



微营养物在确保有效利用时的效应

M. J. 马拉库提
土壤和水研究院, 伊朗

[摘要]

由于土壤的石灰质性、高PH值、低有机物、含盐度高、连续干旱、灌溉水中的高重碳酸盐含量以及化肥使用的不平衡等因素，亚洲许多国家的植物、动物和人们都普遍缺乏微营养素。植物通过在其根围产生更多的 HCO_3^- 和 OH^- ，使土壤和植物液汁中的PH值提高，从而导致了微营养素存

在水平的降低。当植物缺乏微营养素时，会产生一些负面影响，包括：农作物的产量和质量下降；植物的形态结构不完整，如植物的木质部导管就会变少、变细；**提高生物和非生物**的强度；农作物容易受到大规模的病虫害侵袭；植物中**phytosidrophore**的缺乏并且降低了化肥的使用效率等等。微营养素的缺乏意味着植物不能吸收足够的微量元素，而使不同的农作物、草料的产量大幅下降。其最终结果是导致家畜和人类体质的下降。总之，农产品缺乏微营养素是比较普遍的。

过去十年对土壤石灰质的研究表明，现在的微营养素中，锌的缺乏对农作物产量所造成的影响是最重要的。其它对农作物产量提高起重要作用的微营养素依次排列为：铁、硼、锰、铜和钼。对于石灰质土壤来说，微营养素能提高农作物产量百分之十至二十的传统观念是低估了。其实，在有些情况下，特别是对如硬质小麦那样的非有效栽培品种来说，微营养素能提高粮食收成的百分之五十，同时多量营养素的利用效率也会大幅度提高。无论是通过向土壤施微营养肥或对作物进行叶面喷洒，还是进行种子处理等方法，我们都能够提高农作物的收成以及质量，同时还能够提高多量营养素的利用效益。在伊朗，公认的积极而具有建设性意义的措施就是提高微营养素的运用水平。目前，伊朗每年生产大约400,000吨(全国百分之十的化肥用量)中含锌肥料NPK(含1%锌)和40,000吨硫酸锌用于农业生产。值得庆幸的是，土耳其在这方面也取得了相同的进展。

虽然许多研究发现微营养素能提高农作物产量，但是农民并没有普遍使用这些肥料。这就说明在研究、教育和向农民推广这些有价值的信息，而让农民改变传统的施肥习惯之间没有很好地衔接。虽然大量的数据证明平衡施肥的重要性，但伊朗农民使用的80%以上的化肥只含有氮和磷添加剂（目前，全世界使用的化肥总量每年大约在1.44亿吨，含氮、磷和钾肥分别8500万吨、3500万吨和2400万吨。但是，微营养肥料的使用总量大约为576万吨，仅占4%。而伊朗微营养肥料的使用量仅为1%，要远远低于这个数字。）无论如何，一个更为合乎逻辑的方法是用微营养素来提高石灰质土壤种植的农作物、草料和牧地的营养。这样，每个人通过食用营养丰富的全麦面包以及其他农畜产品来获得所需的基本营养。基于对微营养素在提高和维持人类健康方面的重要作用，并考虑到将来农作物的产量、质量和富营养的目标，我们需要更多的研究，来决定微营养素优化水平，而不是仅仅将微营养素作为一个能为农作物生产带来好处的指数。

[关键词] 微营养素缺乏；石灰质土壤；水中重碳酸盐；农作物收成和质量；农作物营养；健康提高

[介绍]

我们现行的主要农业生产政策应该取决于土壤和水资源的生产能力；要在精细耕作的前提下监测土壤和水资源的质量变化；要提高水和肥料的使用效率(WUE和FUE)；要提高农作物的总产量，同时要适当考虑环境问题和其他一些更为重要的问题，即要通过丰富农产品来改善与已知的人体健康所需营养物质的原则相符的食品质量。直到第三个千年之初（21世纪初），各国政府仍集中在关心提高其人口的热量摄入量。不管怎样，科学证明这些做法是不准确的。相比较而言，关注每天热量的摄入量远不如通过丰富农产品的基本营养来满足人类细胞的生长需求。因此，食品的质量问题如今受到极大关注，特别是有许多研究的目标都是针对肥料的类型和用量的。（Malakouti, 2003）

世界人口正在急速增长，到2025年可能会达到80亿。有限的可耕地和水资源，以及全球农作物产量不断下降的趋势使得粮食安全成为二十一世纪的一个重大挑战。根据预测，现有耕地的粮食生产必须在今后二十年翻一番才能满足全球不断增长的人口对粮食的需求。为了达到粮食生产的所需的巨大增长，离不开强调对肥料的大量应用和提高土壤的肥沃程度。目前，在许多发展中国家，土壤贫瘠、土壤中矿物质含量低、不恰当的土壤营养管理以及缺乏对植物基因类型的关注、对营养缺失或毒性的高度容忍都被认为是对粮食安全、营养不良和生态系统变坏的主要制约。（Malakouti and Balali, 2004）

植物营养研究提供了有价值的信息。这些信息对于消灭这些制约，从而在不破坏环境的前提下达到粮食安全和人类生活富裕的目标。目前，至少60%的耕地由于缺乏矿物营养并有毒性存在而有限增长的问题，超过50%的世界人口受到微营养缺乏的影响。因此，在本世纪，致力于解决全球对具有更高营养价值的粮食生产需求的植物营养研究学，将成为一个很有前途的科研领域。通过植物营养研究与植物基因规律和细胞生物研究相结合，开发植物基因种类使农作物具备高基因能力以适应营养缺乏和毒性土壤的生长条件，以便使可食用的植物产品含有更多的微营养素，如谷类粮食和饲料是与微营养素分不开的。因此，作为植物营养学家，我们农业生产的主要政策是根据土壤和水资源的生产能力来决定生产；提高水和肥料的使用效率；提高农作物的总产量；同时要兼顾农作物生产的可持续性以及环保问题；提高农产品的营养并根据已知的人类健康原则来提高食物质量；监测土壤和水资源在精耕时的质量变化。（Malakouti, 1996; Oliver, 1997; Grausk and Della Penna, 1999; Graham *et al.*, 2000; Malakouti, 2000; Cakmak, 2001; Malakouti *et al.*, 2004; Malakouti, 2005）

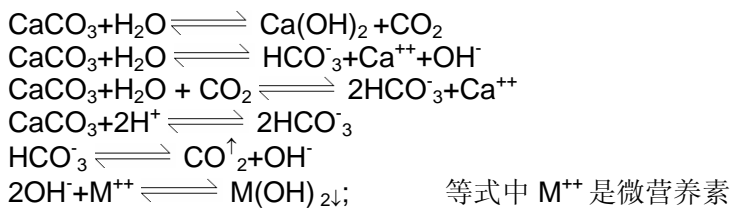
营养对于动物和人类的健康有着非常重要的作用，而微营养素是合理营养的主因素。不幸的是，这些因素的重要性，直到近几年才被科学界认可，并且也只有被很少的消费者认可。在纪念世界粮食日（2001年）的一封信中，世界粮食组织的总干事宣布：农产品微营养素缺乏导致了发展中国家每年大约1亿两千万美元的损失。在中东国家，由于石灰质土壤和抑制作物、饲料植物的低有机质占了大多数，粮食产品自然就会比其他地方含微量元素的平均值低。而且在伊朗，就像其他许多发展中国家一样，面包是主食。这里出产的小麦微营养素含量低，而PA/Zn的克分子比率高，此外，在面包的加工过程中，我们经常会浪费一些含有小麦麸的微营养素。因此根据在斯德哥尔摩召开的“微营养素和人类健康研讨会”上所提供的平均值，表明世界上8%的人口都缺乏微营养素。我们认为中东地区人口的三分之二以上都缺乏微营养素。（Malakouti, 1996; Anonymous, 2000; Anonymous, 2001; Cakmak, 2001; Malakouti, 2003）

如何以微营养素提高植物质量、提高动物和人类健康的途径应该成为我们研究的重点。为了解决当今世界面临的营养不良的问题，我们必须了解产生的主要原因和与之相关联的因素。当然，如果农业系统不能提供足够的营养来满足动物和人类不断的需求，营养不良的情况将会持续下去。如果我们想要找到不断解决这个问题的方法，那么农业专家、营养学家和政策决策者如何看待这个问题的观点，以及他们在应付营养不良问题中的作用必须发生巨大变化。农业、营养和

健康的最高目标必须是互通有无的，研究项目应反映这些观点。为了提供人类更美好、更健康的未来，这种不断追求是非常必要的。

只有当人们在各方面获得了丰富营养，并具有健康的体魄，充满活力和生机，这个目标才能达到。这不仅是为了提高劳动生产率，而且是为了提高人类的思维创造力、社会调节能力和生活水平。因此，农业、营养学和健康紧密相联是绝对必要的。（Cakmak, 2001; Welch, 2003; Malakouti, 2003; Alloway, 2004; Malakouti and Tehrani, 2005）。

由于土壤的石灰质性、高PH值、低有机质、含盐度高、连续干旱、灌溉水中的高重碳酸盐含量以及化肥使用的不平衡等因素，在亚洲许多国家的植物、动物和人类普遍缺乏微营养素。例如，如果HCO₃⁻的浓度为244毫克/升的灌溉水中以每年每公顷5000立方米的比率灌入到农田或果园中，那么渗入到土壤中的HCO₃⁻总量就会超过每年每公顷一吨（约1220公斤/公顷）。以下等式显示为什么高PH值、高碳酸氢盐会降低石灰质土壤中微营养素的存在：



因此，通过提高植物根围的HCO₃⁻和OH⁻，使土壤和植物液汁中的PH值增加，从而导致植物的微营养素存在水平的下降。根据1863年出版的Liebig的“最小法则”（每一片土地包含有一个或几个最大的和一个或几个最小的营养物质。无论是石灰、氮、磷、钾、镁还是其他矿物质的最低水平都会控制农作物的生长。它调节并决定植物生长的数量和延续性。），任何营养素的缺乏将会减缓植物的生长的速度，降低作物的产量和质量。（Brown, 2004）。

为了达到生产高质量的食物产品这一目的，植物营养学家在过去几十年中进行了多个研究项目，列出了世界各地、不同地区所需的营养和所缺乏的营养，用于指导家畜和人类所需的营养组合。考虑到缺水、农作物种植地区的不同等因素，尽管我们已经拥有营养缺乏的参考数据，但为每个地区列一个不同的公式实在是太麻烦了，也是没必要的。所以，为了消灭可能的矿物质营养素的缺失，我们列出了通用的公式，供食品添加剂生产者使用。

植物、家畜和人类对微营养素缺乏的物理反映，尤其是对锌和铁的反应是非常相似的。图一和图二显示锌和铁的缺乏使得苹果树的树叶掉落，对动物和人类而言就是掉毛和脱发。（Oliver, 1997; Anonymous, 2000; Anonymous, 2001 and Malakouti, 2003）。



图1- 苹果树、牛和人缺锌的症状(Malakouti, 2003).



图2- 苹果树叶、牛(缺铁和铜)和人缺铁的症状 (Malakouti and Tehrani, 2005).

阿里-艾亚义(2001)指出, 在奎姆省提取的650份土壤样本中, 有91%的土壤每公斤含铁量不到5毫克; 76%的土壤每公斤含锌量不到1毫克; 62%的土壤每公斤镁的含量不足5毫克; 71%的土壤中铜的含量每公斤不足1毫克。在德黑兰省提取的882分土壤样本中, 65%的土壤含铁量每公斤不足5毫克; 63%的土壤中锌的含量每公斤不足1毫克; 30%的土壤中镁的含量每公斤不足5毫克; 28%的土壤中铜的含量每公斤不足1毫克。她还发现, 在科曼沙哈省提取的1238份土壤样本中, 有33%的土壤中含铁量每公斤不足5毫克; 73%的土壤中锌的含量每公斤不足1毫克; 23%的土壤中镁的含量每公斤不足5毫克; 3%的土壤中铜的含量每公斤不足1毫克。在格勒斯坦省提取的1062份土壤样本中, 她发现有22%的土壤中含铁量每公斤不足5毫克; 72%的土壤中锌的含量每公斤不足1毫克; 9%的土壤中镁的含量每公斤不足5毫克; 9%的土壤中铜的含量每公斤不足1毫克。因此, 通过逐省增加土壤中有机物质的含量, 土壤中微营养素缺乏的百分比除了锌以外全都下降了。很明显, 植物对微营养肥料的反映大幅度下降了。另一方面, 土壤有机质和微营养缺乏出现成反比。我们在全国各地的研究显示, 有机质在以上这些省份的中间值达到了0.69%, 1.03%, 1.62%和 2.29%。四个省的微营养缺乏绝对值分别为300, 186, 142和112。四个省的中有机质的中间值和为营养缺乏的绝对值的比例如图3所示。平均土壤有机质和微营养素缺乏绝对值的相关作用为-0.81 (见图4)

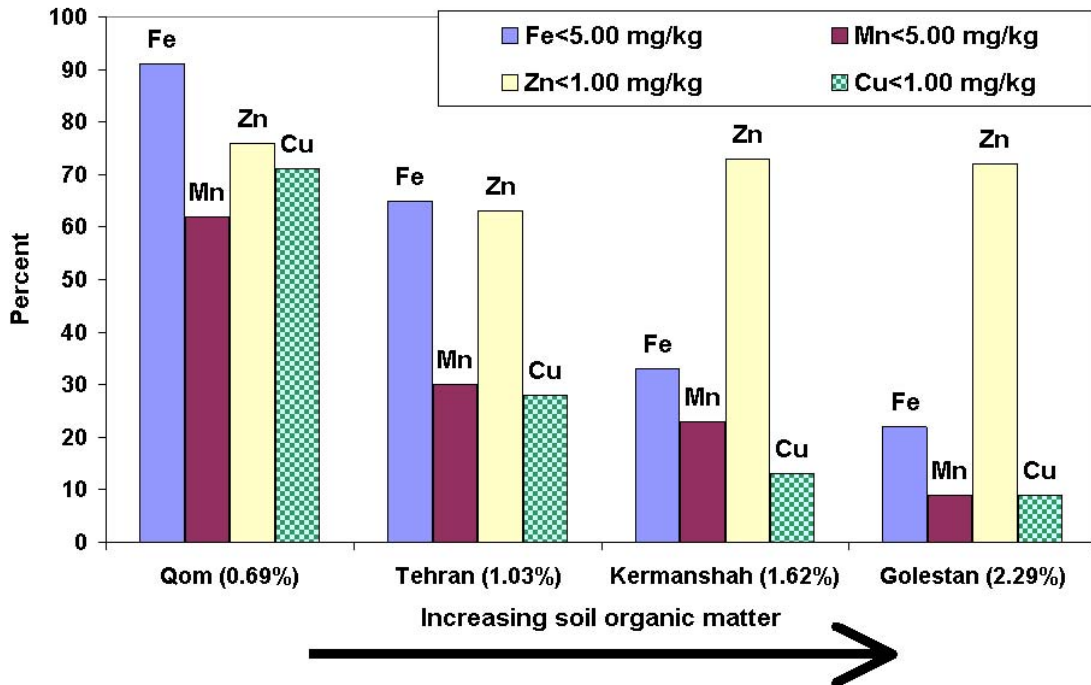


图 3- 土壤微营养素缺乏与有机质含量关联度趋势图.

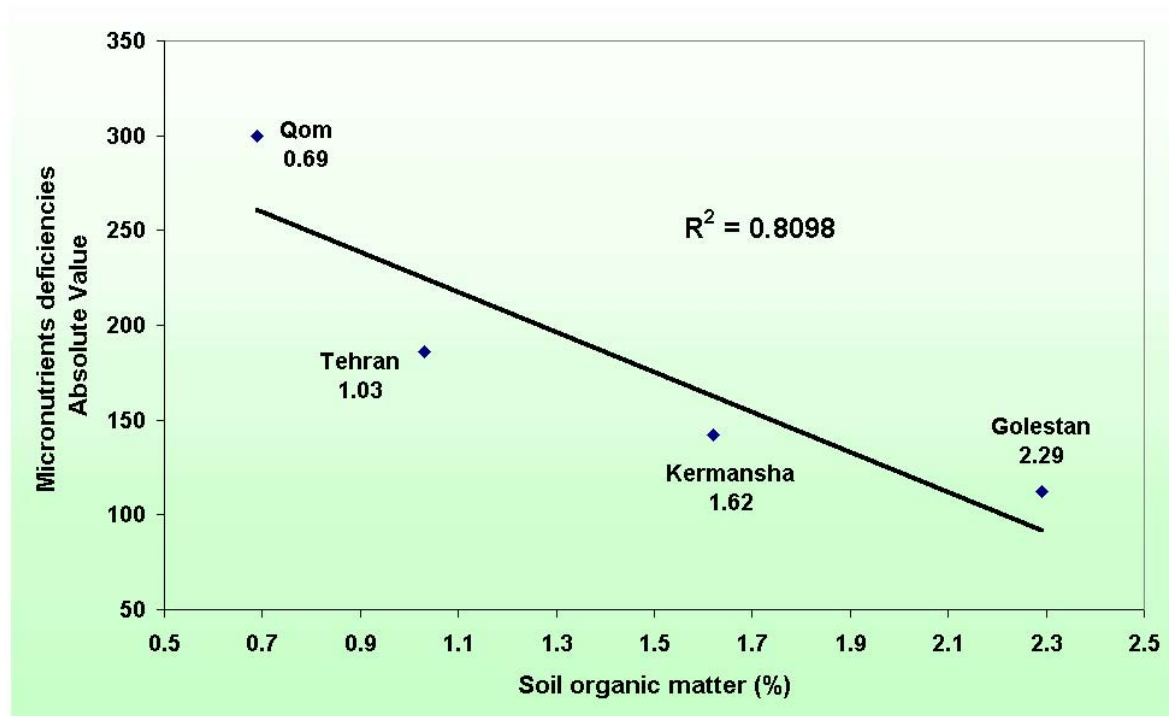


图 4- 四省份有机质中间值和微营养缺乏绝对值关系图。

通过微营养素提高农作物产量和质量

农作物、动物和人的身体对微营养素的要求是相当低的，这就是为什么它们被称为微量元素。但是，它们对于植物、动物和人类的生命细胞功能是至关重要的。缺失这些物质将引起植物产量和质量的不稳定，家畜和人类健康的不稳定。(Chakmak, 2001; Welch, 2003; Malakouti, 2003)

世界上对大多数植物施用的主要是氮、磷、钾肥（目前，每年营养肥的使用总量约为1.44亿吨，氮、磷、钾肥的使用量分别为8500万吨、3500万吨和2400万吨。微营养化肥使用量应当达到总量的4%，即576万吨，而实际每年的使用量还不到1%。）但是，微营养素缺乏在大多数情况下会被忽视，只有在某些地方由于长期缺乏营养使得土地资源枯竭、不断出现农作物营养缺乏症状和粮食欠收的情况下才会被引起重视。以这样的形式来调配营养成分以及一味地追求氮、磷、钾肥成分的结果，使全世界在过去的二十年间微营养素缺乏的想象越来越严重。出现这种情况的几个因素包括：1) 因精耕细作农作物而对微营养素的需求不端上升，2) 在含有低水平基本营养成分的土壤上提高农作物的产量，3) 不断增加高分析肥料的使用，4) 对动物粪便肥料，混合化肥以及农作物残渣的使用下降。研究人员发现，如果没有补充流失的营养成分而常年生产农作物，那么就会将土壤营养成分耗尽。虽然，微营养素被耗尽的数据是有限的（见表1），对氮、磷和钾肥的消耗的数据却是很说明问题的。在非洲，虽然大多数国家至少利用了一些多种营养肥，土壤中多种营养素的消耗程度正在不断扩大。由于在非洲大陆谋生的农民中基本上没有使用微营养素肥料，这种营养成分不平衡的出现明确预示着一个更为严重的土壤微营养素的消耗。（Brown, 2004）

在对15个国家作了广泛研究后，施兰帕于1990年指出，农作物收成的数据或土壤和作物的分

析数据，或两者的组合显示在伊拉克和巴基斯坦的实验场所，微营养素缺乏尤其是锌的缺乏，已经达到一定程度。在大多数严重锌缺乏的条件下，通过每公顷施肥12公斤，水稻的产量翻了三倍。施兰帕在1990年的发现，锌缺乏的现象要比六种微营养素中的其他成分的缺乏要普遍。估计在被调查的土壤中，几乎有一半土壤有锌缺乏的问题。出现这种情况最高的国家是伊拉克和巴基斯坦（几乎每一块土壤），其次是尼泊尔、土耳其和泰国。最低的国家是坦桑尼亚、芬兰、扎伊尔和赞比亚。他的这些发现与我们所发现的分析数据，尤其是伊朗的石灰质土壤情况是相当一致。锌缺乏的不断出现的部分原因可能是因为农作物更容易受到锌缺乏的影响。例如，水稻和玉米对上述许多国家来说都是十分重要的农作物，因而，他们经常会被选为试验作物。农作物对锌的反应差别很大。在某个极端的例子中，没有锌农作物竟颗粒无收，另外有一些地方，锌的使用并没有影响农作物的收成。但是，土壤和农作物中锌的含量已经低到一定程度，这种含量对动物来说已经出现营养问题。虽然我们对一些含锌高的土壤和农作物进行了测试，我们并没有获得锌对农作物有毒性的证据。15个国家的190种土壤中营养缺乏的比例见表一（Sillanpaa, 1990）。

表1：根据各地土壤现场试种作物试验，五个国家的190种土壤中各种养分缺乏的百分比 (Sillanpaa, 1990)

估计的缺乏度	养分(%)								
	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
急性	71	55	36	0	1	25	4	10	3
慢性	14	18	19	3	9	24	10	21	12
总量	85	73	55	3	10	49	14	31	15

^a 土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有变现出来。

为了农业种植的可持续性，容忍急性或者慢性（隐性缺乏）缺乏症状是极其不明智的。因为在这种情况下，就算马上使用肥料仍然可能减产至少30%。请注意表格1中的数据，以及伊朗的土壤比较高钙质，而且更加缺乏多种养分这一事实，所以我们应该在几乎所有田地中施用微营养肥料。能引起作物减产15%的养分缺乏可能没有任何能觉察到的标志（见图5），只能通过叶片分析才能确定。所以，为了防止减产而使用肥料就变得更加急迫。土壤和作物分析也能够作为纠正微营养缺乏的基础。由于施用微营养而增加产量的百分比主要取决于栽种的品种（效率高的品种还是效率低的品种）、土质、气候、以及土壤中有机的含量。有的土壤养分含量低，但是由于其它制约因素或者试种作物的耐缺乏能力，表现不出来，所以将表现出慢性养分缺乏。不同栽种品种在吸收养分方面不同的反应可以分为四种：高效率有反应（E-R）；低效率有反应（IE-R）；高效率无反应（E-NR）；低效率无反应（IE-NR）。图5和图6显示植物组织中的养分浓度和植物产量的关系，两幅图告诉我们减产的原因是隐性养分缺乏，而这种隐性缺乏只有化学分析才能检测到 (Malakouti *et al.*, 2006)。

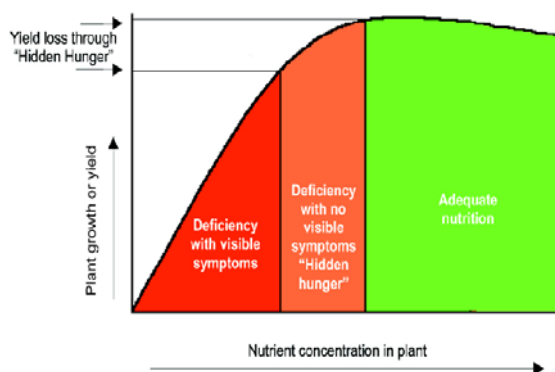


图 5-植物组织中的养分浓度和植物产量的关系，同时“隐性养分缺乏”

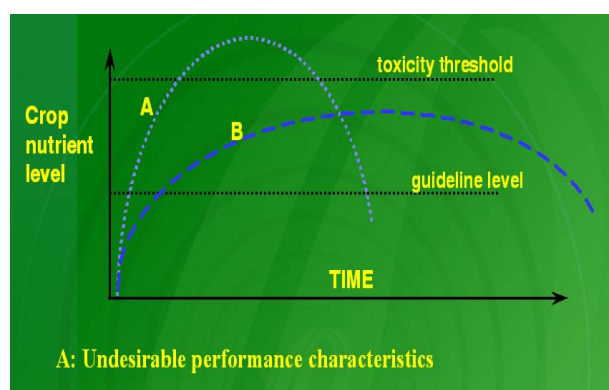


图 6 – 植物组织中 A) 不好的和 B) 好的养分分布图形线形图。

于1995-96年在伊朗境内进行了一项在815种灌溉小麦田的大规模研究，目的是为了衡量微营养在麦子增产方面发挥的作用。可以从图2中的产量看出，增加施用Fe, Zn, Cu, B 或者复合Fe+Zn+Cu+B等几种措施的任何一种，以及大量元素NPK 的增加都能提高谷物产量。最高的产量增加是通过增加复合微营养结合NPK一起使用(Malakouti, 2000)。

表2 - 815种田地中由微营养增加施用对平均小麦谷物产量的影响

措施					
NPK	NPK+Fe	NPK+Zn	NPK+Cu	NPK+B	NPK+Fe+Zn+Cu+B
谷物产量 kg.ha ⁻¹					
4,600	5,000	5,055	4,900	4,800	5,100
产量增加(%)	9	10	7	4	11

^a土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有变现出来。

如果仅在高钙质土壤中增加一种微营养，Zn则是改进产量的最佳选择。1996-97年在433个灌溉麦田中实施一项类似的实验也显示对大量使用的肥料（NPK）增加施用Fe或者Zn产量也会增加（见图3）。微营养的增加谷物产量的效果于1997-98在伊朗的331个麦田中被重复出来，在这些麦田中，同样显示在灌溉条件下向大量使用的肥料中增加微营养能提高产量（见表4）。假设谷物和麦秆中微营养的浓度也随着产量增加，可能是太阳的原因，否则谷物的产量的增加将会比实际增加的吨数还多。在Karaj地区于1996年做的一项关于微营养改善小麦产量的试验显示，小麦每公顷产量从3910公斤增加到4926公斤，也就是增产26%(Malakouti, 2000)。1996-1997年Majidi 等人评估了硫化锌对天雨型麦田的增产的影响。他们成功地将每公顷产量从1135公斤（农民的传统方法-对照组）增加到1241公斤，他们的方法是在农民平时的大量肥料中添加硫化锌。这项试验中的增产比例是9%。

表3：由于平衡施肥两个不同年度中平均谷物产量

年度	麦田数量	NPK	NPK+Fe	NPK+Zn
1996-97	433	4,583	4,906	4,989
增产百分比 %		-	7	9
1997-1998	331	4,319	4,498	4,564
增产百分比 %		-	4	6

^a土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有变现出来。

Bybord, Javaheri, Valinejad, Ramazanpour和Ziaeyan 他们在不同地区对不同种类作物的研究中发现通过施用微营养肥小麦、稻子和玉米的产量都有所增加(Malakouti, 2004; Malakouti and Kavousi, 2004)。

表 4：由于增加微营养肥施用，在815块天地中，小麦、玉米、稻子产量上的影响

麦田号码	NPK (公斤每公顷)	NPK + 微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)	玉米天号码	NPK (公斤每公顷)	NPK + 微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)	稻田号码	NPK (公斤每公顷)	NPK + Zn (公斤每公顷)	产量增加 (%)
1	4,510	6,730	49	1	4,617	8,213	78	1	7,400	8,400	14
2	3,780	4,710	25	2	10,23	12,730	24	2	6,800	7,200	6

					0						
3	6,280	7,120	13	3	9,000	10,400	16	3	7,400	8,300	6
4	5,311	5,968	12	4	10,192	11,517	13	4	6,900	7,200	4
5	-	-	-	-	-	-	-	5	7,634	7,781	2
6	-	-	-	-	-	-	-	6	8,455	9,198	9
7	-	-	-	-	-	-	-	7	7,549	8,076	7
8	-	-	-	-	-	-	-	8	4,494	4,803	7
9	-	-	-	-	-	-	-	9	7,962	8,340	5
中值	7,970	6,132	25	-	8,510	10,715	33	-	7,177	7,700	7

^a 土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有显现出来。

Rezaee 等人在他们的研究中发现施用微营养的方法能提高低酸油菜 (canola) 的产量 (Malakouti, 2004)。

表5：受Fe和Zn肥料对低酸油菜平均产量的影响

试验点号	NPK (公斤每公顷)	NPK + Fe (公斤每公顷)	产量增加 (%)	试验点号	NPK (公斤每公顷)	NPK + Zn (公斤每公顷)	产量增加 (%)
1	2,051	2,578	26	1	3,221	3,513	9
2	1,043	1,437	38	2	2,467	3,169	28
3	2,403	3,221	34	3	1,409	1,579	12
4	3,036	3,694	22	4	2,243	3,816	70
5	2,831	3,334	18	5	2,051	2,578	26
中值	2,273	2,853	28	6	2,278	2,931	29

^a 土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有显现出来。

表6：Mn和B肥料对低酸油菜平均产量的影响

试验点编号	NPK (公斤每公顷)	NPK + Mn (公斤每公顷)	产量增加 (%)	试验点编号	NPK (公斤每公顷)	NPK + B (公斤每公顷)	产量增加 (%)
1	2,699	3,742	39	1	1,897	2,239	18
2	3,422	4,166	22	-	-	-	-
3	3,581	4,548	27	-	-	-	-
4	3,158	3,999	27	-	-	-	-
5	3,150	3,402	8	-	-	-	-
中值	3,202	3,971	25	-	-	-	-

^a 土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有显现出来。

Bybord, Ranjbar和Aref在不同地区的研究中发现施用微营养可以增加土豆、洋葱、芝麻的产量 (Malakouti, 2004)。

表7：增加微营养肥料对土豆、洋葱、芝麻平均产量的影响

土豆田号	NPK (公斤每公顷)	NPK + 微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)	洋葱田地号	NPK (公斤每公顷)	NPK + 微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)	芝麻田地号	NPK (公斤每公顷)	NPK + 微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)

1	28,800	40,700	41	1	35,000	39,500	41	1	1,433	1,795	25
2	35,000	39,500	13	-	-	-	-	-	-	-	-
中值	31,900	40,100	-	-	-	-	-	-	-	-	-

^a 土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有变现出来。

另一项在五个省实施的试验检测了在土豆和甜菜地中均衡施用肥料对产量的影响（平均每个省有20块地参加试验）。实验结果如表8所示(Malakouti and Tehrani, 2005)。

表8：增加微营养肥料对土豆、甜菜平均产量的影响

土豆田地号	NPK (公斤每公顷)	NPK +微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)	甜菜田地号	NPK (公斤每公顷)	NPK +微营养 (公斤每公顷)	产量增加 (%)
Semnan	29,000	32,000	10	Fars	6,497	6,561	1
Hamadan	41,500	46,500	12	Khorasan	4,230	4,545	7
Kerman	13,900	17,500	26	Arak	9,858	10,635	8
Karaj	16,900	22,100	31	Karaj	6,450	7,500	16
Ardabil	35,500	36,700	3				
中值	27,360	30,960	16	Mean	6,759	7,310	8

^a 土壤缺乏养分，但是由于一些制约因素或者试种作物的耐缺乏能力并没有变现出来。

Mousavi-Nik等人(Mousavi-Nik *et al.*, 1997)观测到种子中的锰含量在确定小麦成长速度上比土壤中的锰含量更加重要，种子中的锰的状态能够影响多种小麦的植物性部分的生长，其影响程度比土壤中添加的锰更大。尽管种子中大部分锰都在小麦的死细胞中，细胞中只有23%的锰在胚芽和胚乳中，但它们在决定种子的生长力、根系发展、芽分蘖的程度以及产量等方面起着比土壤中施用养分更为重要的作用（见图9）。

表9：由于种子中锰含量和土壤中锰浓度不同所影响的小麦产出的干物质之间的比较(Mousavi-Nik *et al.*, 1997)

措施	Mn状态	总重量 (毫克/盆)	产量增加(%)
土壤中存在的Mn	低	663	27
	高	840	
种子Mn含量	低	327	260
	高	1,176	

通常认为千粒重指数是有基因决定的，小麦这方面的参数不会受到养分管理的影响。在1996-98年，这种认识在温室和田地中得到了测试(Malakouti *et al.*, 2005)。结果发现均衡用肥使粒重指数从44.0克增加到48.4克（17%的增长），谷物产量从7.1克/盆增长到8.3克/盆，增长了10%，在温室试验中在 $\alpha=1\%$ 等级上很显著。田地试验也显示由于均衡用肥，产出中值从4353公斤/公顷增加到4640公斤/公顷，并且千粒重指数从38.49克增长到38.94克(Malakouti *et al.*, 2005)。在140块田地中对不同的小麦品种均衡用肥，引起谷物平均产量和平均千粒重指数的效果如图10和图11所示。

表10：在温室试验均衡用肥在谷物平均产量和平均千粒重指数上产生的效果（平均25块田地做了三次重复）

田地号码	谷物产出 (克/盆)		相对增长 (%)	千颗种子重量 (克)		相对增长 (%)
	对照组	实验组		对照组	实验组	
平均值	7.1	8.3	17	44.0	48.4	10

表11: 在多个省份的140块田地中进行的为期两年的试验中, 均衡用肥试验均衡用肥在每公顷谷物产量和平均千粒重指数上产生的效果

地区	谷物产出 (公顷公斤)		变化(%)	C.V. (%)	千颗种子重量 (克)		变化(%) ***	C.V. (%)
	对照	处理后			对照	处理后		
Fars	3904	4476	14.5**	17.29	37.73	36.75	-2.6 ^{ns}	6.12
Hamadan	5496	6418	16.8**	7.63	36.07	37.21	+3.2**	2.38
Illam	4428	4565	3.1	6.50%	36.36	36.86	+1.4**	1.41
Esfahan	5843	6287	7.6**	11.50	40.97	42.26	+3.2**	7.05
Khuzestan	2546	2555	0.4	9.52 ^{ns}	34.91	34.71	0.6 ^{ns}	4.30
Tehran	4480	4835	7.9**	10.19	47.33	47.22	-0.2**	1.63
Zabol	2800	2877	2.8	22.69 ⁿ _s	37.87	37.73	-0.4 ^{ns}	10.22
Semnan	4705	4448	-5.5	12.99 ⁿ _s	43.87	41.88	-4.5*	6.69
Yazd	3698	4500	21.7**	13.52	40.61	40.97	0.9	5.16
Varamin	5200	5925	14.0**	3.73	40.87	39.87	-2.5 ^{ns}	4.74
Kordestan	5023	5387	7.3**	9.81	33.31	33.99	2.0 ^{ns}	5.43
平均	4353	4640	6.6**	10.77	38.49	38.94	1.2**	5.51

* 5%左右的明显区别; ** 1%左右的明显区别; *** 田地研究中千颗重量指数下降的主要原因是有一些省份存在诸如土壤盐度的问题-试验组之间没有明显区别。

在1998到99年期间在德黑兰大学 (Tehran University) 的田地和温室中, 1999-2001年卡拉季土壤和水研究所 (Karaj Soil and Water Research Institute) 的田地和温室中开展了一项研究用锌强化小麦种子对缺乏锌的土质中的小麦产量和质量影响的试验。田地和温室试验显示锌强化的小麦作物的种子产量、总产量, 千颗重指数、种子的蛋白质含量, 以及种子、谷糠、面粉中的锌含量明显增加。G₁Zn₀ 中的蛋白质含量是6064公斤/公顷, 占12.38%, G₂Zn₃ 中的相关数据是6883公斤/公顷, 占14.17%。换句话说, 在类似的田地条件下, 强化种子增加谷物11.9%的产量, 增加12.69%蛋白质成分。同样, 为期两年的试种显示, 强化种子的平均产量比对照组高。所以, 尤其在肥力差的土地上, 强化种子对改善小麦产量的作用和对对照组比较十分明显。这项观察强调强化种子在缺乏锌的高钙土质中的优越性(Malakouti *et al.*, 2005)。

普通种子每盆的谷物产量为5.47克, 而强化种子则为5.47克, 由于强化产生的增长为6.58%。以20毫克每公斤的浓度施用锌可以达到比对照组高19.3%的产量。种子强化引起2.8%的千颗重增长, 以Zn₃ 和强化种子结合的效果是10.45%的增长, 这意味着施用锌和施用强化种子互相起到正面作用。

一般种子的平均谷物产量是6233公斤/公顷, 而强化种子则达到6540公斤/公顷, 所以强化使产量增加307公斤/公顷, 也就是4.92% (见表12)。Zn₀ 种子的平均产量为6162公斤/公顷, Zn₃ 种子的平均产量为6624公斤/公顷, 增长462公斤也就是7.5%。强化种子和Zn₃ 结合使用的效果是谷物产量增长837公斤也就是13.84%, 这意味着锌强化种子和施用锌产生了正面互动。也就是说, 种子强化导

致作物对施用的锌能更好的利用。如果在没有施用新的土壤中一般种子的表现比较，施用锌的土壤中的强化种子的增长十分可观。

表12： 种子强化和施用锌在谷物产量上的效果

Zn 种子 (公斤/公顷)	0	5	10	20	Ave.
正常 (公斤/公顷)	6046 G	6218 F	6303 DE	6365 DC	6233 B
强化的 (公斤/公顷)	6276 EF	6390 C	6611 B	6883 A	6540 A
一般的 (公斤/公顷)	6162 D	6304 C	6457 B	6624 A	6358

*平均值是根据锌的水平、种子、和种子x Zn分组的

在养分极其缺乏的情况下，产量增加可以达到100%(Sillanpaa, 1990; Malakouti, 1996)。在 Kohgilouyeh 省和 Boyerahmad省，通过增加锌肥小麦、稻子和葡萄分别产量从3,220、4,697和 10,540提高到4,117、7,508和19,040公斤/公顷 (分别提高28%、60%、和81%)。但是，一般情况下，小麦、稻子、玉米、土豆和洋葱、和油菜籽的平均产量分别增加10%、30%、25%、以及 15% (见图7)。

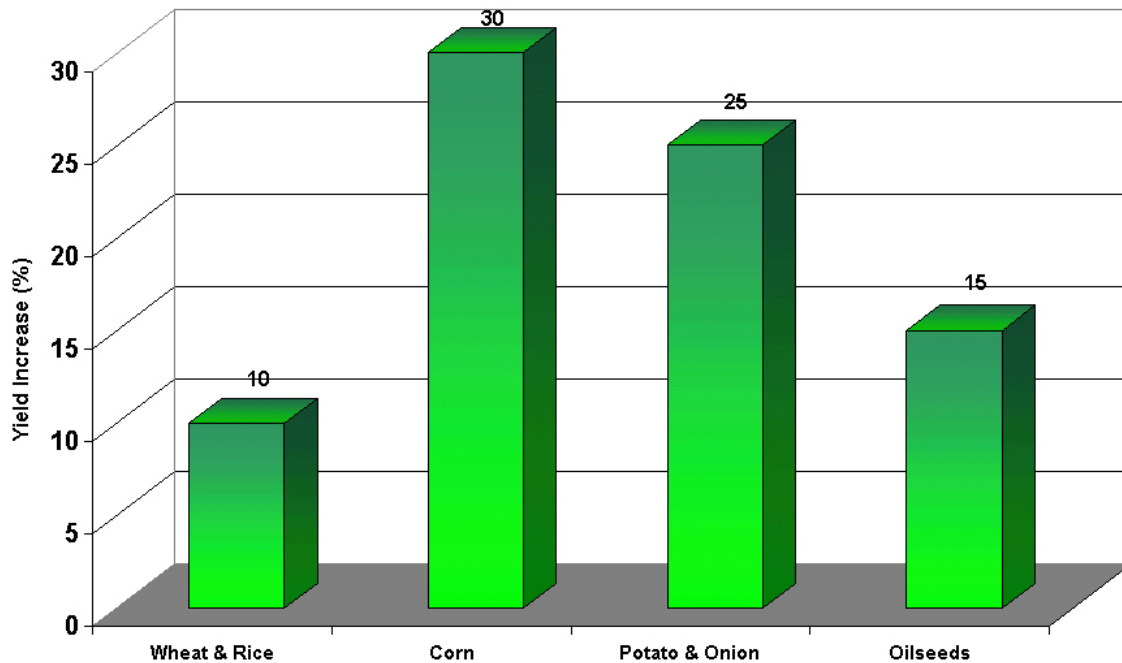


图7： - 在钙质土地中，由于施用微营养肥产生的高于预期作物质量和产量增长的平均产量增加(Malakouti, 1996; Malakouti, 2005)

换句话说，对有微营养缺乏问题的土地施用微营养肥已经被认为和谷物、玉米、高粱、豆类、牧草等作物的产量和质量相关，并且能改善家畜和人类的健康状况。

利用微营养肥改善化肥使用效率

微营养肥在相当大程度上可以提高产量、提高大量元素肥料的使用效率以及农民的经济回报。不同作物的化肥使用效率（FUE）能在使用微营养肥的情况下提高到25 (kg/kg)。为了使化肥使用效率在作物生产中最大化，我们建议在石灰质土壤的测试值基础上施用微量元素肥。例如，根据表8的数据，微营养肥带来的平均产出增长率是16%（不同省区土豆平均产量从27,360增长到30,960 kg.ha⁻¹）。假定微营养肥的施用率为每公顷50公斤，化肥施用效率将为72 kg/kg。尽管微营养肥使用了，NUE和NARF的值也增加了。因此，对作物进行平衡施肥看来是更符合逻辑的。我们实验得出的数据显示，总的说来T₂在每个地方都是最合适的。平衡施肥下谷物产量（在14个省区里）和农艺学效率的平均值在表13中得到了体现。与谷物产量一样，NUE和NARF的最高值也是通过T₂得到的。在大多数试验点，最大的恢复率都是通过T₂得到的。除了产量在使用T₂时能够增长12%之外，NUE能够增长到15 公斤粮食/公斤 N，NARF的值能够改善36%。

表13： 在22个试验点中平衡施肥(T₂)在提高小麦平均产量、NUE以及NARF中的优势

措施	T ₁ = 对照	T ₂ =平衡施肥
小麦谷粒		
产量 (kg.ha ⁻¹)*	4,160 B	4,674 A
蛋白质 (%)*	11.66 A	12.01 A
NUE (kg.kg ⁻¹)	8.8 B	12.2 A
NARF (%)	23.2 B	31.6 A

* LSD for yield=346 kg.ha⁻¹ and protein= 0.82%

能够使NUE和NARF值提高到25 kg/kg和50%的管理措施分别包括交叉种植以及在高NARF情况下利用作物多样性，使用种植叶状作物所推荐的最小耕种指导方针，施加合适的微营养肥料以及采用叶面喷洒以保证有效施肥和按时施肥。平衡施肥不仅是改进谷物产量的有效手段，也能促进化肥恢复率。在不同有机物、纹理质地、盐度、气候条件下对土壤所作的研究表明：在不同的情况下，使用微营养肥都有良好的效果。

对作物进行平衡施肥能够使经济回报有明显的增长。在不同有机物、纹理质地、盐度、气候条件下对土壤所作的研究表明：在不同的情况下，平衡施肥都会使作物种植者收入明显增加。

[结论]

土壤是动态的生存系统，它的物理化学属性决定了食物及纤维生产的水平和地球生态系统的平衡。土壤质量、土壤健康以及持续的农业将决定我们的环境质量，从而决定动植物以及人类的健康。因此，土壤健康的改善应当借助涵盖土壤系统各个方面的合理的管理以及实际的决定，但是如果只是采取一系列单向管理措施比如只考虑作物生产的话，土壤健康是势必要恶化的。

石灰质土壤在中东国家是很普遍的，这种土壤有很高的 pH 值(7.6-8.3)，而且有机物含量很低（低于 1%）。因此，作物中微营养的含量比平均水平要低。降水量稀少更是加重了该地区微营养缺乏的状况。种植在石灰质土壤中的植物患有微营养缺乏症，这就是为什么在这种土壤中种植的 80% 的作物其微营养聚集度比警戒水平要低。很重要的一点就是食用这种作物的人大多都患有细胞饥饿症。

在微营养中，锌缺乏症看来在全世界范围内的农业产品中最为广泛存在，尤其在干旱及半干旱的沙土及高 PH 值地区。导致食物中锌缺乏症的另一个因素就是磷肥的过度使用，这妨碍了作物根部对锌的吸收。不同作物种类在从贫乏土壤中吸取锌的能力是不同的。正如前面指出的，体内对锌的吸收不仅仅在于锌的摄取率，同样取决于其它影响该营养吸收的化学物质存在的水平，如植酸就会影响锌的吸收。

从对动植物及人类微量元素缺乏的反应和不适的研究结果来看，微量元素在维持动植物及人类的生理平衡方面的作用已经日益明显。微营养尽管在人体内以很小的量出现，但是对于生命来说它们是很重要的，它们使动植物及人体内上百种酶运作起来。我们可以说没有微营养我们就不能存活因为它们帮助合成DNA和RNA，促进碳水化合物、脂肪、蛋白质以及酒精的新陈代谢，而且在二氧化碳的释放方面起着重要作用，并且优化维他命A和免疫系统的功能。

在土壤或叶面施用微营养肥来改善作物使用部分的营养缺乏状况只在短时间内有效，而且需要每年或每2到3年施用一次。作物微营养的营养状态改善也对抵抗疾病和增强幼苗活力很有利，缺乏微营养的作物更容易患上 **pathogenic fungal root diseases**。

微营养的缺乏会阻碍植物的生长并影响作物产量，尤其是石灰性土。结果表明平衡施肥与the thousand kernel weight的增长有明显联系，这将带来谷物生产17%的增长率。超过1000个农场的实地测试表明平衡施肥非常有助于作物生产。因此，我们可以得出这样的结论：富含营养的种子可以促进作物生产、谷物蛋白质含量以及微营养的聚集，从而培养出更强壮的幼苗。而更强壮的幼苗能够吸收更多的微营养，从而改善作物质量和产量。我们的研究也表明微营养同样也在一定程度上保证了大量营养素的有效使用。

[鸣谢]

作者在此特别感谢H. Amirmokri先生、S. Ardakani博士、M. Nafici先生以及Soil and Water Research Institute的所有成员所提供的支持，还有感谢R. Mahmoudnia先生、P. Ghaffari先生和Sh. Asadzadeh女士帮助我准备了这篇论文。

References

1. Ali-Ehyaee, M. (2001). Producing soil micronutrients distributions maps for 4 different provinces (Kermanshah, Qom, Tehran and Golestan). Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization-Agricultural Commission, National Council for National Scientific Research. Tehran, Iran.
2. Alloway, B. J. (2004). Zinc in soils and crops nutrition. International Zinc Association (IZA). Brussels, Belgium.
3. Anonymous. (2000). Micronutrient and human health: Recent scientific advances and implications for public health programs. Stockholm, Sweden. www.Micronutrient-health.org.
4. Anonymous. (2001). Effects of Micronutrient on human health (Abstracts). Iranian First Seminar on the Effects of Micronutrient on the Society Health. Ministry of Health, Education, and Medicine, Tehran, Iran.
5. Anonymous. (2001). National Conference on Micronutrient in human and agriculture. IZA-IMicronutrientG, New Delhi, India. <http://www.iMicronutrientg.ucdavis.edu/conferences>.
6. Brown, P. H. (2004). Principles of micronutrient use. IFA International Symposium on Micronutrient. New Delhi, India.
7. Cakmak, I. (2001). Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. pp. 4-7. In: W. J. Horst *et al.* (eds.). Plant Nutrition: Food security and sustainability of agroecosystems through basic and applied research. XIV International Plant Nutrition Colloquium. Kluwer Academic Pub., Hanover, Germany.
8. El-Fouly, M. M. (1996). Micronutrient with macro-effects: Results of Egyptian project: A new concept to fertilization leads to higher and better yields. NRC-GTZ, Cairo, Egypte.
9. Frossard, E., M. Bucher, F. Machler, A. Mozafar and R. Hurrel (2000). Review: Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plant for human nutrition. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80: 861-879.
10. Gibson, R. (1998). Inadequate intakes of Micronutrient in developing countries. Practical household strategies to reduce risk of deficiency. www.Micronutrient.world.org.health.
11. Graham, R. D., R. M. Welch, and H. E. Bouis (2000). Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. Advances in Agronomy, 70: 77-161.
12. Grusak, M. A. and D. Della Penna. (1999). Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 50: 133-61.
13. IFA. 2004. IFA International Symposium on Micronutrient: Macro-benefits from micronutrient for grey to green revolution in agriculture. International Fertilizer Industry Association, New Delhi, India.
14. Malakouti, A. (2003). An investigation in the extent of micronutrient deficiencies in some medical science students of Tehran University School of Medicine. M.D. Thesis. Tehran, Iran.
15. Malakouti, M. J. (1996). Sustainable agriculture and yield increase through balanced fertilization. Ministry of Agriculture .Karaj, Iran. 350 pp.
16. Malakuoti, M. J. (1998). Improving wheat yields and the consumers' well-being by using zinc sulfate at the wheat growing areas. Journal of Soil and Water Sciences (Special issue on balanced fertilization). Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
17. Malakouti, M. J. (2000). Balanced nutrition of wheat: An approach towards self-sufficiency and enhancement of national health "A compilation of papers". Ministry of Agriculture, Karaj, Iran. 544 pp.
18. Malakouti, M. J. (2002). Micronutrient is the forgotten mineral in plant growth and human health in the calcareous soils. Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science. pp. 1033. Bangkok, Thailand.
19. Malakouti, M. J. (2003). The role of zinc in plant growth and enhancing animal and human health. Regional Expert Consultation in Plant, Animal and Human Nutrition: Interaction and Impact, Damascus, Syria.

20. Malakouti, M. J. 2005. The important role of zinc in enhancing crop yield and improving human health. General Meeting of Third World Academy of Science (TWAS) 16th Alexandria, Egypt.
21. Malakouti, M. J. and M. A. Lotfallahi. (1999). The role of zinc on the improvement of the quality and yield of agricultural crops and the enhancement of people's health: Zinc the neglected element. Ministry of Agriculture. Karaj, Iran. 193 pp.
22. Malakouti, M. J. and M. H. Davoudi. (2003). Zinc in agriculture: A forgotten element in the life cycle of plant, animal and human. Horticultural Department. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Sana Publication Co. Tehran, Iran. 209 pp.
23. Malakouti, M. J. and M. R. Balali. (2004). Balanced fertilization towards sustainable crop production (A Compilation of Papers). Soil and Water Research Institute, Ministry of Jihad-e-Agriculture, Karaj, Iran.
24. Malakouti, M. J. and M. Kavousi. (2004). Balanced nutrition of rice. Department of Agronomy Affairs, Ministry of Jihad-e-Agriculture. Sana Pub. Co., Tehran, Iran. 611 pp.
25. Malakouti, M. J., Z. Khouzgar and Z. Khademi. (2004). Innovative approaches to balanced nutrition of wheat-A compilation of papers. Agronomy Department. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Sana Pub. Co., Tehran, Iran. 851 pp.
26. Malakouti, M. J. and M. M. Tehrani. (2005). Effects of micronutrient on the yield and quality of agricultural products: Micronutrient with macro-effects 3rd impression). Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran. 445 pp.
27. Malakouti, M. J., M. M. Tehrani, A. Ziaeyan, A. Majidi, J. Ghaderi, A. Bybordi, P. Keshavarz, M. N. Gheibi and G. R. Savaghebi. (2005). Effect of balanced fertilization on the weight of thousand seeds for different wheat cultivars the calcareous soils of Iran. XV International Plant Nutrition Colloquium (IPNC), Beijing, China.
28. Malakouti, M. J., M. M. Tehrani, G. R. Savaghebi, M. Lotfallahi, A. Ziaeyan, M. R. Balali, A. Bybordi, A. Majidi and M. N. Gheibi. (2005). The effect of zinc-fortified seed on improving wheat yield and quality. XV International Plant Nutrition Colloquium (IPNC), Beijing, China.
29. Malakouti, M. J., S. J. Tabatabaei and M. Kafi. (2006). Innovative approaches to the timely application of nutrients to plants. Horticultural Department. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Sana Publication Co. Tehran, Iran. 388 pp.
30. Malakouti, M. J., N. Karimian and P. Keshavarz. (2006). Innovative approaches to identifying nutrient deficiencies and optimal fertilizer recommendations 6th Edition), Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran. 230 pp.
31. Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. P. 890, New York.
32. Mousavi-Nik, M., Z. Rengel, G. J. Hollamby and J. Ascher. (1997). Seed manganese content is more important than fertilization for wheat growth under Mn-deficient conditions. Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment: 267-268.
33. Musaiger, A. O. and S. S. Miladi. (1996). Micronutrient deficiencies in the Arab Middle East countries, FAO Regional Office of the Near East (RNEA), Cairo, Egypt-FAO; Rome, Italy.
34. Oliver, M. A. (1997). Soil and human health: A review. European Journal of Soil Science, 48: 573-592.
35. Sillanpaa, M. (1990). Micronutrient assessment at the country level: An international study. The Government of Finland (FINNDA). Food and Agriculture Organizations of the United Nations. Rome, Italy.
36. Welch, R. M. (2003). Farming for nutritious foods: Agricultural technologies for improved human health. IFA-FAO Agricultural Conference, Rome, Italy.
37. WHO. (1996). Trace element intakes in human nutrition and health. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

38. Wuehler, S. E., J. M. Peerson and K. H. Brown. (2000). Estimation of the global prevalence of micronutrient deficiencies using national food balance data. *Micronutrient and Human Health (Abstracts)*. Stockholm, Sweden.