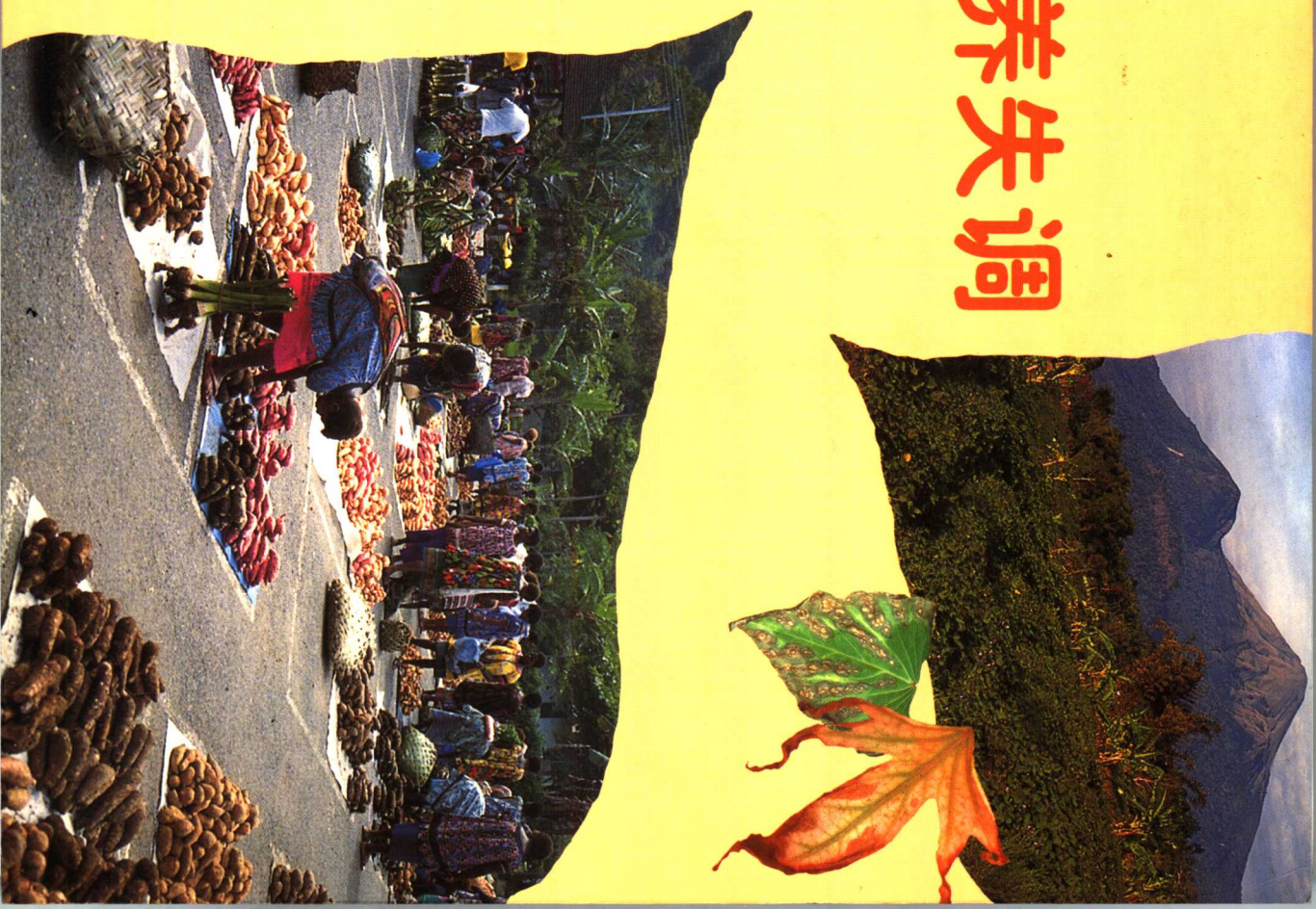
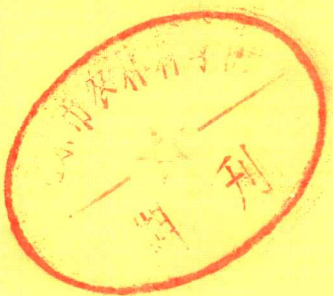


甘薯的营养失调

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



甘薯的养分失调

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

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 A CIAR）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 Blaney, F.P.C. 1997 年。
甘薯的养分失调。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
Rabaui 市场。

Foreword

(前言)

发展中国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。为促进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 片展开的叶子。数据来自栽培品 种 Wamun 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, 该题目的题目是“对亚太地区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. Ilalava 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. Ilalava:	14h, 18a
L. Loader:	19e
J. Low:	3b, 3f, 7c, 18b, 18c

(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%（Simnett,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. 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 ^a	蛋白质 ^b (克)	钙 ^b (毫克)	铁 ^b (毫克)	胡萝卜素 相当于 ^{bc} (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（维生素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个新增加的品种被保留下来,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 Fliet,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Bourke,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Bourke,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、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会产生毒性，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征。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；如果只有使用硫酸氮的作物变绿，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状况或根本没有症状，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状况，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缺乏通常首先表现在老叶上被观察到，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，这种征状在诊断具体是哪种植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，如果组织样本来自作物生长早期，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。

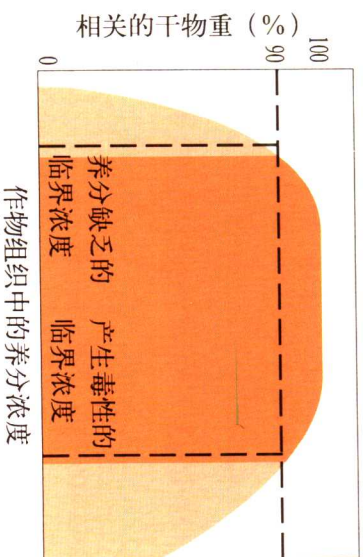


Figure 1.

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)。因为叶子在生长期内不断积累某些养分,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