

农作物微量营养素缺乏的影响范围、诊断方法和管理途径：
巴基斯坦的成功案例和局限性



Abdul Rashid

巴基斯坦国家农业研究中心

摘要

巴基斯坦耕种面积有二百二十万公顷，大多数土壤由冲积层和黄土形成，pH呈碱性，富含石灰质，有机物含量低。由于土壤条件和农业耕作对植物微量营养素缺乏的发生有传导性，二十世纪七十年代早期开始了对农作物微量营养素的研究。为查明巴基斯坦土壤和农作物中微量营养素的缺乏所采用的方法是：农作物对微量营养素缺乏的敏感程度；植物的缺乏症状；土壤实验和植物分析；农作物对微量营养素的反应。

田地规模的微量营养素缺乏的经济重要性已经以锌、硼和铁元素为例建立起来。分布最广泛的是锌缺乏，已观测到存在于水稻、小麦、棉花、玉米、向日葵、油菜—芥菜、高粱、甘蔗、土豆、大豆、柑橘和落叶水果。其次是硼缺乏，影响到水稻、棉花、小麦、油菜—芥菜、玉米、高粱、土豆、甘蔗、花生、甜菜、柑橘和落叶水果。排在第三的田地规模失衡的是铁萎黄病，存在于落叶水果、柑橘、土豆、花生、鹰嘴豆、观赏植物、棉花和许多树木。铜和锰缺乏只在局部发生，钼缺乏在巴基斯坦没有出现。

巴基斯坦的微量营养素缺乏威胁到农作物的产量，并恶化农产品的质量。同样，低微量营养素含量的食物和饲料对人类和动物带来严重的健康危险。

给许多农作物和水果施用所缺的微量营养素有很高的成本效率，叶面施肥更是如此。施用微量营养素可以提高水果的尺寸和质量以及一些农产品质量。一般来说， 5kg Zn ha^{-1} 和 $0.75\text{--}1.0\text{ kg B ha}^{-1}$ 就足够用2—4个农作物季节。土壤施用无机铁盐甚至是铁的螯合物，除了西奎斯特林，一般都无效。用 FeSO_4 或铁的螯合物反复叶面施肥可以治愈萎黄病。

现有微量营养素的施用与实际的需求相比可以忽略不计，并且局限于锌在水稻中的施用以及零星的锌在土豆和柑橘中、硼在棉花和水稻中、铁的西奎斯特林螯合物在苹果和柑橘中的应用。限制微量营养素施用的明显原因包括风险承担者对肥料需求忽视、获得微量营养素有困难、肥料的质量令人怀疑、种植者施用的问题。除非对所有资源缺乏的农户给予充分的照顾，否则全国范围广泛施用微量营养素就不可能实现。

1、简介

巴基斯坦国土总面积8000万公顷，其中耕地2200万公顷。大多数耕地中的土壤由石灰质冲积层和黄土形成，有机物和许多重要的植物养分含量很低。除了北部的一些高山外，气候主要是干旱到半干旱气候。总耕地面积的75%是水浇地（主要通过运河/河水），其余是旱地(图1)。主要农作物体系是棉花—小麦(300公顷)、水稻—小麦(220公顷)、混合耕作（如玉米为主、甘蔗为主等）、旱地作物（小麦、高粱、玉米、鹰嘴豆、花生等）、油料、豆类、蔬菜和水果。除非湿度严重限制，一般一年两季。土壤中广泛存在的碳酸盐、低含量的有机物和高的pH值都表明农作物存在微量营养素缺乏的危险(Lindsay, 1991; Rashid, 1996)。所有的农作物产物（如谷类的谷粒和稻草）都从田地中移出，几乎没有农作物残余返回土壤参与循环。另外大量的土壤湿度（如7、8月间猛烈的季风雨所造成的和淹没的水稻田）可能造成超过根系部位的微量营养素（特别是硼）的沥滤(Keren and Bingham, 1985)，而由于在生长季节的干旱时期

形成干燥的土壤表层，可能会抑制根部对微量营养素的吸收(Shorrocks, 1997)。绿色革命以来，农作物产量和农作物集约化加大，因此更多的微量营养素年复一年地被从土壤中移出。



Fig. 1. 巴基斯坦的地形和河流

所用的肥料主要是氮肥和磷肥；钾肥用于少量对钾高需求的农作物，如土豆和西红柿。微肥的施用量可以忽略不计。许多近期引进的农作物品种对微量营养素的缺乏更敏感(Chaudhry 等人, 1977; Rashid和Din, 1992)。因此土壤状况和农业耕作对植物微量营养素缺乏的发生率有传导作用。近期强调发展中国家社会发展的贫穷阶段中微量营养素与健康危害联系(Graham和Welch, 2000)，这也应该得到国家的关注。巴基斯坦从上世纪七十年代早期开始强调农作物的微量营养素。本文报道缺乏的范围、诊断和经营的成就，强调国家突出的成功事迹和局限性。

2、微量营养素缺乏的预报和诊断

诊断是指通过确定微量营养素在植物中的状况，鉴定采样时期的失调程度。预报是指采样后对微量营养素缺乏在生长后期对农作物生长的影响所作的预测。微量营养素缺乏的诊断可以来自土壤或植物分析。与之形成对比的是，通常只有植物分析才能诊断微量营养素缺乏(Bell, 1997)。如果植物或土壤分析再加上相应的信息如土壤类型、土壤-农作物管理模式、农作物产量目标、采样到农作物收割期间可能的气候状况，微量营养素缺乏的预报的准确度将能提高。补充使用土壤测试和植物分析对诊断/预报微量营养素缺乏更有效。

确定巴基斯坦土壤和农作物中微量营养素缺乏的方法如下：

- (1) 农作物对微量营养素缺乏的敏感度
- (2) 植物的缺乏症状
- (3) 土壤测试和植物分析
- (4) 农作物对微量营养素的反应

2.1 农作物对微量营养素缺乏的敏感度

由于农作物对微量营养素需求的基因型和/或利用土壤中微量营养素能力的不同，不同种类，甚至同一种类的不同品种，当在微量营养素含量较低的土壤中生长时，对微量营养素缺乏的敏感性各不相同(Rashid 和 Ryan, 2004)。比如棉花、向日葵、豆类苜蓿 (legumes clover)、改良油菜 (canola) 和松树比谷类有更多的硼需求(Shorrocks, 1997)，因此更易受硼缺乏的影响(Rashid 等人, 2002)。尽管谷类吸收硼的量较少，但与受精花卉和种子相比仍有相对高的硼需求量，因此在硼含量低的土壤中产量降低。与之相反的是，由于其低的硼需求量或对硼更有效的利用，大麦、玉米、燕麦、豌豆和黑麦被归类为耐硼缺乏。同样，玉米和洋葱受锌缺乏影响很大，而甘蔗和小麦对锌缺乏有很强的耐受性(Rashid 和 Fox, 1992)。全国已经观测到更大的对微量营养素缺乏的敏感性的差异。例如在研究水稻的锌缺乏机理时发现，尽管栽培变种 IR-6 对锌缺乏非常敏感，全国主首要的栽培变种 Basmati-37 却有很强的耐受性(Chaudhry 等人, 1977)。类似地，鹰嘴豆栽培变种 C-44 对铁-萎黄病很敏感而栽培变种 CM-72 却有耐受性(Rashid 和 Din, 1992)。因此，使用微肥的需求与生长在微量营养素缺乏的土壤的农作物种类甚至是其品种息息相关。

考虑到遗传变异性，表1列出了被认为对微量营养素缺乏敏感的本地农作物、蔬菜和水果。

2.2 植物的缺乏症状

如果植物缺乏特定的一种微量营养素，会表现出特定的症状。营养缺乏症状是微量营养素缺乏有效的指示器，特别是像铁-萎黄病。然而基于症状诊断微量营养素缺乏当然有严重的缺点，如（1）除了特定微量营养素缺乏外的许多因素都可能导致外观可见的症状；（2）一种特殊的可见症状可能由多种养分甚至是多种原因引起的；（3）一种微量营养素的缺乏可能与另一种养分的过量有关；（4）田间缺乏症状很难鉴定，因为疾病、昆虫或除草剂的损害都可能产生类似某种微量营养素缺乏的症状；（5）缺乏症状经常出现于生长阶段，采取补救措施为时已晚。此外并非所有的农作物在缺乏时都表现出特定的症状，并且可能因为微量营养素缺乏没有表现出任何症状而引起产量减少。例如，硼缺乏的谷物（如小麦和水稻）即使没有结穗，也不会出现任何症状(Rashid等人, 2004; Rerkasem和Jamod, 2004)。缺锌的粟也是如此，因为它的植株生长不受影响，但顶部产生较少的和皱缩的谷粒(Rashid和Fox, 1992)。因此，在巴基斯坦，微量营养素缺乏症状只用作其他诊断技术如土壤检测和植物分析的补充。

Table 1. 对微量营养素缺乏敏感的谷物中种类^a

锌	
高度	水稻 (<i>Oryza sativa</i>)
苹果 (<i>Malus domestica</i>)	大豆 (<i>Glycine max</i>)
大豆, 田间(<i>Vicia faba</i>)	中等程度
柑橘(<i>Citrus spp.</i>)	紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)
豇豆(<i>Vigna sinensis</i>)	大麦(<i>Hordeum vulgare</i>)
葡萄(<i>Vitis vinifera</i>)	苜蓿(<i>Trifolium spp.</i>)
玉米(<i>Zea mays</i>)	棉花(<i>Grossypium hirsutum</i>)
粟(<i>Panicum miliaceum</i>)	马铃薯(<i>Solanum tuberosum</i>)
洋葱(<i>Allium cepa</i>)	高粱 (<i>Sorghum bicolor</i>)

桃树(*Prunus persica*)
梨树(*Pyrus communis*)
松树(*Pinus* spp.)
李子(*Prunus domestica*)

甘蔗 (*Saccharum officinarum*)
甜菜 (*Beta vulgaris*)
向日葵(*Helianthus annuus*)
西红柿 (*Lycopersicon esculentum*)

硼

高度

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)
苹果(*Malus domestica*)
芸苔 (*Brassica* spp.)
花椰菜(*Brassica oleracea*)
苜蓿 (*Trifolium* spp.)
棉花(*Gossypium hirsutum*)
桉树 (*Eucalyptus* spp.)
油菜 (*Brassica napus*)
甜菜 (*Beta vulgaris*)
向日葵 (*Helianthus annuus*)
芜菁 (*Brassica rapa*)

樱桃树 (*Cerasus* spp.)
葡萄 (*Vitis vinifera*)
莴苣 (*Lactuca sativa*)
芥菜 (*Brassica juncea*)
橄榄树 (*Olea europaea*)
桃树 (*Prunus persica*)
花生 (*Arachis hypogaea*)
梨树 (*Pyrus communis*)
萝卜 (*Raphanus sativus*)
水稻 (*Oryza sativa*)
菠菜 (*Spinacia oleracea*)

中等程度

卷心菜 (*Brassica oleracea* var. *capitata*)
胡萝卜 (*Daucus carota*)

甘薯 (*Ipomoea batatas*)
烟草 (*Nicotiana tabaccum*)
西红柿 (*Lycopersicon esculentum*)

铁

高度

大豆, 田间(*Vicia faba*)
浆果 (*Morus* spp.)
鹰嘴豆 (*Cicer arietinum*)
柑橘 (*Citrus* spp.)
葡萄(*Vitis vinifera*)
花生 (*Arachis hypogaea*)
大豆 (*Glycine max*)
胡桃 (*Juglans* spp.)

大麦(*Hordeum vulgare*)
大豆, 田间(*Vicia faba*)
棉花 (*Gossypium hirsutum*)
玉米 (*Zea mays*)
燕麦 (*Avena sativa*)
豌豆 (*Pisum sativum*)
水稻 (*Oryza sativa*)
高粱 (*Sorghum bicolor*)
大豆(*Glycine max*)
小麦 (*Triticum* spp.)

中等程度

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)

^a 同时列出两种程度的物种表明不同的种类表现出不同的反应。

来源: Rashid和Ryan (2004)

2.3 土壤测试和植物分析

2.3.1 土壤测试：土壤测试是一种比植物分析更实用，并且应用更广泛的预测农作物微量营养素缺乏的技术。

对植物微量营养素缺乏的土壤进行测试的技术水平，根据土壤的类型和农作物种类有一定程度的差异。当土壤和植物分析参数结合当地土壤类型和农作物种类加以校正后，可以提高预测的可靠性。认识到这一点后，全国进行的大量的温室和田地调查(Rashid 等人, 1997c)确定了碱性土壤的多元素测试，即AB-DTPA (Soltanpour和Workman, 1979)，与传统的对Cu, Fe, Zn和Mn等微量营养素土壤测试即DTPA 测试 (Lindsay和Norvell, 1978)同样有效。

巴基斯坦判断微量营养素缺乏的土壤测试通用准则见表2

Table 2. 巴基斯坦微量营养素缺乏的土壤测试通用准则

微量营养素	土壤测试	低等	交界区	充分
B	热水	<0.5		>0.5
	HCl	<0.45		>0.45
Zn	DTPA	<0.5	0.5 – 1.0	>1.0
	AB-DTPA	<1.0	1.0 – 1.5	>1.5
Cu	DTPA	<0.2	0.2 - 0.5	>0.5
	AB-DTPA	<0.2		>0.5
Fe	DTPA	<4.5		>4.5
	AB-DTPA	<2.0	2.1 – 4.0	>4.0
Mn	DTPA	<1.0	1.0 – 2.0	>2.0
	AB-DTPA	<1.8		>1.8

DTPA =二乙三胺五乙酸

AB-DTPA = 碳酸氨-二乙三胺五乙酸

来源: Rashid 和 Ahmad (1993); Ryan 等人 (2001); Rafique 等人 (2002).

2.3.2 植物分析

与世界其它部分相同，巴基斯坦的植物分析资料与土壤测试数据相比要少的多。但是系统的营养标定指数提供了一些农作物微量营养素状况的全面的的信息，如农场生长的棉花(Rashid和Rafique, 2002)、小麦、高粱、油菜—芥菜、花生(Rashid和Qayyum, 1991; Rashid等人, 1997a,b,c,d)、柑橘(Rashid等人, 1991; Rehman, 1989; Khattak, 1995; Siddique等人, 1994)、以及苹果(Rehman, 1990)。其它一些营养标定指数研究(如Sillanpaa, 1982)和大量温室和田间实验(匿名, 1998)中，也有可以利用的植物分析数据。

国内研究也已经建立了许多本地农作物基因型的B, Zn 和 Fe²⁺ 的分析诊断标准。采用的Zn和B的临界值见Table 3。与预计相同，采用的临界值/范围在不同种类之间、同一种类中以及植物的不同部分都有变化。

尽管大多数标准与文献的数值相差不远，采用的棉花叶片的硼标准是53mg B kg⁻¹ (Rashid和Rafique, 2002)，比文献中通常的标准15–20 mg B kg⁻¹ (Shorrocks, 1992; Reuter和Robinson, 1997)高很多。众所周知，植物组织中铁的总量并不表示植物铁营养的状况，Fe²⁺在新鲜植物组织中的含量是铁—萎黄病严重程度的可靠指标(如 Rashid和 Din, 1992)。

在为易得萎黄病的豆类基因型确定铁萎黄病严重程度的标准所做的努力中，我们建立了Fe²⁺在鹰嘴豆和花生植物组织中的临界含量(Rashid和Din, 1992; Rashid等人, 1997a)。在我们对微量营养素的研发过程中，采用Jones等人(1991)、Reuter和Robinson(1986, 1997)，以及Tandon(1995)推荐的植物组织取样指南和程序。尽管我们在发展植物分析说明标准方面取得了经验和成绩，任务仍然很复杂。为搞清楚实验数据，我们常常采用Reuter和Robinson(1986, 1997)以及Jones(1991)推荐的解析规则。

尽管一般认为农作物的种子不是一个诊断营养缺乏的可靠的指标，我们确定种子分析是评估土壤锌肥(Rashid等人, 1997b,d)状况的很好的指示器。使用种子作为诊断组织有很多优点，如采样、处理和/或分析都很轻松方便。种子分析诊断克服了过去的困难，它可以辅助确定将来农作物对微量营养元素有反应的地点和农作物微量营养元素状况的区域发展趋势。

Table 3. 所选农作物本地发展的微量营养元素分析诊断标准

作物种类	临界浓度/范围 (mg kg ⁻¹)				
		Zn			B
	¹ 整芽	² 叶子	³ 种子	整芽	叶子
小麦	16–20	12–16	20–24	4–6	5–7
水稻	20	19	15		6
棉花					53
玉米	18	24	18		
高粱	27–33	20–22	10–14	17–18	25–31
鹰嘴豆					49
大豆		22	43		
豇豆		21	36		
油菜	29	33	29	32	38
芥菜	35	41	33	41	49
花生			⁴ 29		
向日葵					
4-周				46–63	
8-周				36	

¹整芽是指新生的嫩芽的整体 (≤ 30 cm 高)

²叶子是指在开花或抽穗时期 (除非另有说明)，最新鲜的充分伸展的叶片

³种子

⁴ ~ 4-cm 芽末端

来源: Rashid和Din (1992); Rashid和Fox (1992); Rashid等人(1994a,b); Rashid等人 (1997a,b); Rashid等人 (2002); Rafique等人(2005); Rashid 和Rafique (2005); Rashid等人(unpublished data).

2.4 农作物对微量营养元素的反应

作为微量营养元素在温室或田地条件施用的结果，通过缓和抑制可以获得大多数令人信服的营养缺乏的诊断。事实上，这是为说服风险承担者（即农业推广人员和种植者）对作物使用以前没有用过的微量营养元素肥料的被迫需求。

我们在全中国范围的关于田地规模微量营养元素缺乏的研究包括温室和田间实验。鉴定一种微量营养素的缺乏以土壤测试和/或植物分析为基础，最初在温室条件下检验是否缺乏。随后，在国家一个或多个主要的农作物生长区，在田间测试作物对施加微量营养素的反应。只有在农户的田地里获得一致的实质的农作物对微量营养素的反应，农业推广服务和肥料工业才会着手广泛推广技术。两个突出的例子是棉花的硼和锌缺乏的确定以及水稻的硼缺乏的确定（第6节详谈）。

3. 巴基斯坦微量营养元素的研发和对缺乏的认识

3.1 微量营养元素研究历史

两个IRRI (国际水稻研究院)科学家Yoshida和Tanaka (1969)首次观测到巴基斯坦的微量营养元素缺乏，二人确定在Punjab导致“Hadda”病的原因是锌缺乏。几乎在同一时期，Chaudhary 和Hisiani (1970)在Sindh省观测到确信的棉花对施加硼的反应。在这样的背景下，在上世纪70年代早期，由PARC (巴基斯坦农业研究局)发起的在全国四个省份开始的微量营养元素计划，使微量营养元素的研究获得重要进展。位于伊斯兰堡的NARC(国家农业研究中心)在上世纪80年代早期开始微量营养元素的研究。随着时间推移，对微量营养元素在作物产量的作用的认识得到加强，现在几乎全国所有的农业机构都涉及到微量营养元素的研发。

在上世纪70年代早期，曾经用人工比色分析Zn, Cu, Fe和 Mn。随着1973年原子吸收光谱法(AAS)的引进，微量营养元素实验室研究加速发展。尽管硼缺乏是国家最早观测到的失调的微量营养元素之一，直到上世纪80年代中期，相关的研究才得到重视，其原因主要是分析技术的限制。最初使用的用姜黄色素比色决定硼是否缺乏的方法有很多问题。上世纪80年代采用偶氮甲碱-H方法(Gaines和Mitchell, 1979)，现在硼分析是全国很多实验室的例行分析。

3.2 微量营养元素缺乏的确定

上世纪70年代Punjab的水稻被确定存在锌缺乏 (Chaudhry 等人, 1976, 1977)。上世纪80年代早期，公认的微量营养元素缺乏存在于很大的范围，遍及全国的土壤、农作物和水果，如NWFP (西北边界省份)、Punjab、Balochistan、Sindh 和 AJK (Azad Jammu & Kashmir)。在Pothowar高原旱地土壤和作物普遍缺乏硼、锌和铁的证据也于同一时间建立(Rashid and Qayyum, 1991)。除了组织一个全国的微量营养元素研讨会(Khattak等人, 1988)，微量营养元素的综述也付诸出版(Chaudhry和Sharif, 1975; Khattak 和 Perveen, 1986)。

上世纪90年代突出的研究成果包括鉴定并确认硼和锌在棉花(Rashid等人 2000)、小麦、柑橘、芒果和其它作物缺乏的面积，确定苹果和荚果作物（如花生和鹰嘴豆）(Rashid等人, 1997; Rashid和 Din, 1992) 以及柑橘(Rashid等人, 1991)的铁缺乏，修正了更有效和经济的微量营养元素土壤测试(如Zn、Cu、Fe和Mn的AB-DTPA以及B的盐酸稀释法) (Rashid 等人 1997c; Rashid等人, 1994)，并且制订了一系列本地农作物基因型的植物分析诊断标准(Table 3)。一个研究员，在联合国FAO和NFDC（即国家肥料发展中心，伊斯兰堡）的资助下，为全面描述问题，准备了关于微量营养元素的全国性报表(匿名, 1998)。

本世纪初的突出进展是确定水稻令人担忧的硼缺乏(Rashid等人, 2004; 2005)，推荐对其使用硼元素，并出版了全国硼缺乏的综述(Rashid等人, 2002)。总之，目前研究已经取得了有关微量营养元素缺乏的本质、程度和严重性的大量信息，并且发展了全国一些主要作物的经营策略。但是大多数信息都局限于两个省，即Punjab和NWFP，并且在这些省份中，并不是所有的

地理区域和/或农作物系统都得到重视。此外，微量营养素经营策略局限于单一作物，缺少整个作物体系的远景。

Table 4. 基于作物反应，观测到的巴基斯坦微量营养素缺乏

种类	缺乏		
	Zinc	Iron	Boron
鹰嘴豆 (<i>Cicer arietinum</i>)	•	•	•
柑橘 (<i>Citrus spp.</i>)	•	•	•
棉花 (<i>Gossypium hirsutum</i>)	•	•	•
落叶水果 (苹果、杏、桃子、李子)	•	•	•
玉米 (<i>Zea mays</i>)	•		•
芥菜 (<i>Brassica juncea</i>)	•		•
花生 (<i>Arachis hypogaea</i>)		•	•
土豆 (<i>Solanum tuberosum</i>)	•		•
油菜 (<i>Brassica napus</i>)	•		•
水稻 (<i>Oryza sativa</i>)	•	•	•
高粱 (<i>Sorghum bicolor</i>)	•		•
甜菜 (<i>Beta vulgaris</i>)	•		•
西红柿 (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	•		•
小麦 (<i>Triticum spp.</i>)	•	•	•

来源:匿名 (1998); Zahid等人. (2000); Rashid等人. (2002).

基于作物的反应，鉴定出巴基斯坦的微量营养素缺乏见Table 4。各个作物系统和全国地理区域微量营养素缺乏的程度见Table 5。旱地的微量营养素缺乏更严重并分布略微更广泛，尽管水浇地微量营养素更易流失——这可能是因为较多的农作物参与循环并且灌溉水增补了微量营养素。

全国最大的省Balochistan的土壤中石灰质含量很高并且大部分是旱地，其微量营养素含量最低，初步可用的信息表明该省存在的锌缺乏达到惊人的92%(Ismail, 1994)。该省的土壤质量、农业习惯和作物症状都表明，该省生长的许多农作物和落叶水果广泛存在严重的微量营养素缺乏，特别是锌、硼和铁。铁缺乏的确切程度还未知，因为对铁的土壤测试和植物分析效果较差。

3.3 绘制微量营养素缺乏区域图

基于系统和广泛的土壤-植物营养指数数据，利用统计学和电脑图形图像，在棉花种植区和Pothowar高原的旱地，绘制了微量营养素缺乏的空间分布。一般来说，土壤与植物的微量营养素图相当一致。如Punjab省 Lodhran区的局部棉花硼缺乏区域见图2。同样图3可以看出Pothowar高原Attock区缺锌的旱地小麦区。缺少有效的土壤咨询服务时，这些地图有助于鉴别需要微肥的区域，并有助于集中将来的研发。

Table 5. 巴基斯坦各个区域/作物系统的微量营养素缺乏状况

	锌	硼	铁
--	---	---	---

农作物/ 土壤	地点	缺乏地点	地点	缺乏地点	地点	缺乏地点
	-%-					
PUNJAB	1948	57	1177	50	728	21
土壤	617	49	177	49		
棉花—小麦	450	40	350	50		
棉花	350	40	350	50	350	0?
小麦	100	39				
水稻—小麦	1090	81	214	51		
水稻土	150	82				
水稻 (Bas-370, bas-385, Super Basmati)	850	85	100	55		
小麦	190	57	114	50		
Pothowar 高原旱地	536	66	536	55	536	15
小麦	61	70	61	60	61	0
高粱	255	60	255	50	255	3
油菜—芥菜	120	80	120	65	120	20
花生	100	60	100	50	100	50
Punjab 柑橘园	152	82			152	71
NWFP	1034	37	623	60	686	14
土壤	345	31	426	69	395	24
Mansehra和 Swat (包括 酸性土壤)	398	42				
水果园	291	36	197	42	291	0
柑橘叶	241	47	147	51	247	0
苹果	50	35	50	16	50	0
SINDH (土壤)	622	47	28	25	558	?
棉花	?					
水稻	?					
BALUCHISTAN	177	92			97	?
AZAD JAMMU & KASHMIR (Soils)	45	28	45	45		

来源: 整理自匿名(1998).

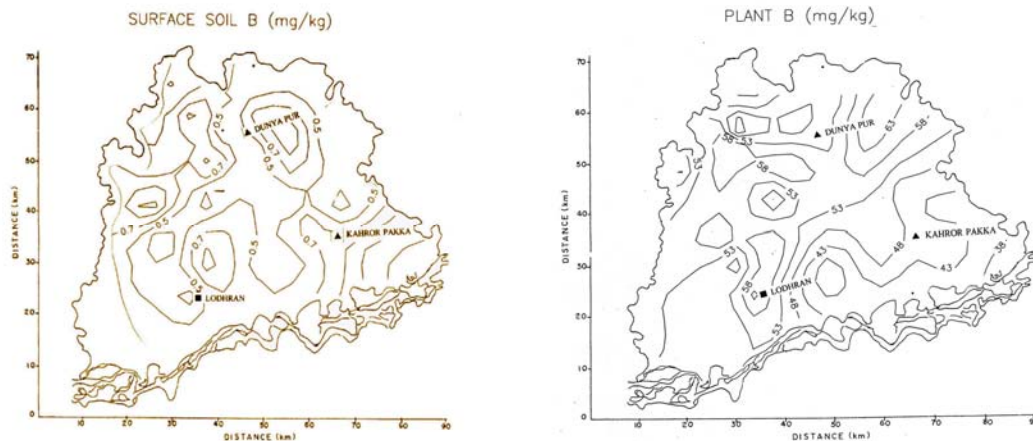


图 2. Punjab省Lodhran区土壤和相关棉花叶中硼含量的空间变化

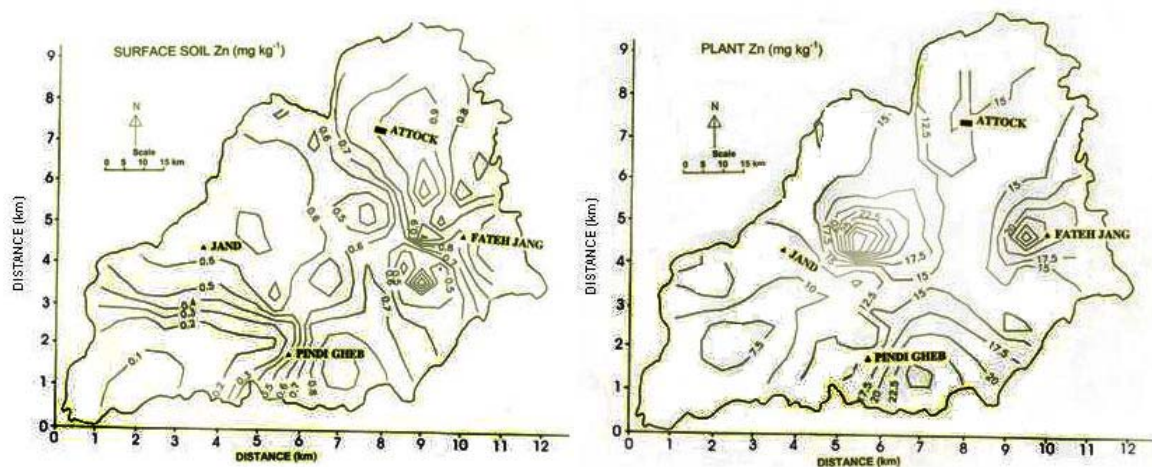


图 3. Punjab省Attock区土壤和相关小麦中锌含量的空间变化

4. 微量营养元素缺乏引发的健康危害

土壤缺乏微量营养元素，会导致饲料和食物缺乏锌和铁，从而引起动物和人类的营养失调（Graham和Welch, 2000）。这一现象尤其发生在资源匮乏的发展中国家地区，例如在巴基斯坦，人们主要依赖谷物满足日常饮食。因此铁缺乏引起的贫血在巴基斯坦非常普遍，约有49%的母亲和29%的儿童患有贫血症。近来，一个全国性的系统研究发现，人群中还存在着令人担忧的大范围的锌缺乏，即41%的母亲和37%的儿童均有锌缺乏症状。毫不奇怪，这些健康紊乱主要分布在贫苦的农村(Anonymous, 2004)。在巴基斯坦，同样发现家畜牛和野牛存在着从中等程度到严重的锌缺乏，这将妨碍牛的生长、繁殖和（或）哺乳。

尽管动物和人类的营养失调能够通过补充所缺乏的微量营养元素来调整（如补充矿物质，持续投放瘤胃丸，注射等），最好的方法是通过生物添加，生产微量营养元素丰富的谷类产品，如施用微肥和/或种植微量营养元素丰富的基因作物。因而，提高作物微量营养元素含量的必要性并没有夸大其词，巴基斯坦在国际玉米小麦改良中心（CIMMYT）的资助下，正参与小麦的粮食作物强化计划（HarvestPlus）。

5. Boron Toxicity Apprehension in Pakistan巴基斯坦硼的毒性忧惧

联合国粮农组织(FAO)对微量营养元素进行了研究 (Sillanpaa, 1982)，他们对巴基斯坦棉花种植的土壤中硼的毒性表示忧惧。与其相反，我们后来在全国范围进行了硼的研究（包括农民种植谷物的营养指标和田地实验），鉴定并证实硼缺乏是棉花土壤中广泛存在的问题(Rfique等, 2002;

Rashid和 Rafique, 2002;)。人们一般会认为盐渍土的硼含量较高，我们的发现正好与这种理解相反，与稻米生长地带一样，产棉地带的盐田和盐碱土同样存在硼缺乏(Rashid等, 未发表数据;)。迄今为止，尚未在全国的任何地方发现硼中毒现象。

6. Crop Yield Increases with Micronutrient Use施用微量营养元素使农作物产量增加

不论是大量研究工作站的农作物还是农民种植的作物（表6），施用微量营养元素后，它们产量的提高值得重视。施加锌元素后，作物平均产量提高情况为：马铃薯和向日葵提高了22%，玉米提高18%，小麦提高13%，水稻提高12%，大豆提高11%，棉花和甘蔗各提高8%。柑橘类的水果大小、重量以及维生素C的含量均有提高。一般来说，每公顷施5千克锌元素足够满足3-4季的农作物生长需要。

表6. 在田间施加锌和硼后，农作物的反应和经济效应

农作物/种类	省	施加的锌/硼 ² (千克/公顷)	调节（控制 ）产量 (吨/公顷)	产量增幅 (%)	价值成本 比 ¹
锌					
水稻					
谷粒（IRI类型）	Punjab, Sindh, NWFP	7.5	4.78	12	6:1
Fine aromatic 芳香性 (Basmati-类型)	Punjab	5	3.48	10	6-10:1
小麦					
各种栽培变种	Punjab	5/10	3.82	14	5:1
	NWFP	2.5/10	3.47	13	7:1
玉米	NWFP, Punjab	5	2.79	18	9:1
棉花	Punjab, Sindh	5	2.26	8	12:1
甘蔗	NWFP	10	75.84	8	8:1
马铃薯	NWFP, Punjab	5	16.65	22	50:1
硼					
水稻					
Fine aromatic (Basmati- types)	Punjab	1/2	3.74	20	22:1-45:1
谷粒(IRI-型)	Sindh, Punjab, NWFP	1	4.82	20	25:1
棉花	Punjab, Sindh, NWFP	1-2	2.38	14	15:1

	Punjab	叶面喷药	2.16	12	30:1
小麦	Punjab	1-2	3.29	14	4:1
	NWFP				
玉米	NWFP,	1-1.5	2.51	20	7:1
	Punjab				
甘蔗	NWFP	叶面喷药	71.73	40	30:1
甜菜	NWFP	2	75.84	7	
马铃薯	NWFP	1.5-2	12.11	21	19:1
	Punjab	叶面喷药	10.13	26	264:1
花生	Punjab	1	2.10	10	11:1

1. 基于当地硼砂、硼酸和作物产量的商业等级价格

2. 土壤应用，叶面喷药除外

来源：据匿名文章改编(1998).

施加硼元素后，作物平均产量提高情况为：水稻和玉米提高20%，马铃薯提高21%，棉花和小麦提高14%，花生提高10%，甜菜提高7%。在水稻方面，最初发现Punjab省Basmati-370和IR-6 (Chaudhry等, 1976) 型水稻的谷粒产量增加范围为10—35% (平均14%)。近来，在Punjab和Sindh省(表6;图4、5)又发现栽培变种超级Basmati、Basmati-385、KS-282和IR-6型水稻的谷粒增产14—30% (平均20%) (Rashid等, 2004, 2005)。施加硼使水稻空穗现象大量减少(在稻穗较低的部分; Fig. 4, 5)，产量增加，而且提高结实率(表7)。另外，改良硼的营养构成，不仅可以减少收割期后的谷粒脱落，还可以治愈由硼缺乏引起的作物成熟期不均匀的问题(图5)。



图4. 在巴基斯坦石灰性土壤中种植水稻，当施加硼后谷粒有相当大的改善(栽培变种 超级 Basmati)



图5. 在巴基斯坦石灰性土壤中种植水稻，施加硼元素后缓解了水稻空穗和收割期后谷粒脱落问题

表7. 硼营养对水稻空穗率和结实率的影响

水稻栽培	谷粒产量(吨/公顷)		空穗率(%)		结实率	
	标准	施加硼	标准	施加硼	标准	施加硼
Basmati-385	3.77	4.72	28	16	14.3	16.1
超级Basmati	3.23	3.89	23	14	18.4	20.1
KS-282	4.82	5.48	15	12	12.0	15.0
IR-6	4.34	5.64	41	27	11.8	16.1
平均	4.04	4.93	27	17	14.1	16.8

来源: Rashid等 (未发表数据)

在棉花生长中，施加硼肥有利于减少棉铃的脱落以及增加棉铃重量（表8），籽棉产量平均增产14%（图6; Rashid和Rafique, 2002）。土壤施肥和叶面施肥均同等有效。

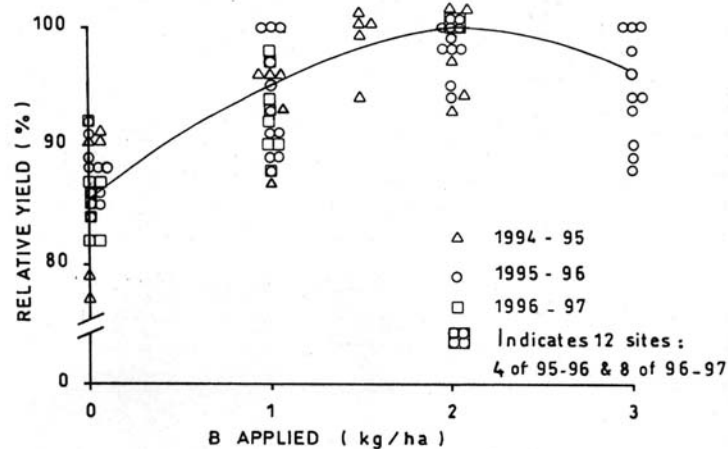


Fig. 6. 硼肥施加比例和籽棉产量之间的关系（最大产量：1994-95, 2970千克/公顷；1995-96, 2706千克/公顷，1996-97, 1995千克/公顷）（来源：Rashid和Rafique, 2002）

表8. 硼肥营养和籽棉产量

农事年	籽棉产量 (吨/公顷)		棉铃重量 (克/棉铃)		棉铃数量/株	
	标准	施加硼	标准	施加硼	标准	施加硼
1994-95	2.58	2.97	3.54	3.90	22	28
1995-96	2.40	2.71	3.46	3.66	29	32
1996-97	1.72	2.00	3.41	3.54	24	27
1997-98	1.67	1.87	3.18	3.30	20	22
平均	2.25	2.57	3.40	3.60	24	27

来源：Rashid和Rafique（2002）

观察到的施加铁元素后农作物平均增产情况为：花生增产30%，马铃薯增产16%，鹰嘴豆增产15%，水稻增产12%，小麦增产9%，玉米增产6%。果实的大小和质量也有很大改善。除了西奎斯特林之外，含铁无机盐和螯合物施加到土壤中是无效的。然而，重复对叶片喷洒FeSO₄或者铁螯合物能够治疗萎黄病。

一般来说，施加锌、硼等元素肥料采用土壤施肥和叶面施肥的效果相同，但后者更有成本效益。但是，叶面施肥只适用于水果、蔬菜和其他高价值的农作物，或者棉花等需要大量喷洒杀虫剂的农作物。

在巴基斯坦，作物反馈信息主要适用于单季作物，而在多种种植系统中，或者在施用微肥后的残留效应和累积的效应的影响下，这种反馈信息就非常少。同样，由于实际条件限制，作为施加微量营养元素所产生的影响，几乎没有记录任何水果产量的数据。

7. 微量营养元素提高产品质量

微量营养元素缺乏的植物，除产量降低外，产品的质量也可能会降低。因此，当植物微量营养元素缺乏时，谷物和水果产品的价格也会很低。施用微量营养元素不仅可以增加产量，很多情况下，农作物产品的质量也会得到改善。当地一个非常显著的例子是施加硼肥后，水稻的烹饪质量得到显著提高。在对栽培变种超级Basmati、Basmati-385、KS-282和IR-6进行的广泛的水稻田实验中，由国家农业研究中心实施的一项实验证明，在Punjab省（与“农业推广和适应性研究”合作）和Sindh省（巴基斯坦Engro化学公司），施加硼元素不仅可以增加谷粒产量，还可以显著增加谷粒制粉回收率和穗粒回收率，还可以改良烹饪特点等，如增加烹饪时间，减少烹饪过程中的爆裂和降低胶粘性（表9）。植物施加硼元素后使水稻质量改善归因于谷粒饱满以及作物成熟期一致。

表9. 在巴基斯坦石灰性土中施加硼元素后的水稻质量改善

谷粒特征	IV. Basmati-385		Super Basmati	
	Control	+ B	Control	+ B
糙米总量 (%)	71.1	73.1	70.4	72.0
水稻穗粒 (%)	54.3	57.6	52.9	56.5
谷粒厚度 (T) (mm)	1.52	1.53	1.53	1.54
谷粒长度：宽度	4.13	4.15	4.56	4.53
质量指标 (长/宽度x厚度)	2.70	2.69	2.97	2.94
烹饪延长时间	1.94	1.98	1.97	2.00

烹饪爆裂程度 (%)	11	8	10	7
碱性分布 (范围1-7) ^a	4.5	4.8	4.7	5.0

a 碱性分布值: 4-5 范围 = 中间值 G.T. 型水稻

来源: Rashid等(2004)

现已发现植物硼元素含量较低会导致果实数量和体积减少, 果核韧性降低, 以及其他水果如苹果的质量参数恶化等。在我们的实验中, 叶面施加硼元素能够显著提高柑橘类水果的质量 (匿名, 1998)

8. 土壤施加微量营养元素的余效

土壤施加微量营养元素后, 可以在同一块土地上种植作物会产生有益的剩余效应。这是因为实际上第一季作物只吸收了一小部分的微量营养元素。尽管有的文献指出, 施加的硼元素有很大一部分被当前种植的作物所吸收, 但我们在棉花和水稻的多年、多领域实地实验表明, 每公顷施加1-1.5千克硼肥的土地上种植的作物, 收割后它们只吸收了所施剂量的1-2%(Rashid等,未发表数据)。由于通过土壤吸附、沉淀和(或)过滤造成硼的损失是不可恢复的, 并不是所有剩余的硼都能被后来种植的作物有效利用。但是增加土壤中的硼无疑有利于随后轮作的作物。

我们正在Punjab省的四种水稻生长的主要土壤系列中进行水稻-小麦轮作的现场实验, 每公顷施加1.00千克的硼, 第1季水稻谷粒产量比没有施加硼的水稻产量高25%。剩余的硼元素同样使随后的四季作物产量有明显的提高(表10)。因而, 在第1季作物中施加相对少量且安全的硼元素, 其后2~3季的轮作作物可能不用再施硼肥。

表10. 巴基斯坦Punjab省水稻-小麦生长带中对第1季作物施加硼后的剩余效应

施加硼 (千克/公顷)	谷粒/稻粒产量 (吨/公顷)				
	2003	2003-04	2004	2004-05	2005
	水稻	小麦	水稻	小麦	水稻
0	2.80	3.24	2.88	3.14	4.03
0.5	3.20	3.97	3.25	3.55	4.27
1.0	3.51	4.45	3.51	3.90	4.55
1.5	3.28	4.38	3.61	4.04	4.67

来源: A. Rashid等 (未发表数据)

然而, 土壤施加微量营养元素后的剩余效应所持续的实际时间长短和影响范围, 依赖于很多土壤因素, 最显著的因素之一就是吸附/解吸附和过滤能力。例如, 土壤中的微观组织吸附微量营养元素能够造成显著的遗留效应, 而在具有粗结构的土壤中的潮湿的区域, 施加的微量营养元素易被沥滤掉。因此, 在巴基斯坦, 人们推荐研究土壤施加微量营养元素后的遗留期限, 以及在不同的作物体系和土壤形态中进行现场实验。

9. 施用微量营养元素的经济效益

在施用微量营养元素能使作物丰收的地方, 它的经济效应也应该是具有吸引力的, 因为微量营养元素的施用剂量很少, 并且能对随后的作物产生有利的剩余效应。

我们在全国内进行了广泛的现场试验, 充分证明在多种作物上施用微量营养元素具有很高的成本效益, 尤其是进行叶面施肥(表6)。例如, 在田地施用锌的产投比(VCR)为6:1-10:1, 苗圃浓缩技术可以达到50:1 (Rashid等, 2000)。在棉花生长的土壤中施用硼的产投比是

16:1，在水稻生长的土壤中硼的产投比是30:1，微量营养元素叶面施肥越是土壤施肥的收益的两倍。

施加微量营养元素除能使作物产量提高外，还有其他方面显著的经济效益。例如，在我们的实验中，在水稻中施用硼，不仅能提高当季的谷粒产量，还能提高随后轮作的水稻和小麦的粮食产量。因此，土壤施加硼肥的实际的产投比至少比表6中所给出的数据高出2—3倍，这对其他的微量营养元素（例如锌）来说也是相同的。另外，微量营养元素还能优化其他农业投入（包括氮、磷、钾肥料）的效果，因而也能间接提高农业经济效益。

据我们估计，在国家四种主要的农作物（如棉花、水稻、小麦和玉米）的50%的区域中，只施用硼的潜在的净经济效益相当75亿巴基斯坦卢比/年（1美元=60巴基斯坦卢比）。因此，国家提高微量营养元素投入能够转化为提高农民收入和国民经济。

10. 巴基斯坦施用微量营养元素的介绍

巴基斯坦不同作物种类所需施用的微肥如表11。然而，迄今为止国内正式推荐施用微量营养元素只限于一些主要的作物。在Punjab省和Sindh省，上世纪70年代才推荐在水稻中施用锌元素，而推荐施用所有其他微量营养元素的是近来才发展起来的。例如，在棉花中施用硼最初是在1997年NFDC组织的国家棉花生产研讨会上被认可的，然而它正式被Punjab省农业部推荐使用是在1998年，Sindh省农业部推荐使用是在1999年。由于水稻苗圃浓缩被证明同样有效并相对经济和简便易行，自2003年推荐在水稻苗床中使用锌元素。Punjab省农业部是最近2005年才推荐在水稻上施用硼元素的。同期，很多其他农作物（如马铃薯）和水果（如柑橘、苹果、柠檬和石榴）经推荐施用硼元素后，也获得了相应的经济效应，还有一些进步的农户在特种农作物和水果中施用锌、硼和铁元素。

表 11. 巴基斯坦不同作物种类所需的微量营养元素

作物	锌	硼	铁
I. 农作物	◆	◆	
小麦、水稻、棉花、玉米、油菜籽、高粱、甘蔗			
花生		◆	◆
大豆	◆		
紫花苜蓿, 甜菜, 向日葵, 烟草		◆	
II. 蔬菜			
马铃薯、番茄	◆	◆	
芜菁甘蓝、菜花、卷心菜、胡萝卜、萝卜、菠菜、生菜、甘薯		◆	
洋葱	◆		
III. 水果			
柑桔	◆		◆
苹果、桃、梨、李子、杏、葡萄	◆	◆	◆
草莓			◆
IV. 观赏植物			
观赏植物		◆	◆
针叶树、玫瑰		◆	

来源：根据匿名改编（1998）

一般的微肥来源列于表12，国家推荐施用普通的微量营养元素列于表13。

表 12. 一般的微肥来源

来源	化学式	微量营养元素浓度
锌		
硫酸锌	ZnSO ₄ ·H ₂ O	35% 锌
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	22% 锌
锌螯合物	Na ₂ Zn-EDTA	12-14% 锌
	NaZn-HEDTA	8-9% 锌
硼		
硼砂	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	11% 硼
硼酸	H ₃ BO ₃	17% 硼
硼砂	Na ₂ B ₈ O ₁₃ ·4H ₂ O	20.9% 硼
持力硼	Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	15% 硼
铁		
硫酸铁	FeSO ₄ ·7H ₂ O	20% 铁
铁螯合物	NaFe-EDDHA	6% 铁
铜		
硫酸铜	CuSO ₄ ·5H ₂ O	25% 铜
	CuSO ₄ ·H ₂ O	35% 铜
螯合铜	Cu-EDTA	13% 铜
锰		
硫酸锰	MnSO ₄ ·xH ₂ O	24-30% 锰
锰螯合物	Mn-EDTA	5-14% 锰

来源：摘自Rashid (1996)

表 13. 巴基斯坦推荐施用的一般性微量营养元素

农作物	*施用的剂量和方法
锌	
田间作物 (包括水稻) 和蔬菜	土壤施加锌浓度5千克/公顷，一次施用持续3-4季作物
水稻	苗圃施加锌浓度20千克/公顷 或者田间施肥锌浓度5千克/公顷
水果	叶面喷洒 0.1% 锌溶液, 一年三次
硼	
棉花	土壤施肥硼元素浓度1.0千克/公顷 或叶面喷洒0.1%的硼溶液, 雪后45、60 和 90 天
小麦、水稻、油菜、菜花、烟草、向日葵、	土壤施肥硼元素浓度0.75千克/公顷

甜菜

花生, 萝卜

土壤施肥硼元素浓度0.6千克/公顷

马铃薯、番茄

土壤施肥硼元素浓度1千克/公顷

或叶面喷洒0.05%硼溶液

苹果、葡萄、杏、桃、李子、梨

叶面喷洒0.1%硼溶液，一年两次

玫瑰和其他观赏植物

叶面喷洒0.05%硼溶液，一年两次

铁

农作物和水果

叶面喷洒0.05%硫酸铁溶液或者1%铁螯合物溶液，一年3-4次

* S土壤施肥被广泛施用，带状施肥使用频率较少

注:

- 1) 确保撒播均匀，播种前把肥料混合于4—5倍体积的研磨成粉的土壤。
- 2) 避免叶面损伤，必须中和叶面喷洒的酸和尿素浓度。
- 3) 在喷洒叶面的溶液中，添加0.05%的清洁剂粉末，如表面活性剂。农作物/水果的的年龄不同，喷洒的浓度也不同，范围有100升/公顷—400升/公顷。

来源: Rashid和Rafique (1998); Rashid等 (2000); Rashid 等(2002).

大多数田间作物，最适宜的剂量是：土壤施肥锌5.0千克/公顷，硼0.75-1.0千克/公顷；或者叶面喷洒三次0.1%锌溶液和0.05 – 0.1%硼溶液。土壤施加锌元素和硼元素足够至少维持2-3季的作物。一般来说，对石灰性土壤施加铁无机盐是无效的，而唯一有效的铁螯合物十分昂贵，如螯合铁。因而一般推荐的治疗铁萎黄病的方法是对叶面重复喷洒0.5%硫酸铁溶液或者1.0%螯合铁溶液。

同样，为获得成本效益和安全使用微肥，农户应遵守以下指南：

- i) 施用微量营养元素必须依照土壤检测的结果
- ii) 必须极其小心以避免硼施用过量。必须监控土壤中硼的状况。依照土壤检测的结果周期性地调整剂量或施用频率。
- iii) 可以在播种前向土壤施加微量营养元素，并混合施用其他基础性肥料。
- iv) 均匀撒播前必须确保提前与主要营养肥料或者研磨成粉的土壤混合。
- v) 由于被推荐的剂量会在 2-3 季农作物中有剩余效应，可以每年对土壤只施一次肥，如可对水稻—小麦生长带的水稻施肥，或者只对棉花—小麦生长带的棉花施肥。
- vi) 叶面喷洒更加切实可行。喷洒叶面的溶液浓度必须正确，必须包含推荐浓度的表面活性剂。并且，如有必要必须进行中和。为改善微量营养元素缺乏，需要重复喷洒。
- vii) 落叶果树（苹果、桃、李子、梨、杏），每年在花瓣脱落以及一周以后分别进行叶面喷洒。

11. 巴基斯坦微量营养元素实际施用状况

尽管有令人信服的关于微量营养元素广泛缺乏的科学知识，以及施加微肥非常有益和较高的成本收益，但实际上微肥的施用仍没有得到重视。据估计，国家潜在的微肥需求至少为每年730吨锌元素、3,100吨硼元素（匿名，1998）。然而，实际上水稻、马铃薯和柑桔类作物中锌的施用量只占了很小的一部分。因而，即使是水稻，也有着最长久的、众所周知的锌缺乏史，还持续遭受广泛的失衡影响；施用硼的情形则更加糟糕，它也只局限于一些前卫的农户施用在棉花和水果作物上。

12. 施加微量营养元素的局限性

这里罗列了农户不采用这些有益科技的一些原因。导致不能施用微量营养元素的突出局限性的因素如下：

(1) 忽视土地施肥的必要性：国内采用微量营养元素技术最重要的局限性可能是忽视了风险投资人（如政策制定者、技术传播和推广团体、肥料生产工业和农户）。尽管很多研究成果通过科学会议（或研讨会）被证实和宣传，但它们传送到风险投资人就非常缓慢并且效率低下。实际上，农业推广服务和国内肥料工业在近几年才确信微肥的施用成效，但有很多人对此一无所知。因而，推荐加强对风险投资人等进行大力的技术传播和充分提高他们的意识。关于主要农作物和水果的出版物、电子宣传以及广泛的田间示范、农民户外集会等都可以作为宣传手段。

(2) 不适当地施用肥料：农户不易把握施用微肥的难点是微肥推广的又一主要局限性。在世界贸易的众多微量营养元素的来源里，只有一小部分可以作为国内施用的肥料。实际上，巴基斯坦进行的微量营养元素研究主要依赖于进口的和国产非农用的分析纯试剂（AR级）和商业级别的硫酸锌、硼砂、硼酸等。市场上广泛出售的微肥只有适用于水稻生长地区的硫酸锌。然而，为了提高对多数作物施加微肥的好处的认识，近来国内主要的肥料公司（如巴基斯坦Engro化学品公司和Fauji肥料公司）终于开始出售含有微量营养元素产品。同时，众多的小供应商，包括农药公司，也开始追逐快速成长的微量营养元素市场。因此，相关的政府机构应该提早行动保证产品质量。

(3) 不可靠的肥料质量：当地市场上不可靠的微量营养元素产品质量问题也是造成不采用微肥技术的原因之一。由于人们对微量营养元素的缺乏范围和成本效益认识的提高，目前对微肥的施用有较强的需求，尤其是棉花和水果等作物。因此，一些声誉不好的小供应商引进的很多含有“微量营养元素”的产品充斥市场，它们总是标签和内容不符，有些甚至完全假冒，因而逐步被淘汰。实际上，微量营养元素来源的严重的质量问题逐渐使农户对微肥的使用丧失信心。

然而，由于近期人们对施用微量营养元素的必要性和好处等认识的提高，国内一些主要的肥料工业（如巴基斯坦Engro化学品公司和Fauji肥料公司）终于开始出售含有微量营养元素的产品。因而，世界其他地方施用的标准微量营养元素产品（如硼砂、持力硼和硫酸锌）也能够被巴基斯坦农户使用。

因此，优良的、实用的上等质量的微肥产品应该得到强力推荐。

(4) 农户的施用难题：土壤施肥的难点以及提前准备正确的喷洒溶液是又一严重的难点。由于微量营养元素施用剂量较少，如果不和主要营养肥料颗粒混合，很难做到均匀施肥。同样，准备正确的喷洒溶液浓度对一个普通农户来说也是非常棘手的。只有简便好用的产品，如加强型微肥和配置好浓度的喷洒溶液，在国内才的施用才能够提高。

根据世界其他国家的微肥使用经验，加强型微肥施用最方便，即包含微量营养元素的混合肥。微量营养元素可以在主要营养肥料成粒之前加入（如在复合肥成粒之前加入），或者在干混和阶段加入。因此，国内肥料工业有义务生产高质量、方便好用、作物专用的加强型微肥。首先，加强型微肥可以为一些具有较好的经济效益的农作物（如棉花、水稻、马铃薯和水果）准备专用肥。

简而言之，只有对所有资源匮乏的农民给予充分的重视，使用微肥才能在全国推广。

13. 研究与开发的必要性

13.1. 研究

- 为准确诊断微量营养素失衡的实质、程度和严重性，在剩余作物体系和国内地理区域中，农户种植作物的营养指标

- 在主要的农作物体系和果园中制定微量营养元素管理策略。
- 在主要的作物体系中研究施用微量营养元素的剩余效应（或聚集效应）。必须制定出长期的微量营养元素资金负债表。
- 在水果、蔬菜和其他高价值的作物中采用滴灌施肥技术。
- 研究和（或）观察微量营养元素在不同作物中的有效性
- 调查微量营养元素在动物和人体健康中的作用。

13.2开发

- 改善微肥的施用数量、质量、时间和施用地点，以及进口一些微量营养元素作为肥料。
- 开发可以用来土壤施肥、叶面施肥和滴灌施肥的高质量的微肥产品。
- 有效的土壤—植物—肥料微量营养素咨询服务和人员培训。
- 对果园微量营养元素学进行研发。
- 由于“眼见为实”，普及施用微肥时田间示范作用不可忽视。因此推荐施用微肥时进行广泛的田间示范，以达到对投资管理人的宣传。
- 媒体（印刷和电子）宣传强调施用微量营养元素的必要性。
- 颁布并有效执行国家级的肥料质量控制法。

14.致谢

感谢Ejaz Rafique先生的讨论和校对，以及Muhammad Jawad先生对对文章结构和文字的处理。

15. 参考文献