与Nielsen, 1970年)。许多国家已有这方面情况的记载，包括属于环境问题的在巴布亚新几内亚高原高度风化的土壤 (Bourke, 1983年)，北澳大利亚的花岗质沙土 (O'Sullivan等, 1997年) 以及马拉维的河流平原 (J.Mkumbira, 1995年)。那些由酸性火成岩形成的土壤容易缺硼，淡水沉积物本身就缺硼，降雨量多的地区的酸性沙土硼元素也被大量淋失 (Bradford, 1966年)，干冷的环境制约根的发育和水分由根部向植株顶端的运送，也会加速缺硼。如果以后有降雨或是天气转暖将有助于作物的缺硼现象得以缓解。

Symptoms of boron deficiency

缺硼的症状

缺硼直接影响枝条和根部的组织生长。最初的征兆是常常会使嫩叶变厚。叶子和主

茎枝条顶端附近被触及时易碎裂。另一些症状是各种各样的，这是因品种不同和生长条件不同而异。嫩叶通常比老叶颜色淡一些 (图16a)，但是，失绿的程度和方式也各不相同，也可能有的比较一致 (图16a与16b)，也可能沿叶脉间扩展，逐渐向叶主脉凋萎 (图16d与16h)。另外，它也可能在叶脉间形成不太明显的斑点 (图16c)。缺硼还可使叶子起皱 (叶脉间稍有发生)，枝条的顶端和侧生的裂片卷缩 (图16b、16c、16e)，叶柄扭曲，主茎节间缩短，顶端一带紧凑 (图16c)，严重时叶脉也会出现愈合状态或是簇叶丛生状，而且组织变白，或是呈粉红色 (图16d)，植株叶片严重裂开会阻碍侧枝的发育 (图16d)。

较为严重的缺硼，会使生长点坏死 (图16e)，顶端常最先受到影响，而且侧芽也会坏死。

缺硼的甘薯须根变短粗，而且多分枝 (图16f)，许多种作物品种缺硼的典型症状是产生珊瑚状结构。

同时，块根经常变短、变粗 (图16g)，而且开裂簇叶丛生，有时还出现溃疡和形态异常 (图16h) (Willis, 1943年; von Stieglitz与Chippendale, 1955年)，外皮显得粗糙发皱一直延伸到末端。块根切开分泌的白色液汁较

正常的为少。薯肉将会出现斑纹或螺丝纹状 (图16i)。桔红色的块根果肉一般要比正常的颜色发淡，味道也不太甜，甚至有点苦。Nusbaum (1946年) 曾报道由于缺硼，根部将不正常地加厚，形成亚铃状和纺锤状。同缺硼相关的其他一些失调无序现象，即出现“体内棕色斑点” (Nusbaum, 1946年)，以及“甘薯疤状突起” (Miller与Nielsen, 1970年)。体内棕色斑点就是果肉棕色坏死区呈现的特征，它们分布不很规则，但更易发生在形成层一带，而且与根的表层紧紧相连。甘薯疤状突起呈绿色斑点，它常在某些品种贮藏一段时间后出现，有时分布稀疏，有时则较紧密，使根的表皮顶端大部分为其所覆盖。

由于严重缺硼，块根的发育受到阻碍，甚至完全被抑制 (Pillai等, 1986年)。

Possible confusion with other symptoms

与其他症状混淆的可能性

缺钙也可能导致根尖和枝条顶端坏死。不过，缺钙时枝条顶端下的嫩叶不会加厚，但是会从叶子侧边扩展形成大片坏死。

螨类危害也会使得嫩叶变厚和脱落，但它们不会引起顶端坏死，而且发生得更分散而无规律。

Plate 16. 图16 缺硼



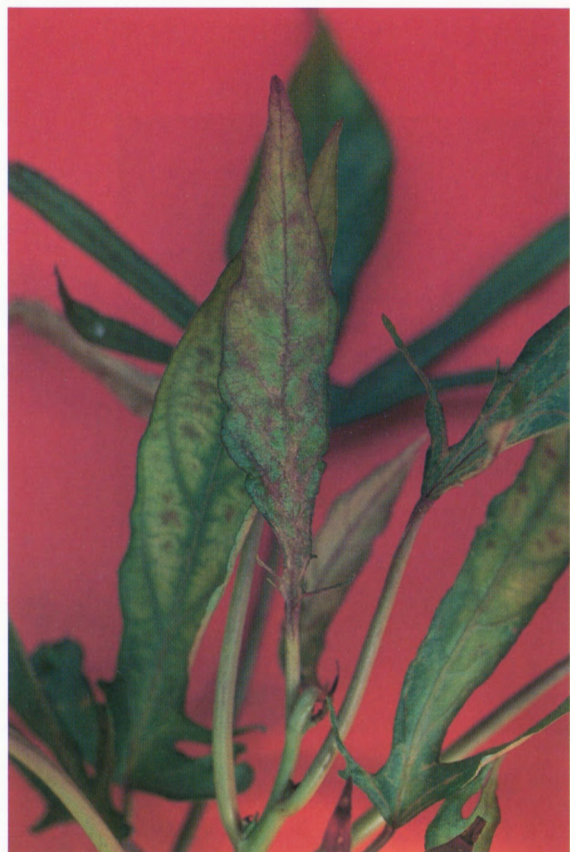
a) 马拉维 Babache 品种缺硼，其嫩叶变黄、变小、变厚，藤蔓顶端坏死。



c) Hawaii 品种由于节间缩短呈紧凑型生长习性，叶片起皱，向下卷曲，并且呈斑驳黄化。



b) Wanmun品种嫩叶的顶端和裂片起皱，并且向下卷曲，藤蔓顶部坏死。



d) Lole品种的嫩叶叶脉间呈失绿症，叶片两侧裂片减少，同时沿叶脉出现类似愈伤的组织。



e) Wanmun 品种顶端与侧枝生长点坏死。



f) 缺硼植株形成的短、粗、且大量分枝的根。

Plate 16.



- g) 斐济由于缺硼而变畸形的贮藏根，其顶端变短、变粗，右边的块根由于过度生长而开裂。(A. J. Dowling 摄)



- h) 斐济 Kulukulu 的甘薯由于缺硼出现严重的变形，而且有纵向溃疡状开裂。



- i) 巴布亚新几内亚中部高原甘薯缺硼症状。嫩叶出现脉间失绿，顶尖坏死，块根变小。由于纵向有溃疡状开裂，故出现不规则的横切面，同时薯肉呈现斑点。(R.M.Bourke 摄)

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

Wanmum品种经溶液培养测定第7-9片幼嫩叶片硼含量的临界浓度为40mg/kg(表3)。这恰恰正好同田间大范围的品种观察相吻合。

根据土壤分析,热水提取硼和缺硼二者间的相关程度受到许多因素的制约,包括土壤质地、pH值和有效钙等许多方面。关于土壤硼含量与甘薯缺硼的关系尚无正式报道。一些有关作物的文献中曾报道过热水浸出硼的临界浓度为0.3-0.5mg/kg,但如甜菜等敏感性作物可以上升到1mg/kg。一般盐碱土比酸性土要高一些(Bradford, 1966年)。

Correction of boron deficiency

缺硼的防治措施

在播种前把硼砂或是其他硼化物肥料施于农田,可以克服土壤缺硼现象。沙土、酸性土每公顷施硼1-1.5公斤。粘土可提高到每公顷4公斤(von Stieglitz和Chippendale, 1955年)。过量施硼会导致硼中毒。因此,最好施用量应控制在有效的下限为好,这样对

后续作物的影响也小些。
叶面喷施硼常用于其他一些作物,但对甘薯的作用似乎不大,因为硼并不能从植株的叶脉通向根部。当叶面喷施硼肥使顶部健康生长时,而贮藏根部却仍会出现缺硼症状。

Zinc deficiency

缺锌

酸性土壤含锌量低，而碱性土壤因其锌元素的溶解度降低，均会出现缺锌现象。由于提高土壤pH值能降低其锌元素的可溶性，因此，对含低锌酸性土壤施石灰或是白云石便会导致缺锌。施用含铜元素肥料或是大量施磷肥，也可以加剧缺锌 (Olsen, 1972年)。

作物对缺锌的敏感程度有很大差异。甘薯属中等敏感类型，其敏感程度次于木薯或是柑橘。这可能给我们提供一个良好的指示剂。如果在甘薯附近的地带发现缺锌，由于其症状明显易于识别，所以甘薯的缺锌症状已属于中等程度了。

在早期和低温天气，甘薯似乎更容易遭受缺锌的危害，随着作物长大或是气候变暖，逐渐趋于正常。不过早期缺锌对作物最后成熟产量的影响尚未得出结论。

Symptoms of zinc deficiency

缺锌症状

甘薯缺锌的主要症状就是其幼嫩叶子变

形 (图 17a 和 17b)。它的叶子加厚而不扭曲，也可能变小，只有 1 - 3 厘米长。出现这种症状后，作物生长便受到严重的限制。有些品种的节间变短 (图 17b 与 17c)，而另一些品种的这种现象与叶子变形相比就显得不太明显了 (图 17d 与 17e)。嫩叶常会失绿，但是有时也可能由中度失绿而完全变白 (图 17e)。还有一些品种苗尖的紫色素会增加 (图 17e)。叶形变化的特征是变窄，而且还有侧生的裂片移向叶尖 (图 17f)。

成熟的叶子在叶脉间会出现失绿，并向主脉两侧绿色边缘扩散，往往是支脉两边扩散得少一些 (图 17g)。成熟叶子的脉间黄萎状常常是缺锌的首要标记，而且幼嫩叶子的症状特别明显。然而，在另一种情况下，它却根本不显露。

Pillai 等人 (1986 年) 观察到缺锌的甘薯植株在形状和大小上都是正常的，只是果肉部分变成棕色。

Possible confusion with other symptoms

与其他症状混淆的可能性

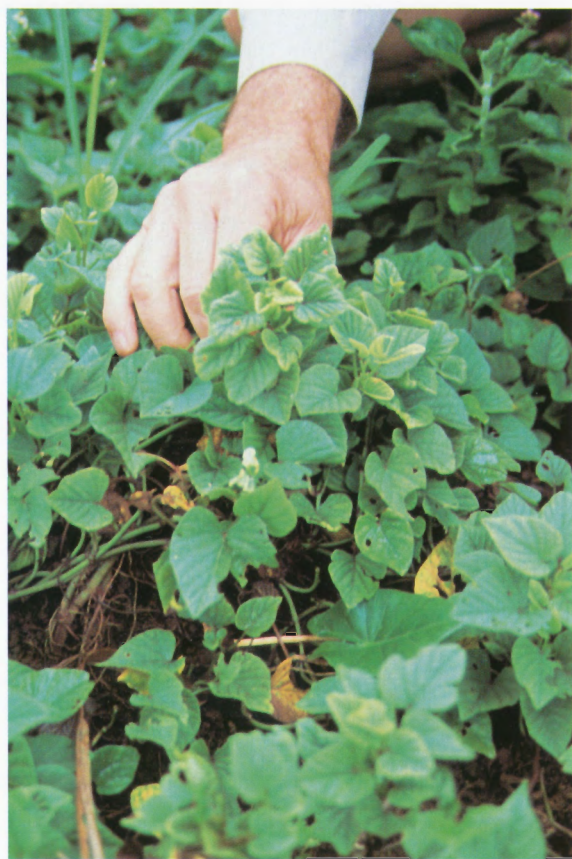
成熟老叶子叶脉间细小斑点这个特征也

可能被误认为是缺钾的早期信号。不过，对于缺钾的植株而言，老叶常常是容易受到严重侵害，即使喷洒硫酸锌也没有什么反应。

有时缺锌也可能与缺铁混淆。当然，仍有许多明显区别的特征。由于缺锌，老叶上的失绿很容易扩散。而缺铁时，叶脉和叶脉间组织有很大差异。缺铁时嫩叶不变形及加厚，而幼嫩叶的斑点或是枝条顶端斑点则是缺锌的典型症状。叶色也可以用来区分两种不同的缺素症状。

小叶病、丛枝病是甘薯受菌质生物感染的一种病害，被感染的植株矮小，叶子加厚，而且嫩叶有时失绿，这都可能与缺锌症状相混淆。由于并非所有试验小区的植株都受感染，我们仍然可以见到在健康植株旁边就会有严重矮化、叶子变小的植株。这表明，缺锌症状正在影响着植株，出现小叶后也会导致叶腋的倒枝增生，把主茎和根割开也不会出现乳浆 (Clark 与 Moyer, 1988 年)。小叶症状常常会在干旱后出现或加重。

Plate 17. 图17 缺锌



a) 汤加的Foketi品种出现缺锌，嫩叶变小，而且呈现叶脉间或全部失绿。



b) 在昆士兰州北部，缺锌导致嫩叶严重变小，并且节间变短。

Plate 17.



- c) Hawaii 品种缺锌的症状。幼嫩叶失绿而且变小, 叶片变窄, 侧生裂片直起向着叶尖。顶尖下的节间也变短。



- d) Wanmun 品种严重缺锌导致嫩叶急剧变小, 而节间稍有缩短。



- e) Lole 品种嫩叶缺锌, 出现叶裂片变窄, 侧生裂片与中部叶脉之间的角度更小, 而且颜色变成紫色(此品种并不经常如此), 另外叶片也变小。



f) 四个不同品种的缺锌植株上的幼嫩叶（右）与同龄植株健康幼嫩叶（左）的比较。这四个品种从上到下为Lole, Hawaii, Markham 和 Wanmun。



g) Wanmun 品种植株上成熟叶缺锌导致叶脉间失绿。

Plate 17.



- h) 汤加的缺锌土壤上生长的 Siale 品种的幼嫩叶。在采用硫酸锌溶液涂抹叶片几天后，叶片右边部分叶色复绿而且已经生长扩展。左边的是健康植株上的叶子。(S.Halavatau 摄)

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

怀疑植株缺锌时，可采用在叶面上喷洒 0.5% 硫酸锌与 0.25% 氢氧化钙混合液作测试，如为正反应，即可确认。通常情况下，可以喷洒叶子的一半，这样可以直接与未喷洒的另一半作比较。喷洒后几天，这种处理会导致老叶或嫩叶的失绿组织复绿，幼叶经过喷洒处理后也会长大（图 17h）。把处理过的叶子作上标记很重要，这样就可以在以后的观察中识别它。

采用溶液培养法可测出叶子含锌的临界浓度为 11mg/公斤（在生长四周后取第 7-9 片幼嫩叶片）（表 3）。然而，在大田测试的数据就偏低。在北澳大利亚花岗石沙土上生长的幼嫩植株缺锌症状严重时，其临界锌浓度为每公斤 17mg（O'Sullivan 等，1997 年）。这些植株叶面喷洒硫酸锌溶液后均呈正反应。同一地区其他地块的甘薯的测试数据表明其锌的临界浓度为每公斤 20-30mg，而且随着作物年龄而不断增加。对大量收集来的叶子进行测试表明其含锌正常值范围为每公斤 30-60mg。

各种各样的提取剂被用来评估土壤中的植物有效态锌。这些提取剂包括盐酸、硫酸胂和 DTPA。这些测试受土壤 pH 值、游离石灰含量和磷酸盐浓度的影响。据报道，用盐酸测定许多作物的缺锌临界浓度为每公斤 1.0-7.5mg，用硫酸胂测试的缺锌临界浓度为 0.3-2.3mg/kg（Landon, 1991 年）。含有 EDTA 0.01M 和 1M 碳酸铵的浸提剂被认为适合多类土壤，这包括碱性、石灰性土壤（Trierweiler 与 Lindsay, 1969 年）。采用这种测试方法，玉米缺锌的临界浓度含量为每公斤 1.4mg，玉米被认为是一种对低锌量敏感的作物。

Correction of zinc deficiency

缺锌防治措施

叶面喷施可能是补给锌元素和防治作物缺锌的最合适的方法，也特别适合盐碱土，因为盐碱土锌元素有效性很低，对甘薯补给锌元素至今还无最理想的用量，但可参照姜和木薯的用量，姜的用量为 0.5% 硫酸锌 7 水化合物配上 0.25% 氢氧化钙（Asher 与 Lee, 1975 年），木薯的用量为 1-2% 硫酸锌 7 水化合物

溶液 (Asher 等, 1980 年)。

在那些缺锌现象经常发生的中性和酸性土壤里, 播种时或播种前, 增施锌元素将比作物长起来后叶面喷施更为有效 (Weir 与 Cresswell, 1993 年)。土壤施锌包括每公顷施 3 - 10 公斤硫酸锌 7 水化合物 (23% 锌), 或是氧化锌 (60 - 80% 锌), 尤其适用于蔬菜作物。少量施锌就可满足轻质酸性土的要求, 而粘性土或碱性土可能需要的锌元素量大一些。氧化锌需要撒施并在播前施入地里。硫酸锌 7 水化合物较容易溶解, 可在播种时条施。一般来说施锌后有效期可以持续几年。

木薯出苗后防止作物缺锌, 采用在种植前用 2 - 4% 硫酸锌溶液浸泡插条 15 分钟已获得成功 (Asher 等, 1980 年)。同样的措施对甘薯插条有效。把破碎的电池铁屑翻埋在垄背下也可以有效地增加作物的锌元素补给。由于土壤含碱量高, 使锌肥料无效, 或是效果不大, 采用这种办法是特别有效的。

保持土壤高的有机质含量则可以增加锌对作物的有效性 (Chapman, 1966 年)。

Disorders Producing No Specific Leaf Symptoms

Aluminium toxicity

铝中毒

在强酸性土壤中铝中毒最容易导致植物生长减缓。铝是地球表壳最丰富的金属元素，但它在中性或是碱性的溶液中溶解度很低。不过pH值低于5时(以水测试)，铝的溶解度迅速增加，甚至可以达到出现毒害的浓度。溶液培养试验显示pH值为4，土壤中不存在铝元素时，马铃薯生长正常(Ila'ava等，1996年)。因此，大田里的甘薯在承受低pH值的直接影响之前，可能会遇到铝中毒问题。

甘薯比较耐铝毒害。在溶液培养试验中，当土壤中铝含量为 $25\mu\text{M}$ 时，有些甘薯品种的根部生长发育并不受阻，而一旦其含量达到 $50\mu\text{M}$ 时，40%的根部生长发育就受到了影响(Ila'ava等，1996年)。对铝敏感的品种在铝浓度为 $10\mu\text{M}$ 甚至更少一些时，其根部也会受到严重影响(Blamey等，1986年)。甘薯比芋头、山药、烟草、玉米、豌豆、大豆等作物更耐酸性土壤，但比木薯要差一些(Abruna等；1979年，Abuna-Rodriguez等，1982年)。

(无特定叶症状的机能失调)

Symptoms of aluminium toxicity

铝中毒症状

植物铝中毒的早期反应为影响根部生长发育(图18a)。根部变短、加厚，侧根也变短，并且出现棕黄色，根毛的发育受到抑制。一旦土壤深层铝浓度增加时，根部向下伸展就受到抑制，从而会出现非常浅短的根系。

除了生长缓慢和矮化情况(图18b)，由于根部发育不好引起植株上部出现许多症状，这些症状取决于二级限制因素，此外还会共同的出现缺水的症状。由于土壤溶液中铝限制根对钙和镁的吸收，缺钙和镁的症状就会发展。此外，土壤铝浓度含量高就会影响磷的溶解度。因此，铝中毒也会附带出现缺磷的情况(图18c)。

Possible confusion with other symptoms

与其他症状混淆的可能性

如上所述，铝中毒经常是与其他一些营养失调现象相关联的，如缺铁、缺镁、缺磷

等。仔细拔出植株，也会发现其伸展受到影响、颜色为棕色的根系。

Diagnostic soil and plant tissue tests

土壤与植物组织测试诊断

铝中毒诊断的最好方法就是测试土壤。土壤与水份比例为1:5的土壤溶液pH值低于5时，易受到铝毒害；pH值低于4.5时(不是有机土)，铝元素特别容易严重影响甘薯的生长。

测定交换性铝和铝饱和度是需要的。Abruna等(1979年)发现，铝元素饱和度与在某些热带的氧化土和Ultisols土壤上甘薯产量对施用石灰的反应有关。当铝元素饱和度超过60%时，施用石灰的效益最大。在30%铝饱和度的土壤中施用石灰，增产10%。Ila'ava等人(1996年)指出，在土壤含高浓度钙时，甘薯对溶液铝的耐性也高。在根据土壤测试值预测作物对铝的反应时，可能有必要考虑钙的有效性。

Plate 18. 图18 铝中毒



a) 在浓度为0 (左)、25 (中) 和 $50\mu\text{M}$ (右) 的铝含量的营养液中生长的甘薯 Meriken 品种根部生长的比较图。



b) 在乌干达 Kabale 地区酸性土壤上种植的甘薯植株呈严重矮化状。



c) 乌干达 Kabale 地区酸性土壤中生长的甘薯出现了严重矮化,同时伴随由缺磷引起的症状。(J. Low 摄)

Correction of aluminium toxicity

铝中毒的防治

防治办法是提高土壤的pH值。措施是将石灰或白云石混合于土壤。另外,通过作物残余还田,铺草覆盖等以保持土壤中有机质的高含量,从而把游离状的铝结合在一起不致产生毒害。有机质也可减缓因连作而发生的土壤酸化程度,使用硝酸盐肥料代替尿素或胺肥,也可以减轻土壤酸化。

磷酸盐可与铝元素形成非溶解性的化合物。把磷肥施入酸性火山土中,由于减少了溶液的铝浓度而能取得好的防治效果。

甘薯的一些品种已显示对高浓度铝具有不同的耐性 (Munn 与 McCollum, 1976 年; Sangalang 与 Bouwkamp, 1988 年; Ritchey 等, 1991 年; Ila'ava 等, 1996 年), 故可以选择在酸性土壤条件下高产的品种。测定铝溶液中扦插几天后作物根的长度这种快速选择技术, 与作物在大田的耐铝中毒程度有很好的相关性 (Ritchey 等, 1991 年)。Sangalang 与 Bouwkamp (1988 年) 在研究了 379 个基因型甘薯品种中发现生长在正常条件下的耐铝毒害的无性系品种的产量低于对铝敏感品种的产量。与此相反, Ritchey 等 (1991 年) 发现

选出的高产基因型品种中的耐铝毒性是不相同的。他们认为培育具有一定耐毒性而不减产的作物品种也是可能的。



图 10 在干地 Kalya 地区水稻种植土壤中生长的甘蔗 (L. Low 摄)



图 11 在干地 Kalya 地区水稻种植土壤中生长的甘蔗 (L. Low 摄)

(病原体和虫害引起的叶症状)

大量的病原体，包括病毒、真菌和类菌原质体的生物，可以引起甘薯叶子的畸形，而且这种畸形会与营养失调症状相混淆。在这一章中，不打算详细描述这些失调，仅帮助读者确定他们所观察的症状是由营养失调还是由病原体引起的。Clark 与 Moyer (1988年) 对甘薯病原体疾病提供了一个详细的描述。

Viruses

病毒

甘薯羽状斑驳病毒 (SPFMV) 是一种流传广泛而且很严重的病原体，这种病原体是通过蚜虫传播的。据报道，12-25%的产量损失是单独由SPFMV引起的；90%的损失是由SPFMV 和传播病毒的白粉虱共同造成的 (Pan, 1996年)。SPFMV 主要在老叶子上产生淡绿色的失绿症 (2-8mm)，此失绿或许有紫色的边缘 (图 19a 和 19b)。有时，紫色会

遍及所有的叶片，失绿斑点就象紫色里面的岛状组织。SPFMV 可以引起叶脉透明或呈羽状，但其它一些病毒也可产生同样的病症。在敏感的品种中，一些SPFMV 株系会诱发块根的失调，如黄褐色裂化和内部木栓 (Clark 与 Moyer, 1988年; Skoglund 与 Smit, 1994年)。

甘薯缺磷也会导致失绿的紫色叶子，这两种失调很容易被区分。由SPFMV 引起的侵蚀斑随机地分布在叶片上，并且不仅限于老叶子上。SPFMV 症状不会继续发展，引起坏死侵蚀斑，或在缺磷中所见到的带有桔黄和红色叶子的失绿症。

我们描述了甘薯的其它几种病毒，包括甘薯轻斑驳病毒 (SPMMV)，甘薯退绿矮化病毒 (SPCSV) 和甘薯花椰菜花叶病毒 (SPCV)，它们中的每一种病毒都有一个有限的分布区 (Clark 与 Moyer, 1988年)。几种病毒是通过 Bemisia tabaci 白粉虱传播的。其症状表现为发育迟缓，斑状失绿症，叶脉透明和叶子变形。

Mycoplasma-like organisms

类菌原质体的有机生物体

甘薯小叶病 (也叫扫帚病和 ishukubyo) 是由类菌原质体的有机生物体引起的。该有机体侵染植物的维管系统。在一段干旱期后，症状变得更为明显，它导致叶子明显变小并长有斑状失绿症，同时增大分枝形成了浓密的灌木丛，也叫丛枝病。由于该病并不同时影响其它植物，因此极易辨认。与健康植物相对比，发育迟缓的感病植株，看起来很明显 (图 19c)。相反的，缺锌引起的失调，也会导致叶子的变小，同时影响到周围植株。小叶病可以通过几种叶蝉来传播。在症状出现前，它可以有很长的潜伏期，而且很容易通过被传染的藤或叶蝉蛋转移。控制此病的最好方法就是当它们出现时，拔除或毁掉被传染的植株，并且选择发病率最低的种植品种。

Fungal diseases

真菌病

真菌病原体，例如甘薯斑点病菌 (*Phyllosticta batatas*)，甜菜褐斑病菌 (*Cercospora bataticola*)，甘薯叶斑病菌 (*C. timorensis*) 和交链孢属的一种菌 (*Alternaria* spp) 能使叶片产生坏死斑，此斑与由锰或硼中毒产生的斑相类似。真菌损害很容易被识别，它是随机的分布在叶片上的 (没有显示出有规则的内部叶脉分布)。虽然损伤多出现在老叶子上，但并不表明其严重性是从老叶子到嫩叶子而不断降低的。由交链孢属的一种菌引起的损伤是以微弱而较暗的同心轮纹为特征的。由甘薯斑点病菌引起的损伤可通过分生孢子器来识别，分生孢子器是一子实体，以黑斑形状出现在损伤中心附近 (图 19d)。

真菌叶斑通常不会导致显著的产量下降。然而，由交链孢属的一种菌的菌株引起的炭疽病或疫病会产生严重的问题，特别是在东非较高地势上。在这种情况下，真菌也会导致蔓的损伤，由此引起藤本植物的死亡。

镰孢萎蔫是由甘薯枯萎病菌引起的维管感染导致的，症状通常出现在刚刚开始迅速

生长的幼小植物上。最初，植物得了失绿症 (图 19e)，进而发展到萎蔫、老叶子脱落，发育迟缓，最后死亡。最开始的症状类似于氮或镁的缺乏，但不是营养失调，它通常并不同时影响其它植物。如果将藤蔓斜着切开，我们能看见维管组织变色。控制镰孢萎蔫最好的办法就是种植具有抗性栽培品种。

由痂圆孢属在甘薯上的致病菌引起的疮痂病会导致在藤蔓或叶柄上和较低的叶子表面的叶脉上出现疮痂样或鳞状斑点 (图 19f)，此病会限制嫩叶叶脉的生长，使得叶片揉皱和卷曲，最后，所有被感染的藤蔓看起来会很苍白，同时叶子变得枯萎而粗糙 (图 19g)。与由甘薯疮痂病引起的叶子畸变相反，由营养失调引起的畸变，如缺铜或硼，其影响内部叶脉组织要比影响叶脉多一些，最终导致叶片揉皱或形成空洞。

其它真菌侵蚀的症状包括茎的坏死，特别是在茎基部坏死，引起萎蔫、藤的死亡和块根的腐烂。详细情况请参见 Clark 与 Moyer, 1988 年。

Pest damage

病虫害

很多种类的昆虫都咬食甘薯叶子，而且

咬食的痕迹很容易辨认。由于它们对产量没什么影响，因此很少受到关注。但是，如果侵蚀得很多，就会导致严重的损失，会出现类似于营养失调而引起的叶子畸形。

蚜虫 (*Aphis* spp., 特别是 *A. gossypii*)，主要吸食嫩苗汁液 (图 19h)。因此，在生长初期被伤害的叶子可能变成畸形、揉皱和不规则的卷曲 (图 19i)。连续严重的侵蚀，会导致作物发育迟缓，显示出叶脉间的失绿症和老叶子的坏死 (图 19j)。大量地螨虫也能引起叶子畸形 (图 19k)，主要叶脉纤维变厚，且剩余的叶脉间纤维使叶子变窄、枯萎，而且向下卷曲，严重情况下，叶子会变成褐色及鳞片状。

螨类也会使叶子变厚、萎缩，同时外表呈暗淡的褐色状。由于蚜虫和螨虫症在嫩叶上更为严重，因此，类似于缺铜或硼引起的症状，但与养分缺乏相比，它们总体来说更不规则和不对称。

由于捕食性昆虫的存在，蚜虫和螨虫的数量通常是比较少的，严重的侵蚀经常与不恰当的使用杀虫剂有关，杀虫剂把天然的捕食者也杀掉了。

Intumescence

膨大

在很潮湿和缺少阳光的条件下，一些甘薯栽培品种有可能在叶子表面产生骨痂增生（1 - 2mm，图 191）。这种情况，就被称作膨大或肿胀。骨痂最初是淡绿色到白色，不久就会变成褐色并萎缩。骨痂会出现在上端或下端的叶子表面，而且通常会布满整个叶子表面，但有时仅生长在主叶脉上。膨大与任何病原物质没有关系，而且没有报告说会影响作物生长或减产（Clark 与 Moyer，1988 年）。

Plate 19. 图 19 由病原体引起的叶症状



a) 生长在澳大利亚北部的Puerto Rico品种上，表现出有由甘薯羽状斑驳病毒引起的失绿症。



b) 生长在印度尼西亚中爪哇岛的PB品种，其由甘薯羽状斑驳病毒引起的主要症状是以紫色为边缘的失绿斑。

Plate 19.



c) 同正常植株相对比（左侧），受甘薯小叶病影响的植株（右侧），表现出严重的发育迟缓和失绿症。



d) 由甘薯斑点病菌引起的坏死斑，在病斑上看到的暗心是真菌病原体（A. Braun 摄）



e) 在澳大利亚北部生长的Centennial品种上出现的黄萎病是由镰刀菌引起的，其后边的植株是抗性品种（L .Loader 摄）



f) 在印度尼西亚，甘薯叶下的藤蔓、叶柄和叶脉上生长着鳞状斑。（A .Braun 摄）

Plate 19.



g) 在巴布亚新几内亚感染了甘薯疮痂病的暗淡、卷缩的茎蔓。



h) 在印度尼西亚，正在 Bustak 品种茎顶端取食的蚜虫。



i) 由蚜虫侵害引起的皱褶、变形的嫩叶。
(A. Braun 摄)



ii) 在印度尼西亚, 由于蚜虫的严重侵害, 导致Bustak品种发育的极度迟缓。

Plate 19.



k) 在Beerwah Gold品种上,由于大量螨虫引起的叶子畸形和变厚。



l) 在温室里潮湿环境下生长的Beerwah Gold品种,叶子背面上的膨大物。

References

(参考文献)

- Abruna, F., Vincente-Chandler, J., Rodriguez, J., Badillo, J. and Silva, S. 1979. Crop response to soil acidity factors in ultisols and oxisols in Puerto Rico. V. Sweet potato. *Journal of the Agricultural University of Puerto Rico*, 63, 250-267.
- Abruna-Rodriguez, F., Vincente-Chandler, J., Rivera, E. and Rodriguez, J. 1982. Effect of soil acidity factors on yields and foliar composition of tropical root crops. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 1004-1007.
- Alva, A.K., Graham, J.H. and Anderson, C.A. 1995. Soil pH and copper effects on young 'Hamlin' orange trees. *Soil Science Society of America Journal*, 59, 481-487.
- Asher, C.J., Edwards, D.G. and Howeler, R.H. 1980. Nutritional disorders of cassava. Department of Agriculture, University of Queensland, St. Lucia.
- Asher, C.J. and Lee, M.T. 1975. Nutritional disorders in ginger. Department of Agriculture, University of Queensland, St. Lucia.
- Bates, T.E. 1971. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: A review. *Soil Science*, 112, 116-130.
- Bernstein, L. 1964. Salt tolerance of plants. *Agricultural Information Bulletin* 283, USDA, Washington DC.
- Best, E.K., Manning, G.K. and Grundon, N.J. 1985. The ability of several soil extractants to identify copper-responsive wheat soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 25, 863-868.
- Bingham, F.T. 1962. Chemical tests for available phosphorus. *Soil Science*, 94, 87-95.
- Blamey, F.P.C., Grundon, N.J., Asher, C.J. and Edwards, D.G. 1986. Aluminium toxicity in sorghum and sunflower. In: Foale, M.A., and Henzell, R.G., ed., *Proceeding of the 1st Australian Sorghum Conference*. pp 6.11-6.18.
- Blamey, F.P.C., Edwards, D.G. and Asher, C.J. 1987. *Nutritional Disorders of Sunflower*. Department of Agriculture, University of Queensland, St Lucia. 72 P.
- Blamey, F.P.C., Vermeulen, W.J. and Chapman, J. 1984. Inheritance of boron status in sunflower. *Crop Science*, 24, 43-46.
- Bolle-Jones, E.W. and Ismunadji, M. 1963. Mineral deficiency symptoms of the sweet potato. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, 31, 60-64.
- Bourke, R.M. 1977a. A long term rotation trial in New Britain, Papua New Guinea. In: Leaky, C.L. A., ed., *Proceedings of the Third Symposium of the International Society for Tropical Root Crops*, Ibadan, Nigeria. pp 382-388.
- 1977b. Sweet potato (*Ipomoea batatas*) fertilizer trials on the Gazelle Peninsula of New Britain: 1954-1976. *Papua New Guinea Agriculture Journal*, 28, 73-95.
- 1982. Sweet potato in Papua New Guinea. In: Villareal, R.L. and Griggs, T.D., ed., *Sweet Potato: Proceedings of the First International Symposium*. Asian Vegetable Research and Development Centre, Shanhua, Taiwan. pp 45-57.
- 1983. Crop micronutrient deficiencies in Papua New Guinea. Technical Report 83/3, Department of Primary Industry, Papua New Guinea.
- 1985a. Sweet potato production and research in Papua New Guinea. *Papua New Guinea Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 33, 89-108.
- 1985b. Influence of nitrogen and potassium fertilizer on growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*) in Papua New Guinea. *Field Crops Research*, 12, 363-375.

- Bouwkamp, J. C. 1985. Production requirements. In: Bouwkamp, J.C., ed., Sweet Potato Products: A Natural Resource for the Tropics. Boca Raton, Florida, CRC Press, 9-33.
- Bradbury, J.H. and Holloway, W.D. 1988. Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific. ACIAR Monograph 6, Australian Centre for International Agricultural Research.
- Bradford, G.R. 1966. Boron. In: Chapman, H.D., ed., Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, University of California, 33-61.
- Cable, W.J. 1992. Common nutrient deficiency symptoms of crops of Tokelau and other coral soils and their correction. Journal of South Pacific Agriculture, 1(2), 43-52.
- CFL 1983. Soil Analysis Service Interpretation Charts. Consolidated Fertilizers Limited, Morningside, Queensland, Australia.
- Chapman, H.D. 1966. Zinc. In: Chapman, H. D., ed., Diagnostic criteria for plants and soils. Dept of Soils and Plant Nutrition, University of California Citrus Research Centre and Agricultural Experiment Station, Riverside, California.
- Chase, L.D.C. and Widdowson, J.P. 1983. Sulfur in the agriculture of pacific High Islands. In: Blair, G. J. and Till, A.R., ed., Sulfur in South East Asian and South Pacific agriculture. Commonwealth of Australia. 206-217.
- Chávez, R., Mendoza, H. and Espinoza, J. 1995. Breeding sweetpotato for adaptation to arid and saline soils. International Potato Center (CIP) Circular, August 1995, 2-7.
- Clark, C.A. and Moyer, J.W. 1988. Compendium of Sweet Potato Diseases. St. Paul, MN, USA, American Phytopathological Society Press.
- Clarke, W.C. 1973. A change of subsistence staple in prehistoric New Guinea. In: Leaky, C.L.A., ed., Proceedings of the Third Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, IITA, Ibadan Nigeria. 159-163.
- Conroy, W.R. and Bridgland, L.A. 1950. Native agriculture in Papua New Guinea. In: Hipsley, E.H. and Clements, F.W., ed., Report of the New Guinea Nutrition Survey Expedition. Dept. External Territories, Canberra, Australia. 72-91.
- Constantin. R.J., Hernandez, T.P. and Jones, L.G. 1974. Effects of irrigation and nitrogen fertilization on quality of sweet potatoes. Journal of the American Society for Horticultural Science, 99, 308.
- Crossman, S.M. and Hilly. W.A. 1987. Inoculation of sweet potato with *Azospirillum*. HortScience, 22, 420-422.
- de Geus, J.G. 1967. Fertilizer Guide for Tropical and Subtropical Farming. Centre d'Etude de l'Azote, Zurich.
- de Vries, C.A., Ferwerda, J.D. and Flack, M. 1967. Choice of food crops in relation to actual and potential production in the tropics. Netherlands Journal of Agricultural Science, 15, 241- 248.
- Diem, K. ed., 1962. Documenta Geigy Scientific Tables, Sixth Edition. Geigy Pharmaceuticals, St Leonards, NSW, Australia.
- Doll, E.C. and Lucas, R.E. 1973. Testing soils for potassium, calcium and magnesium. In: Walsh, L.M. and Beaton, J.D. ed., Soil Testing and Plant Analysis, revised edition. Madison, USA, Soil Science Society of America, Inc., 133-151.
- Dowling, A.J., Blamey, F.P.C. and Hoa, T. 1995. Limitations to sweet potato growth in small volumes of soil imposed by water and nutrient stress, acidity and salinity. Papua New Guinea Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries, 38, 3-10.
- Dowling, A.J., Blamey, F.P.C., O'Sullivan, J.N., Asher, C.J. and Johnston, M. 1996. Pot experimentation to study nutrient responses of sweet potato in Papua New Guinea. In: Craswell, E.T. Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N., ed., ACIAR Proceedings No. 65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific, 44-48.

- Dowling, A.J., Konabe, B. and Tigat, R. 1994. Nutritional assessment of steeply sloping soils from Aiyura in the Eastern Highlands of Papua New Guinea. *Papua New Guinea Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 37(2), 23-29.
- D'Souza, E. and Bourke, R.M. 1986a. Intensification of subsistence agriculture on the Nembi Plateau, Papua New Guinea 1. General introduction and inorganic fertilizer trials. *Papua New Guinea Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 34, 19-28.
- 1986b. Intensification of subsistence agriculture on the Nembi Plateau, Papua New Guinea 2. Organic fertilizer trials. *Papua New Guinea Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*, 34, 29-39.
- Edmond, J.B. and Sefick, H.J. 1938. A description of certain nutrient deficiency symptoms of the Porto Rico sweetpotato. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 36, 544-549.
- FAO 1996. *FAO Production Yearbook, 1995*, Vol. 49, *FAO Statistics Series No.117*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fisher, M.J. 1980. The influence of water stress on nitrogen and phosphorus uptake and concentration in Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*). *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 20, 175-180.
- Floyd, C.N., Lefroy, R.D.B. and D'Souza, E.J. 1988. Soil fertility and sweet potato production on volcanic ash soils in the highlands of Papua New Guinea. *Field Crops Research*, 19, 1-25.
- Fox, R.L., Asghar, M. and Cable, W.J. 1983. Sulfate accretions in soils of the tropics. In: Blair, G.J. and Till, A.R., ed., *Sulfur in South East Asian and South Pacific agriculture*. Commonwealth of Australia. 39-53.
- Fox, R.L., Hashimoto, R.K., Thompson, J.R. and de la Peña, R.S. 1974. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in the tropics. *Tenth International Congress on Soil Science (Moscow)*, 4, 232-239.
- Fox, R.L. and Kamprath, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms in evaluating the phosphate requirements of soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34, 902-907.
- Fujise, K. and Tsuno, Y. 1967. Effect of potassium on the dry matter production of sweet potato. In: *Proceedings of the International Symposium on Tropical Root Crops, Trinidad, Vol. I*, pp II-20-33.
- Goodbody, S. and Humphreys, G.S. 1986. Soil chemical status and the prediction of sweet potato yields. *Tropical Agriculture (Trinidad)*, 63, 209-211.
- Greig, J.K. and Smith, F.W. 1961. Sweetpotato growth, cation accumulation and carotene content as affected by cation level in the growth medium. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 77, 463-472.
- 1962. Salinity effects on sweetpotato growth. *Agronomy Journal*, 54, 309-313.
- Halavatau, S., Asher, C.J. and Bell, L.C. 1996. Soil fertility and sweet potato research in Tonga-Nitrogen and Phosphorus. In: Craswell, E.T., Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N., ed., *ACIAR Proceedings No. 65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific*, 58-64.
- Harvey, P.W. and Heywood, P.F. 1983. Twenty-five years of dietary changes in Simbu Province, Papua New Guinea. *Ecology of Food Nutrition*, 13, 27-35.
- Heywood, P.F. and Nikikus, M. 1982. Protein, energy and nutrition in Papua New Guinea. In: Bourke, R.M. and Kesavan, V. ed., *Proceedings of the Second Papua New Guinea Food Crops Conference, Department of Primary Industry, Port Moresby*, 303-324.
- Hill, W.A. 1989. Sweet Potato. In: Plucknett, D.L. and Spence, H.B., ed., *Detecting Mineral Nutrient Deficiencies in Tropical and Temperate Crops*. Westview Tropical Agriculture Series, No.7, 179-188, Westview Press, USA.

- Hill, W.A. and Bacon, P. 1984. Fertilizer N use efficiency and associative N₂-fixation of sweet potato. In: Proceedings of the Sixth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops. International Potato Center (CIP), Lima, Peru, 535-542.
- Hill, W.A., Bacon-Hill, P., Crossman, S.M. and Stevens, C. 1983. Characterization of N₂-fixing bacteria associated with sweet potato roots. Canadian Journal of Microbiology, 29, 860-862.
- Ila'ava, V.P. 1997. Effects of soil acidity factors on the growth of sweet potato cultivars. PhD thesis, The University of Queensland, Australia.
- Ila'ava, V.P., Blamey, F.P.C. and Asher, C.J. 1996. Sensitivity of sweet potato lines to Ca and Al stress in solution culture. In: Craswell, E.T. Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N. ed., ACIAR Proceedings No.65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific, 53-57.
- IITA (International Institute of Tropical Agriculture) 1992. Working with farmers in Cameroon and Rwanda: new strategies to improve staple food crops. IITA, Ibadan, Nigeria.
- International Potato Center 1995. Program Report: 1993-1994. Lima, Peru, CIP, 50 p.
- Ivahupa, S. 1997. Sodium substitution of potassium in tropical root crops. MAgSc thesis, The University of Queensland, Australia.
- Jackson, D.C. 1972. Some preliminary results of fertilizer trials with sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Poir). Crop Production, 1, 35-37.
- Johnson, C.M. 1966. Molybdenum. In: Chapman, H.D., ed., Diagnostic criteria for plants and soils. Dept of Soils and Plant Nutrition, University of California Citrus Research Centre and Agricultural Experiment Station, Riverside, California.
- Johnston, M. 1996. Nutrient disorders of root crops growing on raised coral reef landforms near Madang, Papua New Guinea. In: Craswell, E.T. Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N., ed., ACIAR Proceedings No. 65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific, 127-129.
- Jones, A. and Bouwkamp, J.C. 1992. Fifty years of cooperative sweetpotato research 1939-1989. Southern Cooperative Series, Bulletin No.369. Louisiana Agricultural Experiment Station, Baton Rouge, USA.
- Jones, L.G., Constantin, R.J., Cannon, J.M., Martin, W.J. and Hernandez, T.P. 1997. Effects of soil amendment and fertilizer applications on sweet potato growth, production, and quality. Louisiana State University Agricultural Experiment Station Bulletin, No.704.
- Jones, L.G., Constantin, R.J. and Hernandez, T.P. 1979. The response of sweetpotatoes to fertilizer phosphorus and potassium as related to levels of these elements available in the soil. Louisiana State University Agricultural Experiment Station Bulletin, No. 722.
- Kabeerathamma, S., Mohankumar, B. and Potty, V.P. 1986. Efficacy of rock phosphate as a source of phosphorus to sweet potato. Journal of the Indian Society for Soil Science, 34, 806-809.
- Kandasamy, D., Palanisamy, D. and Oblisami, G. 1988. Screening of germplasm of sweet potato for VA-mycorrhizal fungal occurrence and response of the crop to the inoculation of VAM fungi and *Azospirillum*. Journal of Root Crops, 14, 37-42.
- Khasa, P., Furlan, V. and Fortin, J.A. 1992. Response of some tropical plant species to endomycorrhizal fungi under field conditions. Tropical Agriculture, 69, 279-283.
- Kimber, A.J. 1976. Some factors influencing the protein content of sweet potato. In: Willson, K. and Bourke, R.M., ed., Proceedings of the 1975 Papua New Guinea Food Crops Conference, Department of Primary Industry, Port Moresby, 63-74.
- Kochhar, S.L. 1981. Tropical Crops: a textbook of economic botany. Macmillan, 228-230.
- Koo, R.J.C., Anderson, C.A., Stewart, I., Tucker, D.P.H., Calvert, D.V. and Wutscher, H.K. 1984.

- Recommended fertilizers and nutritional sprays for citrus. Bulletin 536D, Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, Gainesville FL, USA.
- Landon, R.J. 1991. ed., Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Booker Tate Ltd, Longman, London.
- Leonard, O.A., Anderson, W.S. and Gieger, M. 1948. Effect of nutrient level on the growth and chemical composition of sweetpotatoes in sand culture. *Plant Physiology*, 23, 223-235.
- 1949. Field studies on the mineral nutrition of the sweetpotato. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, 53, 387-392.
- Lorenz, O.A. 1965. Better vegetable yields and quality with plant analysis. *Plant Food Review*, 11, 2-4.
- McDonald, W.J. 1978. Molybdenum-if it's short yields will suffer. *Sunflower*, 2, 22.
- Mascianica, M.P., Bellinder, R.R., Graves, B., Morse, R.D. and Talleyrand, H. 1985. Forecasting of N fertilization requirements for sweet potatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 110, 358-361.
- Melsted, S.W. and Peck, T.R. 1973. The principles of soil testing. In: Walsh, L.M. and Beaton, J.D., ed., *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America, Madison, 13-21.
- Metson, A.J. 1961. *Methods of chemical analysis for soil survey samples*. New Zealand DSIR Soil Bureau Bulletin 12. Government Printer, Wellington, NZ.
- Miller, C.H. and Nielsen, L.W. 1970. Sweet potato blister, a disease associated with boron deficiency. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 95, 685-686.
- Mortley, D.G. and Hill, W.A. 1990. Sweetpotato growth and nitrogen content following nitrogen application and inoculation with *Azospirillum*. *HortScience*, 25, 758-759.
- Mulongoy, K., Callens, A. and Okogun, J.A. 1988. Differences in mycorrhizal infection and P uptake of sweet potato cultivars (*Ipomoea batatas* L.) during their early growth in three soils. *Biology and Fertility of Soils*, 7, 7-10.
- Munn, D.A. and McCollum, R.E. 1976. Solution culture evaluation of sweet potato cultivar tolerance to aluminium. *Agronomy Journal*, 68, 989-991.
- Navarro, A.A. and Padda, D.S. 1983. Effects of sulfur, phosphorous and nitrogen application on the growth and yield of sweet potatoes grown on Fredensborg clay loam. *Journal of the Agricultural University of Puerto Rico*, 67, 108.
- Negeve, J.M. and Roncadori, R.W. 1985. The interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil phosphorus fertility on growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Field Crops Research*, 12, 181-185.
- Nishimoto, R.K., Fox, R.L. and Parvin, P.E. 1977. Response of vegetable crops to phosphorus concentration in soil solution. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102, 705.
- Norman, M.J.T., Pearson, D.J. and Searle, P.G.E. 1984. *The Ecology of Tropical Food Crops*. Cambridge University Press.
- Nusbaum, C.J. 1946. Internal brown spot, a boron deficiency disease of sweet potato. *Phytopathology*, 36, 164-167.
- Olsen, S.R. 1972. Micronutrient interactions. In: J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay ed., *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America Inc., Madison, Wisconsin, USA, 243-264.
- Opio, F. 1990. An assessment of root crop production and development in the South Pacific islands. The case of Cook Islands, Kiribati, Solomon Islands, Tonga, Tuvalu, Vanuatu and Western Samoa. (FAO Root Crop Project RAS/86/034.)
- O'Sullivan, J.N., Asher, C.J., Halavatau, S., Blamey, F.P.C. and Yapa, L.G.G. 1997a. Nutrient disorders of sweet potato and taro:

- advances in diagnosis and correction in the Pacific. In: Akoroda, M.O. ed., Proceedings of the Sixth Triennial Symposium of the International Society for Tropical Root Crops-Africa Branch, Lilongwe Malawi, October 1995. International Institute for Tropical Agriculture.
- O'Sullivan, J.N., Blamey, F.P.C. and Asher, C.J. 1996a. Diagnostic criteria for nutritional disorders of sweet potato: I. Methods and visible symptoms. In: Craswell, E.T. Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N., ed., ACIAR Proceedings No. 65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific, 28-38.
- 1996b. Diagnostic criteria for nutritional disorders of sweet potato: II. Critical nutrient concentrations in leaves. In: Craswell, E.T. Asher, C.J. and O'Sullivan, J.N., ed., ACIAR Proceedings No. 65: Mineral nutrient disorders of root crops in the Pacific, 39-43.
- O'Sullivan, J., Loader, L., Asher, C., and Blamey, P. 1997b. Troubleshooting nutritional problems in a new industry: sweet potato in North Queensland. In: Imrie, B.C., Bray, A., Wood, I.M. and Fletcher, R.J. eds. New Crops, New Products-New Opportunities for Australian Agriculture. Proceedings of the First Australian New Crops Conference (Gatton 8-11 July 1996). RIRDC Research Paper No 97/21, Rural Industries Research and Development Corporation, Australia. Vol. 2, pp 143-148.
- Pan, G. 1996. Importance of sweet potato feathery mottle virus disease in Queensland. Master of Applied Science thesis, The University of Queensland, Australia.
- Paterson, D.R., Taber, R.A., Earhard, D.R. and Cushman, K.E. 1987. Response of 'Jewel', 'Topaz', and 'Cordner' *Ipomoea batatas* cultivars to endomycorrhizal fungi in greenhouse and field experiments. *HortScience*, 22, 1107.
- Paula, M.A., Siqueira, J.O. and Dobereiner, J. 1993. Occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and diazotrophic bacteria associated with sweet potato. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 17, 349-356.
- Paula, M.A., Urquiaga, S., Siqueira, J.O. and Dobereiner, J. 1992. Synergistic effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and diazotrophic bacteria on nutrition and growth of sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Biology and Fertility of Soils*, 14, 61-66.
- Pillai, N.G., Mohankumar, B., Kabeerathumma, S. and Nair, P.G. 1986. Deficiency symptoms of micronutrients in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Root Crops*, 12(2), 91-95.
- Platt, B.S. 1965. Tables of representative values of foods commonly used in tropical countries. Medical Research Council Special Report Series, London, No. 302.
- Purcell, A.E., Walter, W.M., Nicholaides, J.J., Collins, W.W. and Chancy, H. 1982. Nitrogen, potassium, sulfur fertilization, and protein content of sweet potato roots. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107, 425-427.
- Rayment, G.E. and Higginson, F.R. 1992. Australian laboratory handbook of soil and water chemical methods. Inkata Press, Australia.
- Reuter, D.J. and Robinson, J.B. ed. 1986. Plant Analysis. An interpretation manual. Inkata Press, Melbourne.
- Reuther, W. and Labanauskas, C.L. 1966. Copper. In: Chapman, H.D., ed., Diagnostic criteria for plants and soils. Dept of Soils and Plant Nutrition, University of California Citrus Research Centre and Agricultural Experiment Station, Riverside, California, 157-179.
- Ritchey, K.D., Wright, R.J., Baligar, V.C. and Murrmann, R.P. 1991. Evaluating sweet potato tolerance to aluminium toxicity: comparison of rapid test method and field results. In: Wright, R.J., Baligar, V.C. and Murrmann, R.P. ed., Developments in Plant and Soil Sciences Vol. 45: Plant-soil interactions at low pH. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 939-945.
- Rufty, T.W., Miner, G.S. and Raper, C.D. Jr 1979. Temperature effects on growth and manganese tolerance in tobacco. *Agronomy Journal*, 71, 638-644.

- Sangalang, J.B. and Bouwkamp, J.C. 1988. Selection of sweet potato for tolerance to aluminium toxicity: screening procedures and field tests. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113(2), 227-281.
- Saunders, W.M.H. 1974. Effect of superphosphate topdressing on phosphate and sulphate retention. *New Zealand Soil News*, 22, 15-22.
- Scott, L.E. and Bouwkamp, J.C. 1974. Seasonal mineral accumulation by the sweet potato. *HortScience*, 9, 233-235.
- Sinnett, P.F. 1975. The people of Murapin. Institute of Medical Research Monograph Series No.4. E.W. Classey Ltd., Faringdon, Oxon.
- Skoglund, L.G. and Smit, N.E.J.M. 1994. Major diseases and pests of sweetpotato in Eastern Africa. International Potato Center (CIP), Lima, Peru. 67 p.
- Spear, S.N., Edwards, D.G. and Asher, C.J. 1978. Response of cassava, sunflower and maize to potassium concentration in solution. III. Interactions between potassium, calcium and magnesium. *Field Crops Research*, 1, 347-361.
- Spence, J.A. and Ahmad, N. 1967. Plant nutrient deficiencies and related tissue composition of the sweet potato. *Agronomy Journal*, 59, 59-62.
- Spencer, W.F. 1954. A rapid test for possible excesses of copper in sandy soils. University of Florida Agricultural Experiment Station Bulletin, No. 544.
- Tiller, K.G. and Merry, R.H. 1981. Copper pollution of agricultural soils. In: Loneragan, J.F. et al. ed., *Copper in soils and plants*. Academic Press, North Ryde, NSW, Australia. 119-137.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D. 1993. *Soil fertility and fertilizers*, 5th Edition. Macmillan, New York, 189 p.
- Trierweiler, J.F. and Lindsay, W.L. 1969. EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. *Soil Science Society of America Proceedings*, 33, 49-54.
- Ulrich, A. 1993. Potato. In: Bennett, W.F. ed., *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA, 149-156.
- Ulrich, A. and Hills, F.J. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing sugar crops: Part I. Sugar beets. In: Walsh, L.M. and Beaton, J.D. ed., *Soil testing and plant analysis*. Soil Science Society of America, Madison, 271-288.
- Vance, P.N., George, S. and Wohuinangu, J. 1983. Sulfur in the agriculture of Papua New Guinea. In: Blair, G.J. and Till, A.R. ed., *Sulfur in South East Asian and South Pacific agriculture*. Commonwealth of Australia. 180-190.
- Villareal, R.L., Tsou, S.C.S., Lin, S.K. and Chiu, S.C. 1979. Use of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaf tips as vegetables. II. Evaluation of yield and nutritive quality. *Experimental Agriculture*. 15, 117-122.
- Villareal, R.L., Tsou, S.C., Lo, H.F. and Chiu, S.C. 1985. Sweet potato vine tips as vegetables. In: Bouwkamp, J.C. ed., *Sweet Potato Products: a natural resource for the Tropics*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 175-183.
- von Stieglitz, C.R. and Chippendale, F. 1955. *Nutritional Disorders of Plants*. Queensland Department of Agriculture and Stock.
- Walker, D.W. and Woodson, W.R. 1987. Nitrogen rate and cultivar effects on nitrogen and nitrate concentrations of sweet potato leaf tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18, 529-541.
- Watanabe, K. 1979. Agronomic studies on the mechanism of excessive vegetation growth in sweet potato (*Ipomoea batatas*). *Journal of the Central Agriculture Experiment Station*, 29, 1.
- Weir, R.G. and Cresswell, G.C. 1993. *Plant Nutrient Disorders 3. Vegetable Crops*. NSW Agriculture; Inkata Press, Australia.
- Willis, L.G. 1943. Apply borax to improve quality of sweet potatoes. North Carolina Agricultural Experiment Station Special Circular 1, 1943.
- Woolfe, J.A. 1992. *Sweet potato: an untapped food resource*. Cambridge University Press.
- Yen, D.E. 1974. The sweet potato and Oceania. An essay in ethnobotany. Bishop Museum Bulletin 236, Honolulu.

Appendix I. Glossary, Scientific Names, Abbreviations, Conversions, and Symbols

附录一、术语、科学名称、缩写、换算和符号

acidic 酸性的

(溶液或土壤中)含有的自由氢离子比自由羟基离子多,它的特性是影响溶液或土壤中许多化学成份的作用。(见土壤pH值)

alkaline 碱性的

(溶液或土壤中)含有的自由氢离子比自由羟基离子少,它的特性是影响溶液或土壤中许多化学成份的作用。(见土壤pH值)

anion 阴离子, 负离子

可溶性化学单位(原子或分子),带负电荷的离子。

anthocyanin 花色素苷

红色素有时出现在植物组织中。与不同级别的绿色和黄色光合色素结合,它可使颜色从淡粉色变为鲜橙色或深紫色。

apex 顶, (尖) 端

(形容词: 顶端的) 芽或根尖。

apical meristem 顶端分生组织

芽或根尖组织可长出新的叶或根。

axil 腋

由叶柄和茎在出现侧芽的地方连接形成

的锐角。

axillary bud 腋芽

在叶腋中休眠的或发育不全的芽尖。

cation 阳离子, 正离子

可溶性化学单位(原子或分子),带正电荷的离子。

cation-exchange capacity 阳离子交换量

土壤松散结合阳离子的容量,是由包含在一定量土壤表面和粒子(如粘土,有机物)的电荷密度决定的。

chlorophyll 叶绿素

植物组织中的绿色素,它可把光能转换到化学反应中。

chlorosis 失绿症

(形容词: 失绿的)失去绿色素,导致比正常颜色更灰白,或者更显淡绿色、黄色或苍白的。

dolomite 大理石

碳酸钙和碳酸镁的混合物。

exchangeable cation 交换性阳离子

松散吸附在土壤粒子表面负电荷位置上的阳离子,另一些阳离子可通过占据颗粒的位置而将其投进溶液。

fertigation 水施

把所施的营养物质加入到灌溉水中。

gypsum 石膏, 石膏肥料

自然存在的硫酸钙。

internode 节间

两节之间的茎长度。

interveinal 叶脉间

在叶脉之间并与之相关的这部分叶片。

lamina 叶片

叶片

latex 乳液

乳状的汁液,从一些植物包括甘薯的切面流出。

leaf blade 叶片

叶子宽、平的部分,它提供植物的大部分光合表面。

lesion 侵蚀斑
植物组织集中受伤害的部位（通常是坏死的）。

lime 石灰
自然存在的碳酸钙。

major/mainveins 主脉,
叶片上粗大的脉。

marginalvein 边缘叶脉
与叶片边缘平行并存在于叶边缘内的叶脉。

midvein/midrib 中主脉
与叶片分开从叶柄到叶尖的主脉。

minorveins 次叶脉
主脉的第二和第三分支。

mottle 斑驳病
凹凸不平的或斑似的表面。

mycorrhizae 菌根
与植物根形成内在结合的土壤真菌，二者经常是互利的。

necrosis 坏死
(形容词: 坏死的) 死, 影响植物组织的任何部分, 但不是全部植物。

node 结或节
与叶梗相接的茎部。

petiole 叶柄
支撑叶片的叶杆。叶是由叶柄和叶片两者组成。

photosynthesis 光合作用
(形容词: 光合的) 植物利用光能合成有机物质的过程。

senescence 衰老
(动词: 开始衰老) 导致植物部分(例如叶)或全部死亡。

soil pH 土壤pH值
测试土壤酸碱度。可把混合土壤放入水中(例如土壤: 水为 1: 5)或放入溶液(例如: 0.002M CaCl_2)中来测试土壤pH值。在水中测试的pH值在6.5至7.5之间, 表示是中性土壤。酸性土壤的pH值小于6.5, pH值小于5的土壤被认为是很酸的。碱性土壤pH值大于7.5。存在的未分解的石灰或珊瑚的土壤pH值可能升高到8.2, 更高的pH值表示钠盐的存在。

storage roots 贮藏根或块根
甘薯的淀粉食用根, 有时称为块茎。

Scientific names for plant species mentioned

本文涉及到的植物种类的科学名称

barley	大麦	HordeumVulgare
beet	甜菜	BetaVulgaris
cassava	木薯	Manihotesculenta
citrus	柑桔	Citruspp.
ginger	生姜	Zingiberofficinale
greenbean	绿豆	Phaseolusvulgaris
maize	玉米	Zeamays
peanut	花生	Arachishypogaea
potato	马铃薯	Solanumtuberosum
soybean	大豆	Glycinemax
sugarbeet	糖用甜菜	Betavulgaris
sunflower	向日葵	helianthusannuus
sweetpotato	甘薯	Ipomoeabatatas
taro	芋头	Colocasiaesculenta
tobacco	烟草	Nicotianatabacum
wheat	小麦	Triticumaestivum
yam	大薯	Dioscoreaspp.

Abbreviations

缩写词

ACIAR	澳大利亚国际农业研究中心
μ M	微摩尔浓度
CEC	阳离子交换量
CIP	国际马铃薯中心
cm	厘米
cmol(+)	厘摩尔克分子量的正电荷
cv.	栽培品种
DTPA	双乙三胺五乙酸
EC	电导率
EDTA	乙二胺四乙酸
g	克
ha	公顷
kg	千克
L	升
m	米
M	摩尔浓度 = 摩尔克分子量/升
me	毫克当量
mg	毫克
MJ	兆焦耳 = 百万焦耳
mm	毫米
dS	分siemen
Mt	兆吨 = 百万吨
PNG	巴布亚新几内亚
S	Siemen
t	吨 = 1000千克
TSP	三过磷酸钙
VAM	小囊状灌木菌根

Conversions

换算

文献中用的测量单位在本文中被换算为标准单位。下面列出的是标准单位和它们的符号或与其它通用单位的换算。

厘摩尔克分子量正电荷/千克 = 毫克当量/100克

毫克/千克 = 1ppm = 微克/克

分S/米 = 毫S/厘米 = 毫欧姆S/厘米

1千克钾/公顷 = 1.2千克 K_2O /公顷

1千克磷/公顷 = 2.29千克的 P_2O_5 /公顷

Symbols denoting chemical elements

化学元素的符号表示

贯穿在这个小册子中大部分内容的化学元素是与它们的化学符号有关的。化学混合物的名字仍然是用全称写的，下面是文章中涉及元素和它们的对应符号一览表。

Symbol Name

符号名称

Al	铝
B	硼
C	碳
Ca	钙
Cl	氯
Cu	铜
Fe	铁
H	氢
K	钾
Mg	镁
Mn	锰
Mo	钼
N	氮
Na	钠
O	氧
P	磷
S	硫
Zn	锌

Appendix 2. Key to Nutrient Disorders

附录二、营养失调判断索引

这些索引旨在做为快速参考来帮助确定哪种营养失调最有可能引起这些症状出现的。建议读者参考每个被怀疑营养失调的具体描述。这些关键词仅仅用来描述植物地上部分的可视症状。一些营养失调可能通过一系列的途径列出,这取决于哪种症状可以清楚地表示被调查作物。营养失调可能引发各种各样的症状,它可能在确定栽培品种中或在确定的环境条件下表现出不同的轻重程度(或不是全部)。因此,每种失调可能被描述许多的症状。不一定观察到所有这些症状,一种或几种症状的混合都表示营养失调。

除了营养失调,参考书目也列出了一些病害,这些病害症状可能很容易与营养失调症状相混淆。关键词不打算列出病原失调的复杂特征。

- A 1.症状在幼叶或芽尖最严重..... B
 2.侵袭老叶或整个植物的症状..... G
- B 1.芽尖已死..... C
 2.芽尖没死..... D
- C 1.幼叶有明显的叶脉间失绿症,绿色的主叶脉和次叶脉与由黄变苍白的叶脉间组织形成鲜明对照;严重受侵袭的

- 叶子可能全部失绿或有褐斑;叶子具有正常的形状和结构..... 缺铁 75页
- 2.幼叶厚而脆,且经常揉皱或失绿;叶尖和侧浅裂片叶可能卷缩缺硼 79页
- 3.幼叶扩展部分可能在侧叶边有坏死,接近下部的叶子可能坏死或脱落;老叶可能有圆形失绿或坏死斑
缺钙 72页

- D 1.幼叶比老叶更显苍白..... E
 2.幼叶不失绿..... F
- E 1.幼叶有明显的叶脉间失绿症,带绿色的主叶脉和次叶脉与由黄变苍白的叶脉间组织形成鲜明对照;严重受侵袭的叶子可能全部失绿或有褐斑;叶子具有正常的形状和结构..... 缺铁 75页
- 1.1 坏死斑特别存在于老叶上。缺铁症可能由
 锰中毒引起 37页
- 1.2 红色或紫色素淀积在老叶或所有生长期的叶子上
 缺铁症状可能由锌中毒引起 65页

2. 幼叶显出普遍失绿症或小的叶脉结间露出部分可能形成坏死核。表现为老叶叶脉间失绿，主叶脉附近颜色深绿，叶脉间的颜色逐渐褪去；这些叶子可能揉皱或脱落
..... 缺锰 54页
3. 失绿症普遍存在于幼叶上，但各别的定型叶的叶脉间也有。幼叶很小，细长的可能卷缩但并不揉皱
..... 缺锌 83页
4. 在幼叶上的失绿症可能在叶脉间或全部扩散，幼叶加厚变脆或能被揉皱。老叶无失绿症..... 缺硼 79页
- F 1. 幼叶可能被揉皱、变形或很小，但并不厚，同时没有叶脉间纹孔。叶片可能有孔，特别在中主脉附近，幼叶与成熟型叶比较可能有银色光泽的表面。
- 1.1 邻近的植物受到相似症状侵袭，尽管在一块地的某一部分可能比其它部分更严重..... 缺铜 58页
- 1.2 症状侵袭一些植物比侵袭其它的植物更多。在严重受侵袭的植物附近可能有健壮的植物存在，叶脉可能比叶子的其它部分更显苍白..... 病毒害
2. 幼叶很小，可能卷缩但很少揉皱。上部节间可能很短，但并不是所有栽培品种都这样。
- 2.1 分枝增加了丛生表面。一些植物可能比另一些植物受侵袭更重，甚至是邻近植物。症状在干旱天气后更严重
..... 小叶病 91页
- 2.2 分枝不是过多。邻近植物受相似的侵袭。幼叶形状是细长的，同时侧生浅裂片叶减少和向前生长
..... 缺锌 83页
3. 幼叶厚而脆，可能揉皱，有尖，侧生浅裂片叶在下部卷缩。在叶脉上有木栓生长组织。上部节间通常比正常的部分短，芽尖和腋芽可能有坏死..... 缺硼 79页
4. 展开的幼叶有坏死的侧边。叶下部可能坏死了。但老叶很少受侵袭。老叶可能有圆形褐色或赤褐色坏死斑
..... 缺钙 72页
- G 1. 整个植物为浅绿色，同时具有普遍矮化的表面和小而暗的叶子..... H
2. 失绿症或坏死症仅仅或大部分在定型叶到老叶上最严重..... K
3. 除因作物移栽不当外，无地上症状，如早期的植物枯萎或死亡..... O
- H 1. 在幼叶上有红或紫色色素淀积存在..... I
2. 在幼叶上没有红或紫色色素淀积存在..... J
- I 1. 色素存在于叶脉和有柄幼叶（上或下表面）上；有紫尖的栽培品种定型叶上有紫叶脉，这些叶片正普遍失去色素淀积。老叶上没有色素淀积存在
..... 缺氮 45页

- 1.1 作物对氮肥或硫肥无反应。一些定型叶可能在叶脉间组织或边缘处有坏死斑..... 缺钼 63页
2. 幼叶的色素淀积在叶边缘比叶脉上多。老叶上也有色素淀积, 而且特别是在叶边缘和叶尖上。定型叶的叶脉可能比叶脉间组织更显苍白..... 缺硫 50页
- J 1. 叶脉比叶脉间组织更苍白; 这可能只在定型叶或老叶上才能被观察到..... 缺硫 50页
2. 整个叶片均匀失绿。最老的叶子在变成褐色之前先大部或全部变黄..... 缺氮 45页
- 2.1 作物对氮肥或硫肥无反应。一些定型叶可能在叶脉间组织或边缘处有坏死斑..... 缺钼 63页
- K 1. 失绿症或坏死症不伴随出现不连续的坏死斑..... L
2. 失绿症伴随出现不连续的坏死斑..... M
- L 1. 幼叶是深绿色; 最老叶子的黄化可能是斑点, 不对称的, 或叶脉间的, 并伴随着不规则的坏死斑。老叶可能有紫色淀积, 当叶子衰老时变成红色或橙色..... 缺磷 20页
- 1.1 植物移栽和根部生长不良。土壤呈酸性 (pH 值小于 5.0, 在水中测试)。缺磷可能由..... 铝中毒引起 88 页
2. 主脉上叶脉间部分的黄化存在于最老的叶子上。伴随有从边缘到叶脉间失绿症; 幼叶可能出现浅绿色叶脉间失绿症, 以深绿色存在于主叶脉和次叶脉周围..... 缺钾 25页
3. 从幼定型叶向老叶生长时症状逐渐变化。主叶脉之间变成浅绿色, 同时, 叶脉长在绿色组织区域的侧面。在老叶上, 叶脉间组织可能变黄或出现坏死斑, 或叶子可能全部变黄和枯萎。红色素可能存在于较老的叶子上。在梗尖附近可能很细和缠绕..... 缺镁 29页
- 3.1 植物移栽和根部生长不良。土壤呈酸性 (pH 值小于 5.0, 在水中测试)。缺磷可能由..... 铝中毒 88 页
4. 失绿症在定型叶上加重, 但并不一定在最老的叶子上发生。失绿症在叶脉间扩散, 出现斑驳状或普遍发生; 同时可能伴随枯萎、揉皱或局部坏死的侵蚀斑。幼叶可能变形、揉皱或变小..... 缺铜 58页
5. 在定型叶上从浅绿色到白色的小叶脉间岛状组织, 失绿症可能仅仅影响一些叶子的部分叶片, 并不发生普遍黄化或叶衰老..... 铜中毒 68页
6. 叶子上有不规则分散的失绿斑 (不规则叶脉间分布), 这些斑大体上成圆形, 直径为 2 - 7 毫米。斑点可能被紫色色素淀积所包围..... 羽状斑驳病毒 91页

7. 老叶开始坏死是从叶边缘周围出现的, 但很快扩散, 引起早期死亡, 坏死可能从黄化叶子的窄的前端开始。整个作物发育不全, 同时有枯萎的倾向 高盐度 40页	N 1. 坏死病在叶边缘扩展, 同时可能从最初的侵蚀斑展开并席卷大部分叶片。坏死病经常在黄化叶的前端发生。死叶可能还留在梗上..... 盐害 40页
M 1. 坏死侵蚀斑开始很小(1-2毫米), 黑色, 在叶脉间组织分散着。它们可能增生和合并组成不规则叶脉间坏死斑。全部叶片的普遍黄化发生在老叶上, 立刻开始衰老。幼叶的浅绿色失绿症可能是由缺铁症引起的 锰中毒 37页	2. 在坏死之前, 叶脉间坏死斑经常在叶边缘周围扩散, 它们扩展和融合, 但周围的组织并不变黄或坏死, 直到叶子快要死掉之前, 死叶很快脱落..... 硼中毒 34页
2. 坏死侵蚀斑在主叶脉间时常出现并且面积最大..... N	O 1. 盐化土壤, 经常被做为半干旱土地来进行灌溉, 可能在洼地周围形成表面结皮层或盐沉积..... 盐害 40页
	2. 酸性土壤, 其pH值小于5.0(在水中测试)..... 铝中毒 88页