



H. MAGEN

国际钾肥协会，瑞士

摘要

2002 年全球 N: P₂O₅: K₂O 的消费比率已经由 80 年代的 2.5:1.3:1 变化到了 3.6:1.4:1, N 的消费量已经大大超过了 K 的消费量。发达国家并不在意养分消费量的降低, 农产品的产量仍保持适当增加。发展中国家农产品产量和养分消费量同样均呈正增长, 但发展中国家氮钾比率要比发达国家高 35%。

本文以印度、中国、埃及和保加利亚为例说明了 K 的施用呈负平衡的情况。K 施用呈负平衡的原因主要是由于农民缺乏肥料使用和社会经济学等知识。长期 K 施用呈负失衡会导致土壤肥力的下降甚至减产。

平衡和适时的施用养分需要考虑当地的气候系统等多方面因素。长期实验和在教育方面的集约投资对平衡施肥的效益起到重要作用。有机农业中施用的养分也许不能满足农作物产量和及时性的要求, 并且有可能导致土壤养分的矿化和污染。农民将通过减少害虫和疾病进而减少污染而获益, 并通过优质、高产而获得高回报。一些地区高投入的养分管理模式, 使得东南亚农民丰收高产、收入增加。

施肥不平衡有多普遍?

由于 N 的消费量已经超过了 P 和 K 的消费量, 使得全球 N: P₂O₅: K₂O 的比率已经由 80 年代的 2.5:1.3:1 增加到目前的 3.6:1.4:1。事实上, 自 1980 年以来, 农产品的产量在发达国家变化甚微, 而在发展中国家增长显著 (见图 1)。这种增长由于大量施肥而一直保持着。实际上, 发达国家和发展中国家有着相同的生长模式 (见图 2)。

从农产品与养分利用的增长趋势中可以看出, 在过去的 25 年间, 主要农作物及肉类产品的增长率在发达国家每年的变化范围在 0.2%-3.4%, 而 N、P₂O₅ 及 K₂O 的消费量每年分别减少了 0.8%, 3.0% 及 2.8% (表 1)。然而, 在发展中国家, 农作物和肉类产量及养分消费都有所增加。产量从 1.9% 增加到 6%, 年消费 N、P₂O₅ 及 K₂O 的增长率分别为 3.8%, 4.1% 及 5.8%。(表 1)

这些变化导致了发展中国家的 N: P₂O₅: K₂O 比由 1980 年的 6.2:2.6:1 增长到 2002 年的 4.3:2.5:1, 可以看出 N 与 K 的施用比率加大了。然而发展中国家与发达国家仍然有一个较大的差距。在发达国家, N 的消费量是 K₂O 的 2.8 倍, 而在发展中国家这一数字为 4.3。

表 1: 发展中国家与发达国家主要农产品产量及增长率与平均养分消耗 (1980-2004)。

农作物 / 因素	发达国家			发展中国家		
	1980	2004	年平均增长率	1980	2004	年平均增长率
	Million ton			Million ton		
谷类	783.7	990.7	1.4	766.2	1,273.3	2.2

水果蔬菜类	271.8	301.2	0.5	355.6	1,067.9	4.7
根茎类植物	184.4	182.7	0.2	337.8	532.7	1.9
豆类	51.1	91.6	3.4	29.9	112.7	6.0
肉类	89.7	81.6	0.8	47.0	150.6	5.0
养分消耗 (%)			N= (0.8)			N= 3.8
			P ₂ O ₅ = (3.0)			P ₂ O ₅ = 4.1
			K ₂ O = (2.8)			K ₂ O = 5.8

(来源: FAO <http://faostat.fao.org/faostat/collections> , 2005 年 11 月最新更新).

尽管农作物的养分需求有差异,但除了水果、蔬菜 K 的流失量超过 N 以外,其它作物 N 和 K 的流失量是一样的。N 和 K 的在土壤中的供应量也是有差异的,这主要依赖于土壤的有机物质、土壤结构、矿物成分及气候。政策因素也影响养分消耗,对某一养分的较高补贴政策无疑会导致该养分消费量的增加。但农民使用多少 N 和 K 最终取决于他们的知识背景。市场条件、产量期望值及气候条件将影响农民的短期决定。而他们的知识水平及教育背景将影响他们对保持土壤肥力以及长期施用养分所做出的决定。

农作物养分不平衡结果

本文列举四个不同国家 K 负平衡的例子。在印度,恒河平原土壤中 K 养分正在缓慢持续减少,并导致产量的下降。在中国,许多地区由于土壤风化和对 K 的补给不足,同时由于 N 和 P 施用量的增长导致了巨大的 K 负平衡。在埃及,高产的水田特别是低肥力土壤导致了严重的 K 负平衡。在保加利亚,一个最近更新的农业门户及区域性养分平衡评估报告也显示出土壤肥力衰减。

印度

印度矿物肥料的施用量几乎翻了三翻,由 1980 年的 550 万吨上升到目前(2002 年)的 1510 万吨,而其中 K 施用量不足 10%。同时,在 1980 年至 2004 年间,谷类产量的增加也很显著,由 1.405 亿吨增加到 2.334 亿吨。水果蔬菜在此期间也翻了一番,由 5630 万吨增长到了 1.277 亿吨。目前的肥料利用率能支持如此大的产量并维持养分系统平衡吗?

Yadvinder-Singh 等人在 2004 年就在印度恒河平原典型农作物——稻谷和玉米的循环种植进行了研究,研究了有机养分的输入对产量和土壤肥力的长期影响。经过 70 年代及 80 年代早期的高速增长后,这一地区的产量要么停滞要么减少(Yadvinder-Singh *et al.*, 2004)。在印度谷类产量最大在西北部地区(3953Kg/ha;Fal,2005),该地区虽然得到了最大的养分(368Kg/ha)补充,但由于缺少 K,谷类产量大约只增长了 10Kg/ha(FAI, 2005)。从 K 的消耗与补充的平衡计算中看到,在过去的 12 年间, K 的负平衡值一直在-932 到-1810Kg/ha 之间变化,这主要依靠谷物产量和农家肥料的补给(FYM)(图 3)。

通过有机物补充 K 似乎是有意义的。然而这种补给不足以补充 K 的消耗。平衡计算显示出 90 公斤/公顷/年的肥料对两种农作物(玉米和稻谷)已经足够,显示的净平衡是零。

负平衡可以导致土壤中可交换 K (K_{ex}) 的减少。图 4 表明在+150N 和无 K 处理控制之下的长期影响。与 FYM+150N 相比,只有大约 30%可交换 K 减少,这只是一个很小的减少。

专家评论:“从养分长期循环看,目前所推荐的钾肥所含的 K 和 P 是不够的。”并且他

们排除了产量减少的原因是土壤中有机物质减少的可能性。最后专家们得出结论，土壤中可得到的 K 的减少及气候的不利变化也许是产量减少的原因。

中国

2005 年 Shen 等人对中国农业生态系统中 N、P、K 根据时间和空间变化做了描述。他们对肥料及有机物质（来自农作物残渣和人畜的粪便等）中带入的养分进行计算，并与因农作物产量而带走的养分相比较。从各省计算出的平衡值能代表整个中国主要生态系统。

另有作者(Peng 等, 2005; Cui 等, 2005)报道，在中国几乎所有地区都存在相当大的 N 和 P 的正向平衡。与之形成强烈的对比的是，中国几乎所有的省都存在 K 的负平衡（图 5），并且这种情况在上海、江苏、浙江、北京和新疆尤为严重，K 负平衡已达 72 公斤 K/公顷/年(Shen 等, 2005)。

在新疆和北京单用肥料补充 K 似乎是 K 缺失的主要原因。不过，东部省市的 K 负平衡是因为补充的 K 太少，但即使补充量相当大，由于农作物丰产带走大量的 K 及泥水流失以至于不能得到足够补充。另外在中国的东部及东南部 K 的负平衡范围在 48-72KgK/ha/year（图 5）。有趣的是，这些省补充了大量而过剩的 N，这更恶化了 K 的负平衡。

专家们论述了营养平衡的经济与社会因素。他们指出特别是中国北部人均农业总产值（GOVA）和农村劳动力人均收入（NIRH）与 K 的负平衡有相关性。社会与经济环境越差，K 的负平衡值就越高。这些发现论证了社会经济发展在养分平衡方面的重要作用。

埃及

因为在 Aswan 地区修了高高的水坝，阻止了尼罗河富含 K 的矿物质在农田的连续沉淀(Abdel Hadi, 2004)，所以埃及水田补充钾肥就变得非常重要。另外，尼罗河含高粘性的冲击土壤有较高的固 K 能力。这样，即使含有较高的可交换钾 K_{ex} 也不能满足各种农作物的需要(El-Fouly and El-Sayed, 1997)。且新开垦耕地（大约有 800, 000 公顷，占总的可耕地面积的 25%）是砂化和钙质的土壤，有机物、大量和微量元素含量比较低。(Abd El Hadi, 2004)。

用稻谷、玉米、水果及蔬菜在 2002-2004 年间的平均产量可以推算出 K 的移出量。每年大约有 25 万吨 K_2O 补充（保守的计算，只记入返回到水田的稻草和麦秆）却有 489, 650 吨 K_2O （只记入从水田中移出的稻草和麦干）被移出。

期间，埃及 K 的消费量（施入的 K 量）只有 5.7 万吨 K_2O ，(FAO, 2005)。这意味着 K 的负平衡在 18.3 万和 43.3 万吨 K_2O 之间，相当于钾施用量的 3-8 倍。这一计算结果对埃及 75%的耕地来说是有效的。

表 2: 埃及不同作物的平均耕地面积、产量、产率和钾移出量

农作物	耕地面积(千公顷)	产量 (千吨)	产率 (吨/公顷)	K ₂ O 移出量(吨) ⁽¹⁾	
				移出的稻草	留在水田中的稻草
大米	626	6,143	9.8	168,000	25,000
小麦	1,045	6,882	6.6	140,000	41,800
水果	443	7,447	16.8	66,450	66,450
蔬菜和瓜类	576	14,854	25.8	115,200	115,200

来源: FAO <http://faostat.fao.org/faostat/collections> , 2005 年 12 月更新

(1) 来源: K+S / 养分移出; 2005 年 12 月更新

http://www.kali-gmbh.com/duengemittel_en/TechService/NutrientsRemoval/graincrops.cfm

蔬菜和水果的产量是相当大的, 因此对它们来说, 施用 K₂O 非常有意义。我们估计目前在埃及这些农作物大约需要从土壤中移出一半的 K₂O (表 2)。将来, 随着在新开垦耕地上蔬菜水果产量的增加及新开垦地供 K 量的不足, K₂O 消费量将会更多。

保加利亚

80 年代中期保加利亚的营养元素消费量达到最高峰, 但 90 年代的中期和后期 N、P₂O₅ 和 K₂O 的施用量戏剧性地分别下降为顶峰时期的 20%, 0% 和 0%。在这一时期, 水果产量降低了 75%, 蔬菜降低了 30%, 谷类降低了 20%。

2005 年 Nikolova 计算了农场、地区和全国 K 的平衡水平。只有奶牛场出现 K 的正平衡 (145KgK/ha)。保加利亚有 7 个适合耕种的混合农场, 代表了保加利亚所有土壤的类型和地区, 它们由于补充的 K 非常少导致出现 K 的负平衡。作者断言, 这些地区年平均 K 的缺失量在 43-79Kg/ha 之间, 保加利亚全国 K 的缺失大约在 20 万吨 K/年, 与 90 年代相似。

在 1989-2002 年的 13 年间, 土壤中“低”K 出现的频率翻了一倍, 而“高”K 出现的频率由 71% 降到了 27% (图 6)。土壤长期处于 K 负平衡状态的结论是显而易见的。

平衡与养分的及时补充

下面的例子说明了校正营养不平衡体系的各种结论。它们包括: 1) 长期施肥; 2) 有机农业; 3) 平衡施肥对产量、质量及虫害的影响; 4) 平衡施肥对经济的影响。

长期观察

当使用钾肥不能得到短期经济效益时, 农民就会倾向于减少 K 肥的施用。农民会根据经济效益来决定肥料的施用。

在虫害严重的土地上种植三年棉花实验中发现, 使用 120-240Kg K/ha 的钾肥, 会使三年总产量增加 13% -21%, 而使用 480KgK/ha 的钾肥可使累积总产量增加 42% (Dobermann *et al.*, 2005; 图 7)。这一数据可能带有误导性, 因为与 1987 年相比, 1985 年施用钾肥产量增加非常少。另外, 在这三年中, 使用 480KgK/ha 的钾肥是增产的唯一代价。与使用大量的 K 相比, 如果不使用 K, 有机物质的减少以及现有土壤固 K 的原因导致三年产量下降。这一例子说明反复施用钾肥所带来的长期影响, 特别是在固 K 能力强的难耕作土壤上获得高产。

有机农业

有机农业已经被认为是提高农作物产量的有效办法。一些科学数据揭示了许多真实的问题并且从长期有机农业实践中得以论证。有机农业能与今天平衡施肥中大需要量和及时的养分供应相匹配吗? 21 年后有机农业的土壤肥力状态表明, 与已经施肥的土壤相比土壤中可获得的 K 显著下降。

在瑞士 Frick 的 *Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)* 长达 21 年的实验中比较了四个农业系统，这四个农业系统主要是在施肥和植被保护等管理上存在差异 (Mäder *et al.*, 2002)。四种基本的处理方法比较如下：两个有机系统（生物动力学和生物有机学）即每单位面积上施适量的农家肥；一个传统的系统，即用相同量的农家肥作为有机系统但另外加一些矿物肥料并达到瑞士人推荐的特殊的种植标准；另一传统系统是在第一个种植周期中不施除矿物肥料以外的农家肥。四种处理的结果表明冬小麦、马铃薯和三叶草的产量比非有机处理的产量高 20%。但与用 NPK 矿物肥料的正平衡相比，用有机肥处理的出现的是 K 的负平衡(-36 K₂O/ha)。虽然四个系统中均有 K 的负平衡，但与矿物 NPK 肥料(-108 kg N/ha)相比，有机系统负值最大(-173 kg N/ha) (图 8)。

其他相关报道也证实，奶牛场的正营养平衡主要是由于大量动物饲料导入养分造成的 (Öborn *et al.*, 2005)。

从有机资源中及时补充养分是复杂的。N 的补充高度依赖于有机矿物质，这些矿物质根据总 N 补给来评价，但实际上很难达到农作物在相应时间上对养分的需求 (Johnston and Poulton, 2005)。Dahlin 等人于 2005 年讨论从有机物质中提取 N。他们指出施用家禽肥料流失的 N 远大于施用硝酸铵肥料流失的 N(图 9)，而从硝酸铵流失的 N 又远高于从红三叶草流失的 N。显然，精确、适时、分期的施硝酸铵来补充 N 是有效的，作物得到的 N 将会多于从有机物质中补充得到的 N。

不过，从普通过磷酸钙 (SSP) 和用家禽垃圾生产的复合肥中补充 P 的利用效率是相等的 (Sikora and Enkiri, 2005)。当 P 加入水和肥料中时，施肥灌溉系统中使用的 P 的效率会更大 (Silber, 2005)。实际上，经常灌溉水和施肥，P 和 K 的利用率都是日趋增大的。

总之，有机农业也许会因为没有充足的营养补充导致土壤养分的矿化，并且可能会导致养分，特别是 N 和 K 的大量流失，而在奶牛场却不是这种情况。而适时和按比例的使用的矿物肥料就能增加养分的摄入同时减少流失到环境中。

对产量、质量及植被健康的影响

在 Punjab 地区养分的施用情况是高度不平衡的。在 2004 至 2005 年间，该地区消费了 156.2 万吨的养分，其中 N、P₂O₅ 及 K₂O 分别是 120、32 和 4.3 万吨。由于大量施用 N (282Kg N/ha) 与很少量施用 K (10Kg K₂O/ha)，使得 N:P₂O₅:K₂O 的比率变成 28:5:1，这是一种高度不平衡。为了评价 Punjab 这一地区 K 在一个传统农作物周期中的影响，IPI 已经发起了一个研究并在 KVK Bahawal Punjab 农业大学的扩大理事会开展活动。通过生长在 5 个地区农场砂质土壤上的传统农作物豌豆-向日葵-玉米种植轮作期田间研究中证实了 K 的影响。这一项目有一个具体的外延特征，并且包含了一个示范区，农民日常田间作业及区域文化。在这些试验中科学与外延同时具备是可能的。

三种农作物对 K 的反应是明显的，范围在 5%（豌豆，几乎不用 K）到 45%（向日葵，需要 90KgK₂O/ha）(图 10) 之间。K 的应用也带来如下收益：

- 在所有农作物种子的重量增加了 (图 10)
- 玉米和向日葵种子的饱满程度增加了 (分别为+25%和 11%)。
- 玉米的倒伏减少了 (-65%)
- 种子的“光鲜度”增加了

在 Madhya Pradesh 地区, 2004-2005 年度的养分利用是高度不平衡的, 消费量大约在 100

万吨，其中 N、P₂O₅ 和 K₂O 分别为 617723、393253 和 5296 吨。N:P₂O₅:K₂O 的比例也是高度不平衡的，为 11:7:1，K 的施用量相当低(3.7 kg K₂O/ha)。

在 Madhya Pradesh 地区，大豆的种植面积大约 4.5 百万公顷，其产量占印度总产量的 59%。在 2004 年，州农业部长宣布有 8 个区 10 万公顷的大豆已经全部被虫害毁坏。受影响的总面积大约有 100 万亩，占全州种植大豆面积的 25%。

较好的养分供给能减少虫害对农作物的攻击程度，并减少杀虫剂的使用量。IPI 和 IRRI 所做的众多实验结果表明，施 K 会减少由病虫害所带来的破坏。IPI 在 Indorein Madhya Pradesh 地区“大豆-小麦农作物系统中养分钾在肥力平衡研究”系统实验中证实了施 K 对大豆的影响 (IPI, 2005)。其中一个主要的影响就是施钾肥能减少病虫害的侵害 (表 3, 图 11)。

表 3: 施用钾肥对病虫害的影响

K ₂ O 的 使标准 (kg/ha)	虫害				病害	
	蓝甲虫 (金花虫)	钻心虫 (茎潜蝇.)	食叶虫	带状甲虫 (<i>Oberia brevis</i>)	裙腐病(由白 绢菌引起)	叶面漆斑菌
	mrl	% 感染	mrl	% 感染	% 死亡率	PDI
0	5.9	13.91	1.3	8.35	9.17	38.57
25	2	3.87	1	2.17	6.07	28.45
50	1.8	2.87	0.8	2.06	4.61	22.58
75	1.3	0	0.7	1.91	2.22	25.41

mrl = meter raw length; PDI = percent disease incidence (1-9 scale)

(来源: IPI 2005: IPI-ICAR 项目, 2004 年报).

根据农民水田观察得知，施用钾肥可减少 50%到 75%的病虫害的破坏，同时大量减少杀虫剂的使用。另外，施 K 可提高作物节结数和净重(分别为 60%-100%)并提高产量(35%) (IPI, 2005)。

Perrenoud 于 1990 年从查阅的近 2450 篇相关课题的文献资料得出结论，钾肥的使用能减少 70%由真菌引起的疾病，另外减少 69%虫害细菌疾病，减少 63%昆虫及螨虫病，减少 41%病毒。同时，钾能增加作物的产量并减少 42%真菌病虫害滋生，减少 57%细菌病，减少 36%昆虫及螨虫病，减少 78%病毒。Kafkafi 等人最近 (2001 年) 回顾了钾和氯对病虫害抑制的作用。钾肥可以通过其能改变寄主和寄生虫的生存环境的特殊代谢功能，最大限度地减少疾病(Huber and Arny, 1985)。

有许多相关的技巧可以被引用。包括 (1) 提高能阻止病原体侵入的水位，提高寄主的容忍度，使植物能更好的抵挡疾病。(2) 通过降低 NO₃⁻ (减少农作物的易感性)和抑制氮化物及增加土壤中 NH₄⁺ 及 NH₄⁺的摄取 (改善根周围环境) 来抑制病原体(Magen and Imas, 2004)。

减少和分期施用氮肥并适时增加磷和钾的使用，是较好的养分管理方法，它可以减少 50%的疾病并增加 12.5%的产量 (表 4)。菲律宾的定点养分专业管理 (SSNM) 工程的实验结果证实养分管理对植物健康的积极影响(Buresh *et al.*, 2005)。

表 4: 纹枯病强度下 N 管理的实时影响和 2001 年菲律宾 IRRI 湿季谷物的产量

N养分 管理	疾病发生率 (%)	谷物产量 (t/ha)
固定时间和比例	33 (6)	4.0 (0.8)
SSNM, 实时	21 (11)	4.5 (0.2)

括号中的值是纹枯病的强度。

(来源: Buresh et al., 2005).

平衡施肥经济学

水稻研究协会 (IRRC) 的“生产力最优化”(RTOP) 工作组已经组建, 工作组致力于开发、评价和提升定位养分专业管理 (SSNM)。他们将通过更有效的施用作物养分达到增加亚洲种植水稻农民的利润的目的。这一活动是通过孟加拉国、中国、印度、印尼、缅甸、菲律宾、泰国及越南的国家农业研究机构合作完成的。2005 年, RTOP 的活动进入 IRRC 新的第三阶段[Phase III(2005-2008)]“生产力与可持续性”工作组。他们使用叶子颜色图(LCC)证明氮养分管理的重要性, 通过增加氮的使用效率和产量证实磷和钾的需求量也是很大的。在考虑秸秆还田因素的情况下, 农田的 SSNM 图给出了推荐的钾肥施用量。

近年来 SSNM 经济学被分析利用。表 5 表明通过使用 SSNM 方法增加了所获得的纯利润。印度南部的农民增加的纯利达 47%, 而越南南部的这一数字为 4.25%。这一算法没有考虑附加利益即向挥发和流失等较小的 N 的损失, 这些将不会直接影响农民利益。

表 5: SSNM 和农民施肥实践 (FFP) 的年净收入对比 (2002-2003 两季作物总计)

地点	年净收入(USD / ha / year)		
	SSNM	FFP	Difference
印度南部	520	352	168 (+47%)
菲律宾吕宋岛中部	1,218	1,078	140 (+13%)
越南南部	834	800	34 (4.25%)

(来源: IRRI, 2005).

RTOP 工作组还得到了 IFA、IPI 和 PPI 的支持。

科学教育和推广活动是通过区域性的会议开展的。推荐的钾肥用量 (由当地推广服务机构确定) 与 SSNM 在印度南部的老三角洲的最新发现相匹配, 这反映了应该提高农民这方面知识。不过, 在新三角洲, SSNM 推荐的钾肥用量比较高 (表 6), 这需要在科研、推广中综合考虑农民的知识水平, 以期切实给农民带来的利益。

表 6: 印度南部 Cauvery 三角洲干季时 SSNM 推荐、当地机构推荐和农民实际使用的钾肥量对比

参数	K 施用量(kg/ha)	
	老三角洲	新三角洲
推荐使用	42	42
农民施用	21	37
SSNM 推荐	42	65

(来源: Buresh *et al.*, 2005).

结论

由于缺乏钾肥和为增产而限制使用的农作物残渣而引起的长期的钾的负平衡主要是由于钾肥是用量不足造成的,为了增加产量限制使用秸秆也是造成钾肥用量不足的原因,其结果是土壤肥力的恶化进而导致了作物产量下降。通常钾肥使用不足的原因是农民缺乏相关知识以及社会经济因素的影响。持续的从低价值农作物向高价值的园艺农作物的转化是纠正施肥不平衡的主要动力。

长期的各种施肥处理试验证明是有价值的,但这个过程是难以被短期实验所证实的。即使长期的试验也未必取得直接的经济结果,但长期试验对于食物生产可持续性是有利的,所以应该推荐使用。

养分的平衡和及时利用对作物产量持续增长和质量稳定提高、减少病虫害和减少环境污染是有益的。用矿物质肥料平衡养分能有助于有害物综合管理和减少虫病带来的损失并能节约成本。

平衡施肥而不是减少施肥能为农民产生较高的利润。教育和推广的作用是传递养分管理新知识的关键所在,这项工作挑战与希望并存。

参考文献:

Abdel Hadi, A.H. (2004). Country report on Egyptian Agriculture. A paper presented at the IPI workshop on "Potassium and fertigation development in West Asia and North Africa region". Rabat, Morocco, 24-28 November.

Buresh, R.J., C. Witt, Alam, M.M., Ramanathan, S., Chandrasekaran, B., Laureles, E.V. and M.I. Samson. (2005). Site-specific nutrient management for rice: principles and implementation. *In: Plant nutrition for food security, human health and environmental protection*. 15th Int. Plant Nut. Coll. (IPNC). Beijing, China. pp 1062-1063.

Cui, Z.L., Chen, X.P., Zhang, F.S., Li, J.L., Xu, J.F. and Shi, L.W. (2005). Nitrogen fertilization recommendation for winter wheat / summer maize rotation system towards high yield friendly environment. *In: Plant nutrition for food security, human health and environmental protection*. 15th Int. Plant Nut. Coll. (IPNC). Beijing, China. pp 1178-1179.

Dahlin, S., Kirchmann, H., Kätterer, T., Gunnarsson, S. and L. Bergström. (2005) Possibilities for Improving Nitrogen Use From Organic Materials in Agricultural Cropping Systems. *AMBIO*; Vol. 34, No. 4, pp 288–295.

Dobermann, A., Cassman, K. G., Walters, D. T. and C. Witt. (2005). Balancing short – and long-term goals in nutrient management. *In: Plant nutrition for food security, human health and environmental protection*. 15th Int. Plant Nut. Coll. (IPNC). Beijing, China. pp 60-61.

El-Fouly, M.M. and A.A. El-Sayed. (1997). Potassium status in soils and crops, recommendations and present use in Egypt. *In: Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization*. Proceedings of the regional workshop of IPI, Bornova, Izmir, Turkey, 26-30 May. pp 50-65.

FAI, (2005). Fertilizer Association of India. Fertilizer Statistics, 2004-2005. New Delhi, India.

FAO, (2005). Food and Agriculture Organisation Rome, Italy; web FAOSTAT. www.fao.org.

Huber, D. M. and D. C. Arny. (1985). Interactions of potassium with plant disease. *In: Potassium in Agriculture*. America Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp 467-479.

IPI, (2005). Annual report (internal). International Potash Institute, Horgen, Switzerland.

IRRI, (2005). International Rice Research Institute (Technical report submitted to IPI, December 2005 (ref DPPC2005-02).

Johnston, A. E. and P. R. Poulton. (2005). Soil organic matter: its importance in

sustainable agricultural systems. Proceedings No. 565, International Fertiliser Society, York, UK.

Kafkafi, U., Xu, G., Imas, P., Magen, H. and J. Tarchitzky. (2001). Potassium and Chloride in Crops and Soils: The Role of Potassium Chloride Fertilizer in Crop Nutrition. IPI research topic No. 22. International Potash Institute, Horgen, Switzerland.

Mäder P, Fließbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, V. 296, pp 1694-1697.

Magen, H. and P. Imas. (2004). Potassium chloride and suppression of disease. Poster presented at the XVTH International Plant Protection Congress, Beijing, China, May 11-16.

Nikolova, M. T. (2005). Potassium balance on field, farm and country level in Bulgaria. *In*: N. Fotyma (eds) "Fertilizers and Fertilization", Polish Fertilizer Society – CIEC, Pulawy, Poland. V3: (24). pp 89-104.

Öborn, K., Modin-Edman, A.K., Bengtsson, H., Gustafson, G.M., Salomon, E., Nilsson, S.I., Holmqvist, J., Jonsson, S. and H. Sverdrup. (2005). A Systems Approach to Assess Farm-scale Nutrient and Trace Element Dynamics: A Case Study at the Öjebyn Dairy Farm. *Ambio*, Vol. 34, No. 4-5.

Perrenoud, S. (1990). Potassium and plant health, (2nd completely revised edition). IPI research topic No. 3. International Potash Institute, Horgen, Switzerland.

Shen, R. P., Sun, B. and Q. Zhao. (2005). Spatial and temporal variability of N, P and K balances for agroecosystems in China. *Pedosphere*, 15(3): 347-355.

Peng, S.B., Buresh, R.J., Huang, J.L., Yang, J.C., Zou, Y.B., Zhong, X.H. and G.H. Wang. (2005). Over-application of nitrogen fertilizer in intensive rice system in China. *In*: Plant nutrition for food security, human health and environmental protection. 15th Int. Plant Nut. Coll. (IPNC). Beijing, China. pp 62-63.

Yadvinder, Singh, Bijay, Singh, Ladha, J. K., Khind, C. S., Gupta, R. K., Meelu, O. P., and E. Pasuquin. (2004). Long-Term Effects of Organic Inputs on Yield and Soil Fertility in the Rice-Wheat Rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:845-853.

Silber, A. (2005). Fertigation frequency and nutrient uptake by plants: benefits and constrains. Proceedings No. 571, International Fertiliser Society, York, UK.

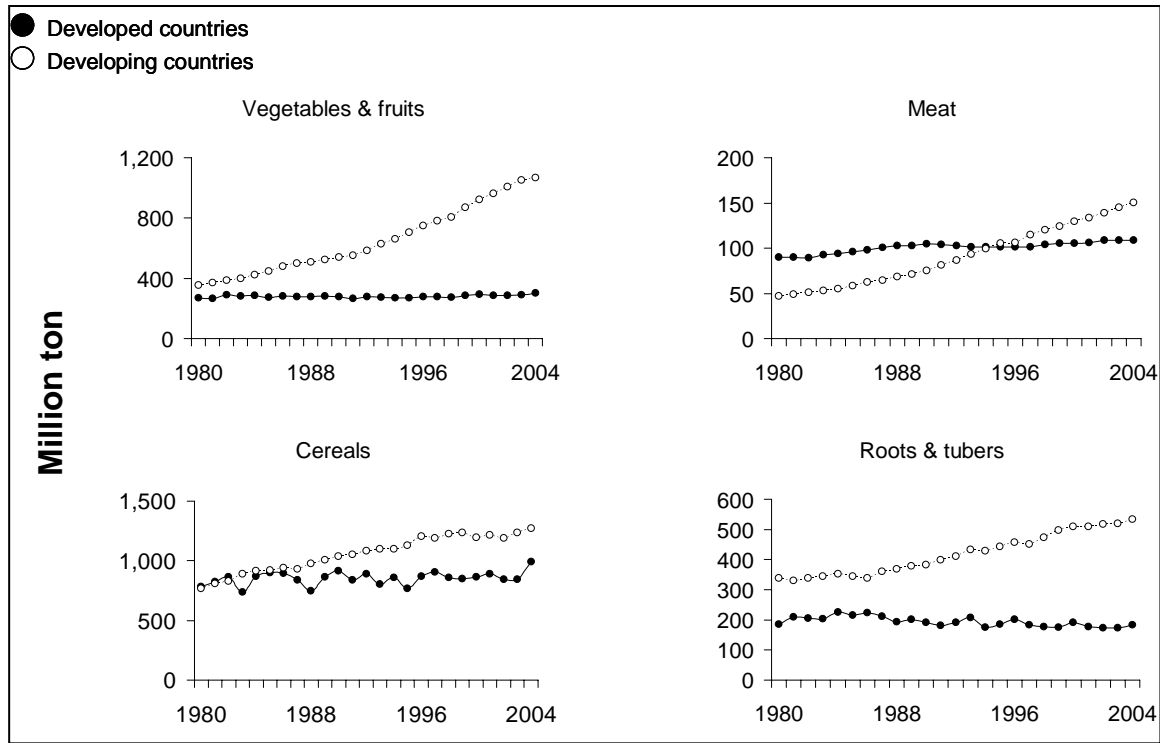


图 1: 1980-2004 年发达国家和发展中国家主要农作物和肉类产量 (来源: FAO <http://faostat.fao.org/faostat/collections>, 2005 年 12 月更新).

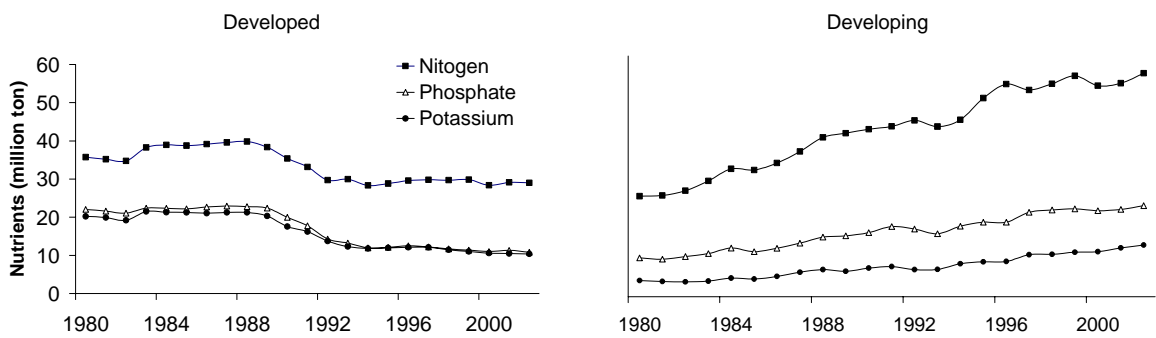


图 2: 1980-2004 年发达国家和发展中国家养分消耗比较 (来源: FAO <http://faostat.fao.org/faostat/collections>, 2005 年 12 月份更新).

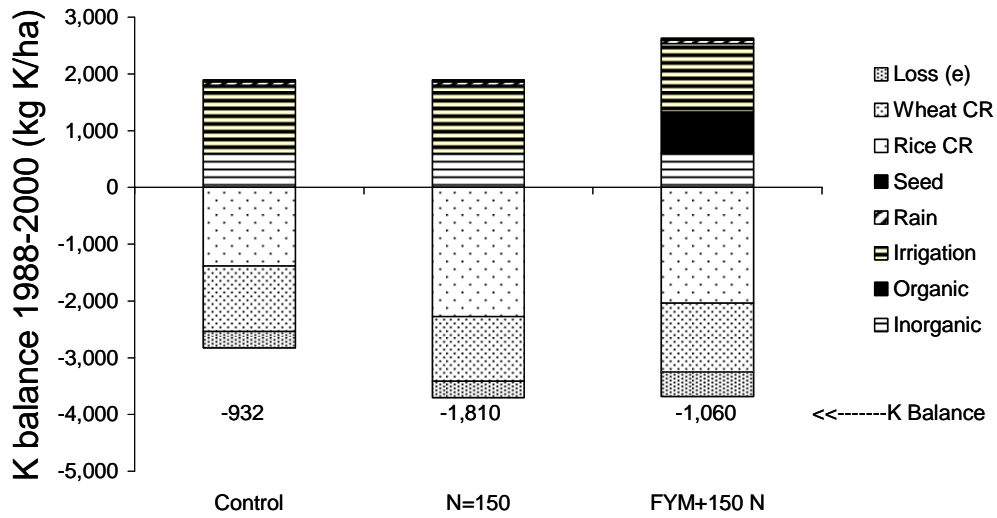


图 3: 1988-2000 年表观 K 平衡试验数据(来源: Yadvinder Singh *et al.*, 2004)

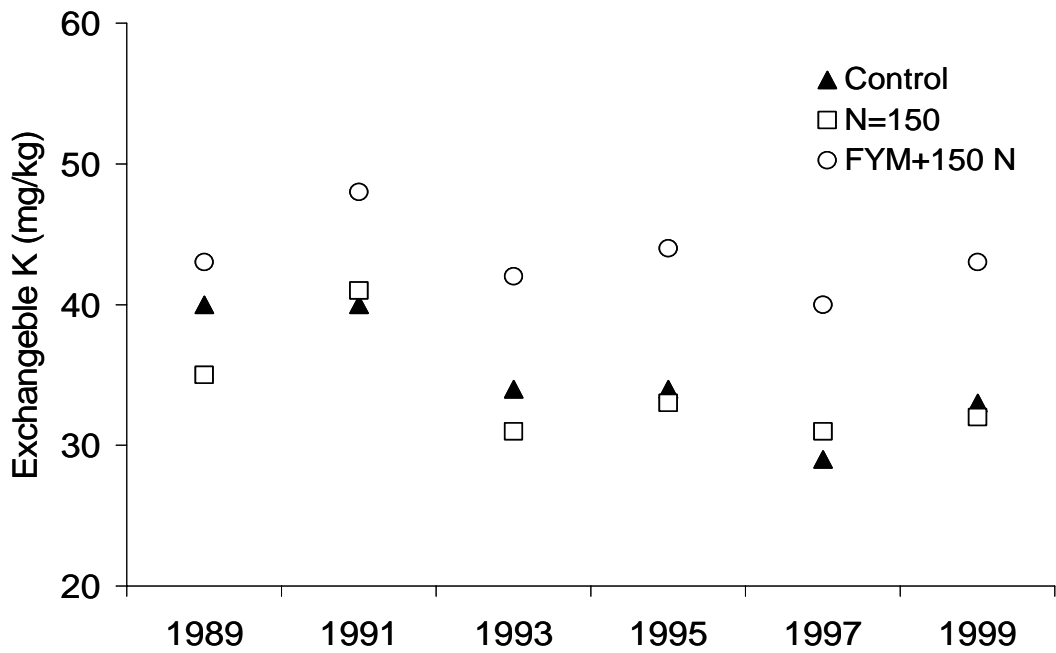


图 4:无机和有机物带入的土壤中的 K 的影响效果(来源: Yadvinder Singh *et al.*, 2004)

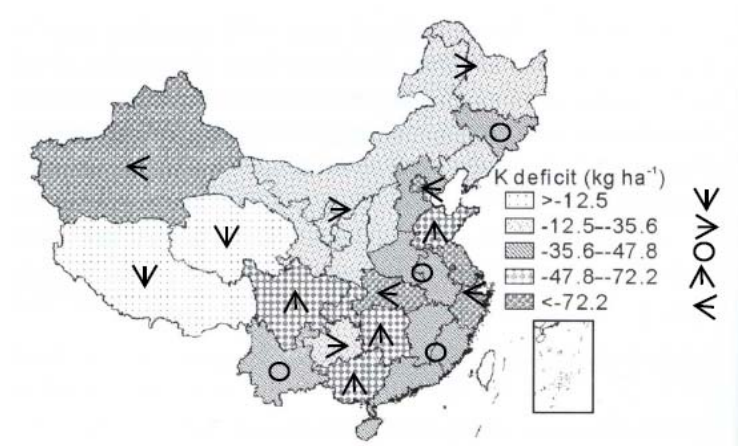


图 5: 1997-2001 年中国农业生态系统中 K 平衡的变化(来源: Shen *et al.*, 2005).

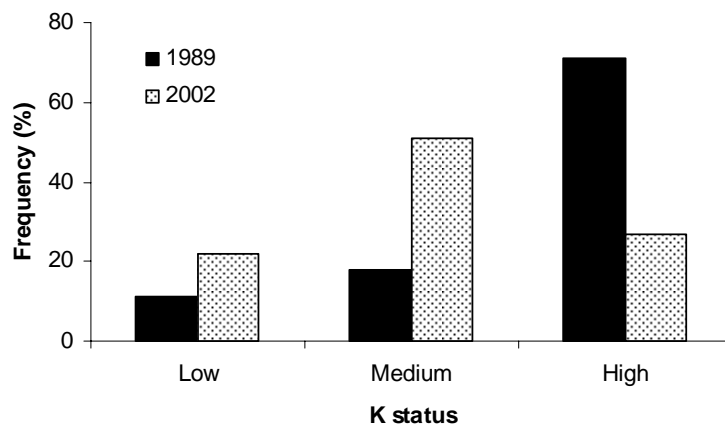


图 6: 1998-2002 年土壤中 K 的变化情况 (来源: Nikolova, 2005).

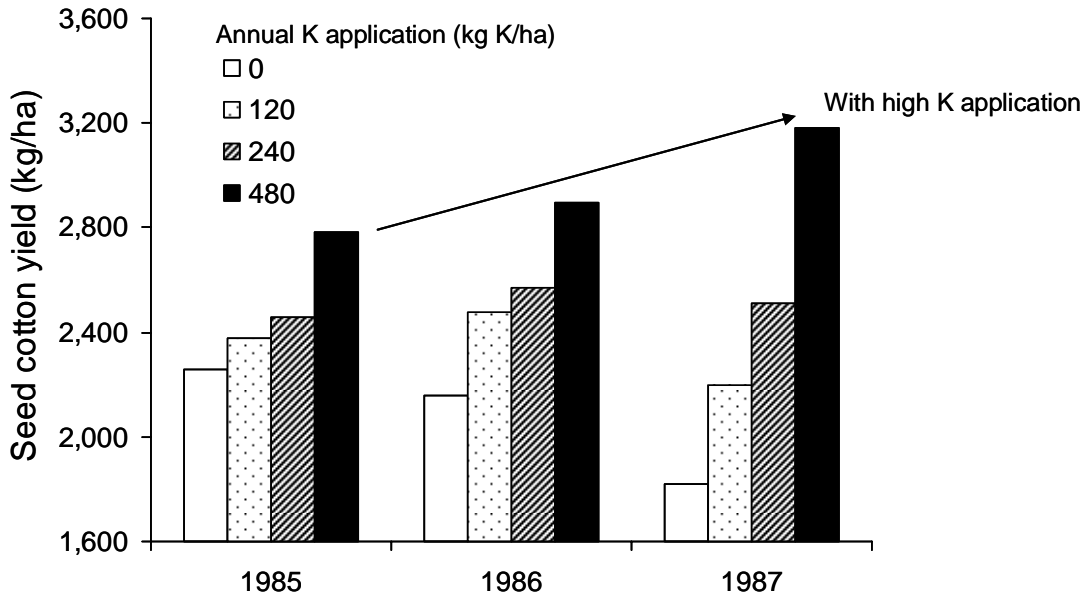


图 7: 棉花产量与 K 施用量比较(来源: Dobermann *et al.*, 2005)

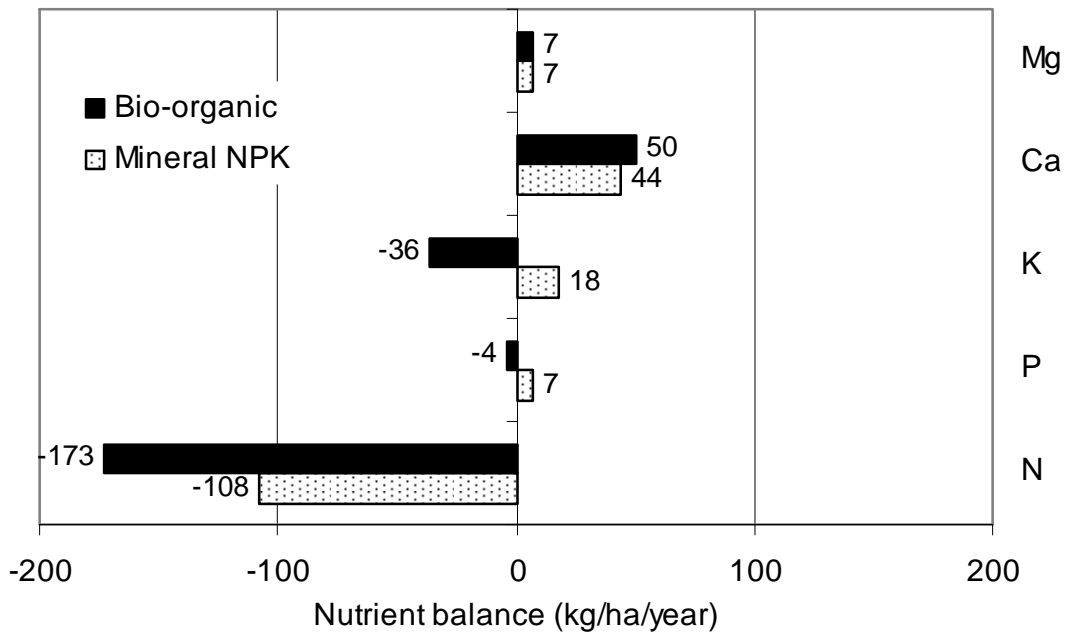


图 8: 分别施用有机和矿物肥料 21 年后养分平衡比较 (来源: Mäder *et al.*, 2002).

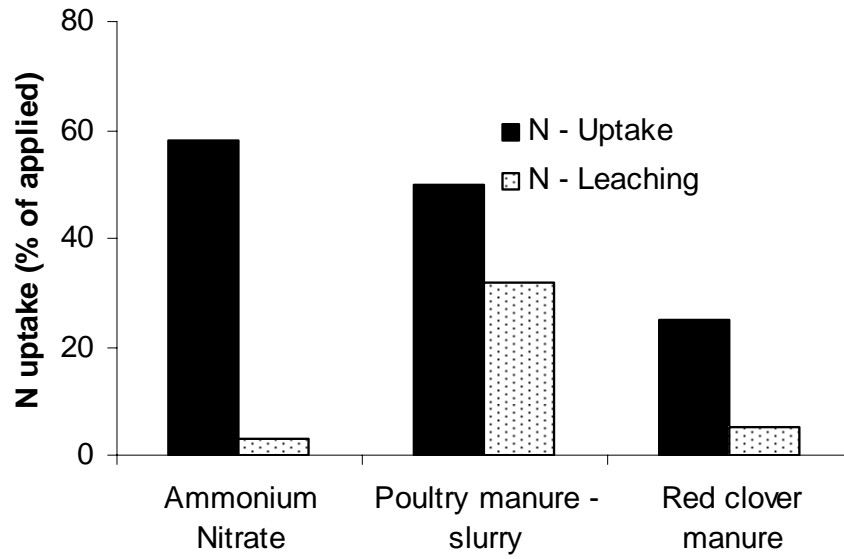


图 9: 不同 N 源中 N 的吸收和流失量(来源: Dahlin *et al.*, 2005).

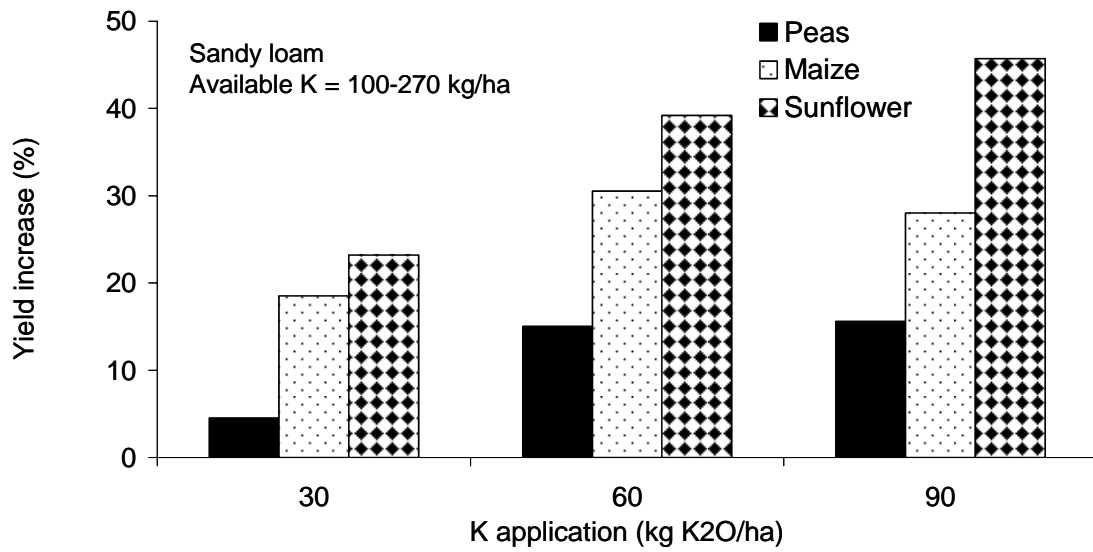


图 10: K 对豆类、玉米和向日葵的增产效果(来源: IPI, 2005).

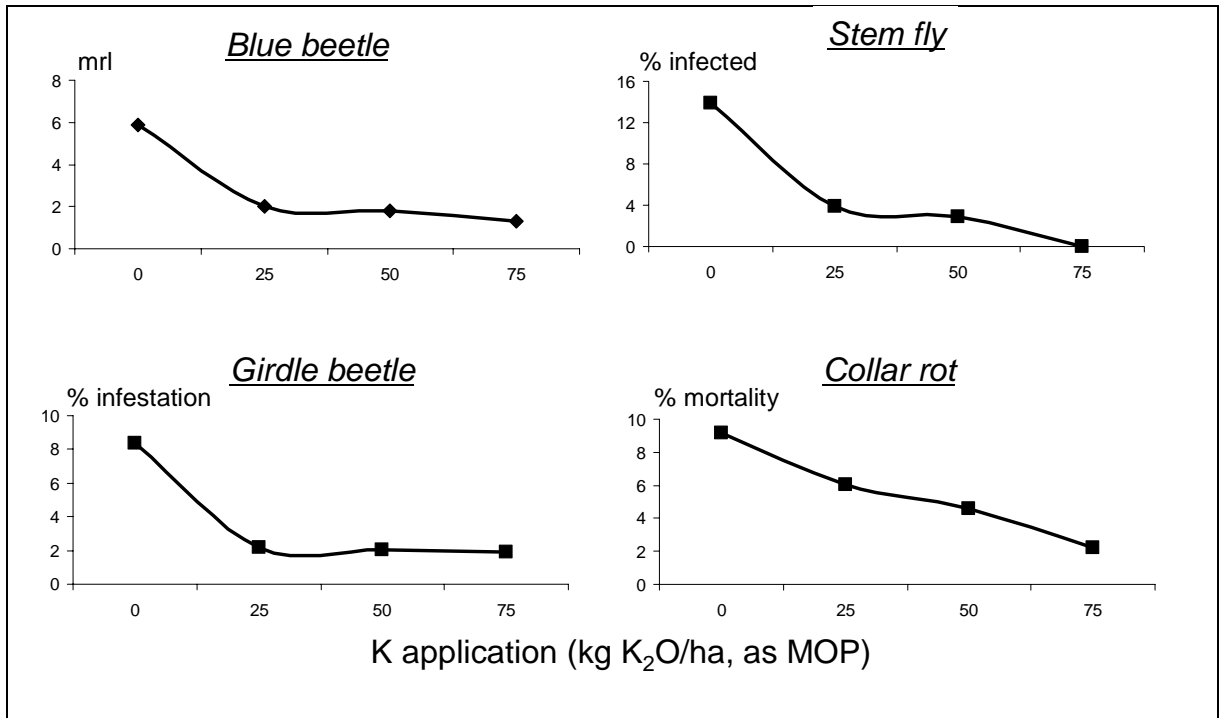


图 11: 各种病虫害对豆类作物感染情况的影响(来源: IPI, 2005)