Ⅰ 综合论述

全球范围的养分循环与迁移

Adolf Krauss

摘要 在农业生态系统的不同层次中都发生着养分的循环与迁移，也就是说养分循环可以发生在植株中、土壤中，发生在农田系统中，养分的迁移可以跨越地区的界限、国家的边界。养分循环中一个重要的方面就是养分的输入与输出之间的平衡。不同地区之间、地区的不同发展阶段之间、不同的经济状况下，养分的平衡状况有着很大的不同。钾的供应通常较为短缺，一般处于负平衡状况，因而对产量的形成和粮食的安全保障有一定的影响。

在生命发展初期、农业的早期阶段，养分循环就已经发生了。从规模和影响力方面可以将养分循环区分为好几类(图 1) 从微观水平的植株或根际范围内的养分循环,到一个农田系统的养分循环，直到跨越国界的养分的迁移。接下来将对农业生态系统中不同类别的养分的流动作一番探讨。

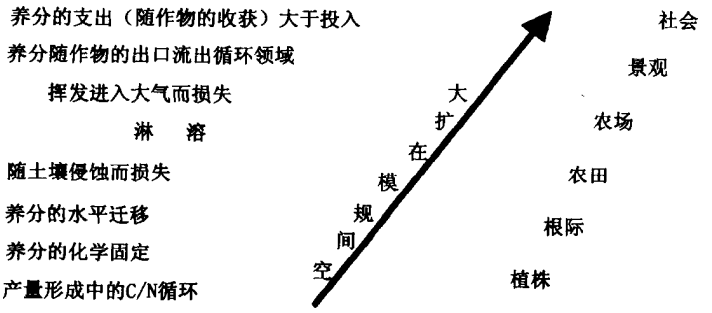


图 1 不同规模的农业生态系统中养分有效流动过程中存在的几类问题
（资料来源 据 van Noordwijk, 1999）

1 植株及根际的养分循环

除细胞水平的养分交换外，C、N 循环还对产量的形成有着直接的影响。如同 Marschner 等(1996)所指出的那样，N 由根系吸收后运移到幼嫩部位并进行代谢。作为交换，同化作用产生的 C 由上往下又运移至根部及贮藏器官，如块茎、籽实等。K 在 C/N 循环中起着一个“泵”的作用。如图 2 所示，K作为反离子伴随 NO_3^- 由木质部向幼嫩部位迁移，NO_3^- 在幼嫩部位将进行代射。同时，在幼嫩部位将产生碳架结构的苹果酸盐，部分苹果酸盐将和 K

需要全本请访问 www.ertongbook.com

起移向根部，苹果酸盐将氧化，从而产生 $KHCO_3$,以代换 KNO_3。缺 K 会抑制 NO_3^- 的迁移，导致根部硝酸盐的减少和氨基酸的积累，这些信息的反馈就会使根系对 N 的进一步吸收受到抑制。此外,根部积累的 C 同化物会对产量的形成有一定的限制。缺 K 引起的 N 的吸收减少降低了 N 肥的利用率,从而降低了 N 肥使用的经济效益。根际多余的 N 可能会淋失或挥发，增加环境负担。供 K 不足时植物并不会迫于无奈而增加对 N 的吸收。

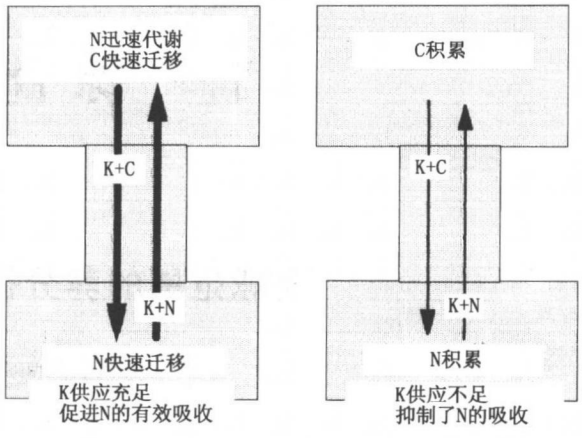
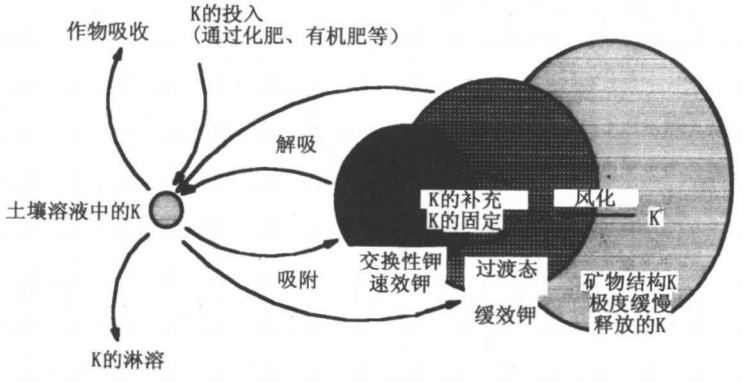


图 2　植株的钾素营养与养分循环
（资料来源 据 Marschner 等,1996）

不同形态的土壤钾之间的转换过程是土壤微观水平下的养分循环的一个典型例子。土壤中的 K 可分为溶液中的 K、交换态 K(也称‘速效性 K’,或‘可交换性 K”)、缓效性 K(或非交换性 K)、矿物结构 K(如图 3)。在动态变化过程中各部分是互相关联的。因吸收或淋溶而从溶液中移走的 K 可以由可交换性钾进行补充。钾素供应充足的土壤释钾速率较大,可以使溶液中 K 的损失很快得到缓冲。随着可交换性钾的减少，溶液中钾的补充更多地依赖于缓效钾也即非交换性钾的释放。但非交换性钾库中释出的钾只占交换性钾位提供的钾的一小部分。因而随着土壤钾的耗竭及由此引起的需要由非交换性部分提供的钾的增多，作物的产量在下降，这是由于非交换性钾的释放强度不能满足作物的高产对钾的需求，矿物结构钾的释入是由风化作用引起的，几乎不能对当季作物的生长有任何贡献。



▶土壤 K 可以分为 4 个主要部分；
▶不同部分之间通过动态过程而互相联系；
▶与 N、P 不同的是土壤中没有长期缓慢释放的有机 K 源

图 3　土壤 K 的流动取决于动态的过程

钾肥和(或)有机肥的施用可以促使该反应向相反的方向进行,即土壤溶液中钾的浓度增加，钾浓度的增加则促进了作物对钾的吸收，在钾极为缺乏的土壤中甚至会出现钾的固定。在较为缺钾的土壤上发生钾的固定时，施用一定量钾肥后作物往往并不表现出任何增

产，这常会使人们对这类田间试验产生疑惑。要使土壤极为缺钾的状况得以改变，需要付出的代价是极大的。印度的一些田间试验表明，相对只需 1.2 个单位的钾肥就足以提高土壤钾素水平的钾素肥力状况较好的土壤来说，要使较为缺钾的土壤钾素肥力提高 1 个单位，需要 5 倍多的钾肥(Srinivasa Rao 和 Khera，1995)。

2 农田系统中的养分循环

农田系统中的养分循环受到一些输入和输出因子的影响（图 4)。养分随化肥、有机肥、沉降作用及生物固氮等进入农田。当用浓缩饲料喂养牲畜时，可以从外源增加养分，此时有机肥作为农田养分的输入因子尤为重要。在灌溉农业区，沉降作用是养分携入的一个重要因子。每 100 mm 含 1 mg/kg 养分的灌溉水可以给每公顷农田增加 1 kg 养分，例如，600 mm 含 1 mg/kg K 的灌溉水可以使每公顷农田增加 30 kg K。

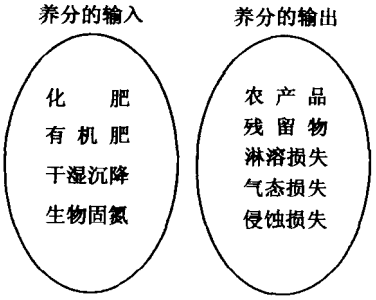


图 4 养分循环过程中控制养分平衡的因素
(资料来源：Stoorvogel 和 Smaling，1990)

养分的输出主要通过作物的收获、残留物的移走、养分的淋溶、挥发及侵蚀等。侵蚀和淋溶引起的养分损失在很大程度上取决于气候条件。比如在气候潮湿的热带国家马拉维，因侵蚀和淋溶而损失的 K 可达 K 损失总量的 69%。相反，在干旱的非洲撒海尔地带的马里，K 的损失主要由于作物及其残留物的移出。干旱气候条件下侵蚀和淋溶自然不太重要。

一般，当养分的输入多于输出时，养分平衡表现为正值。这表明土壤养分的积累和土壤肥力水平的增加。另一方面，当养分的输出多于输入时，养分平衡就表现为负值，表明土壤养分在减少、土壤肥力水平在下降。

作物的经济价值也对土壤的养分收支平稳有着一定的影响。在肯尼亚，种植茶之类经济作物的农田的养分收支基本达到平衡，每年的毛利超过 120 000 KSh/hm^2 玉米之类常规作物的利润相对较小，每年毛利只有 34 000 KSh/hm^2，种植这类作物的农田的养分收支呈现较大的负平衡(图 5)。同样，印度旁遮普的农民在种植与小麦和水稻相比利润大得多的马铃薯上投入的钾肥和有机肥也多得多，种植马铃薯的田块上钾的收支为正平衡，而种植谷类的田块上钾的投入则远远低于支出(Tandon 和 Sekhon，1988)。此外，当收获物的价格要以品质作为基准时，钾素的平衡状况也会好转。印度北部大多种种植水稻、小麦之类的常规作物，N、K 肥的施用比可达 27:1。肥料施用的不平衡预示着钾素收支负平衡状况的出现，就像上面所举的例子那样。印度南部多种植品质决定价格的茶、咖啡、胡椒、小豆蔻等经济作物，N、K 肥的施用比为 3:1，表明钾的收支接近平衡。

如前所述，当养分伴随浓缩饲料的使用而从外部进入农田时，农家肥就将在农田养分循环中起着非常重要的作用。例如在德国，养分的收支状况就随牲畜数目的的增加而有所改善(图 6)。只长庄稼没养牲畜的耕作农场的养分收支基本平衡，但 P 和 K 的供应已有所不足，也即已出现一定的负平衡。农产品的卖出是这类农场养分流失的重要因素。种庄稼又养牲畜的复合型农场靠内部循环来维持，由于随动物产品的卖出而移走的养分要比作物产品提供的养分少得多，因而这样的农场中养分的收支已表现为正平衡。在典型的饲养动物

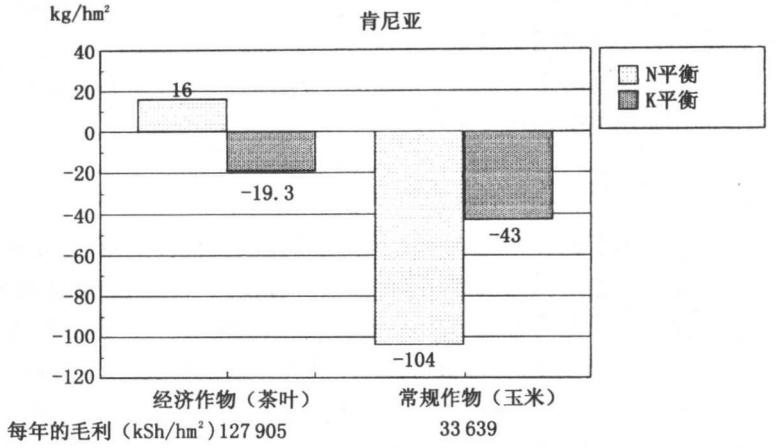


图 5　作物的经济价值对农田生态系统中养分平衡的影响（资料来源：Gitarl 等，1999）

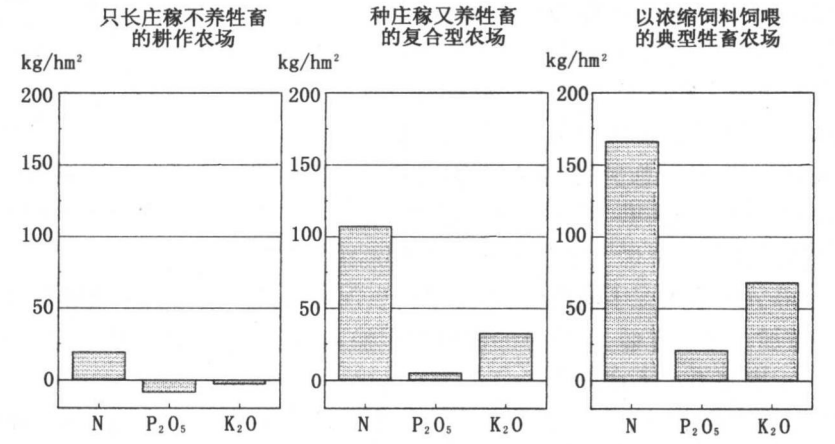


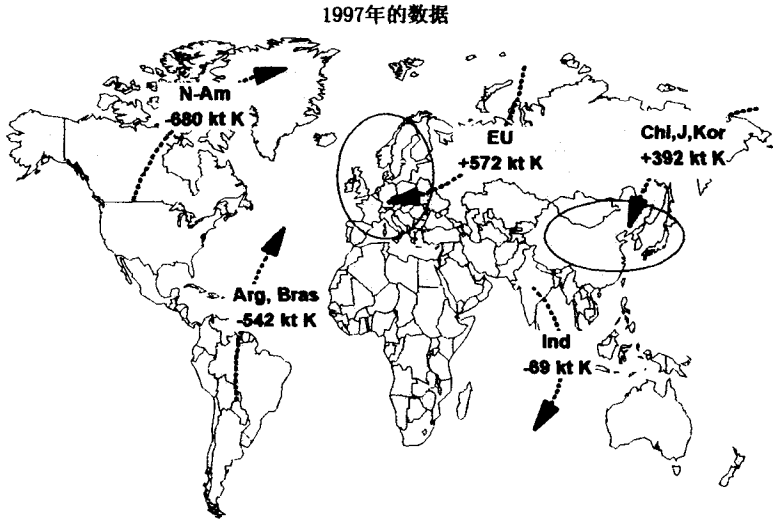
图 6　农场体系对养分平衡的影响(以德国为例)(资料来源：Bach 等，1997)

的牲畜农场中养分收支正平衡的状况更为明显。浓缩饲料的使用是这样的农场养分输入的主要来源。在典型的比利时奶牛场中就有这样的状况。在那里养分的盈余量相当高，虽由于浓缩饲料的使用而大大减少了化肥的施用（Michiels 等，1997）。另一方面，有机肥的使用只是农田自身养分的再循环，也就是说没有从外部得到额外的养分补充，因而不能维持养分的收支平衡。以中东欧国家来说，这些国家的农民们几乎买不起浓缩饲料。牲畜的数量在减少，有机肥中养分的含量也在下降。目前所施用的化肥量只有 80 年代末改革前的 1/3。以捷克共和国为例，该国农田养分的收支不平衡状况已相当严重(Klir 等，1999)。

3　全环范围的养分循环

随商品在国际上的流通而发生迁移的养分也是极为可观的。如图 7 所示，北美洲及阿根廷、巴西通过油籽和油籽饼(即浓缩饲料)的出口，输出了大约 120 万 t 的 K，相当于 250 万 t 的钾肥。甚至印度也通过油籽和油籽饼的出口，输出了将近 7 万 t K，大约相当于 15 万 t 的钾肥。以阿根廷为例，这个国家在近 10 年内通过出口油籽输出了大约 300 万 t 的 K，与此同

时,对整个国家和所有的作物来说,其输入的 K 比失去的 K 的 1/10 还少,只有 20 万 t(ifc No.3)。随油籽和油籽饼的流通而发生的 K 在全球范围内迁移的最大受益者是欧洲联盟,这些国家输入了大约 57 万 t 的 K,或者说是 120 万 t 的钾肥。中国、日本和朝鲜共输入了 39.2 万 t 的 K。粮食的贸易也可以带来相当可观的养分迁移。阿根廷、澳大利亚、加拿大、美国及欧洲联盟等粮食的主要出口国,随谷类的出口输出了大约 100 万 t 的 K_2O,大多数都输入了发展中国家。



注 :N-Am— 北美洲 ;EU—欧洲 ;Chi—中国 ;J—日本 ;Kor—朝鲜 Arg—阿根廷 ;Bras—巴西 ;Ind—印度

图 7 K 随油菜籽/饼在地区间的迁移网(资料来源:FAOSTAT98)

城市化的过程是养分跨越地区和国家界限进行迁移的一个驱动力。当前,发达国家有超过 3/4 的人生活在城市中。在发展中国家也有同样的趋势,在最近 10 年内,已有一半入进驻城市(图 8)。通常,由于担心污水污泥中重金属和其他有毒物质的污染,随食物流入城市的养分不再回流到农田中,从而就会从养分循环中损失掉。

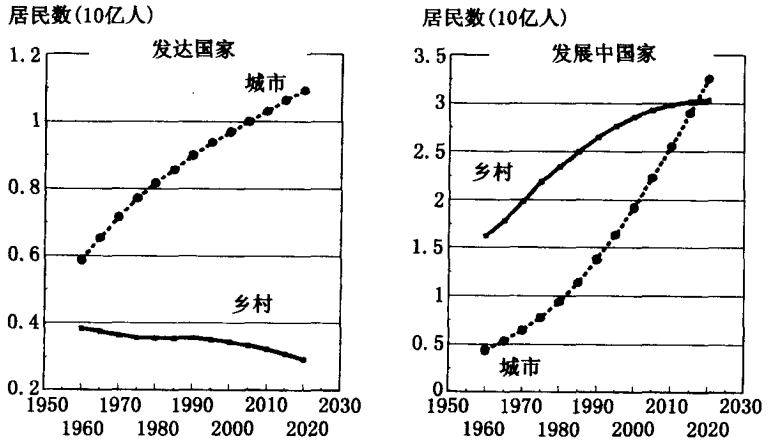


图 8 全球人口的发展情况

城市居民吃的肉类、水果和蔬菜都要比农村的人们多。水果、蔬菜及刺激物的输出意味

需要全本请访问 www.ertongbook.com

着约有 40 万 t 的 K_2O 的移出,其中很大部分是运往城里,从而移出循环。

4 地区养分平衡状况的演变

就养分本身和地区而言,养分平衡状况的变化有着显著的区别。在七八十年代,发达国家施肥带入土壤的养分比作物收获而携走的要多（图 9)。就象前面所说的那样，由此而来的养分循环的正平衡意味着土壤肥力水平的提高。但是到 80 年代末,这种状况发生了彻底的改变。发达国家肥料消费急剧下降的原因有如下一些：

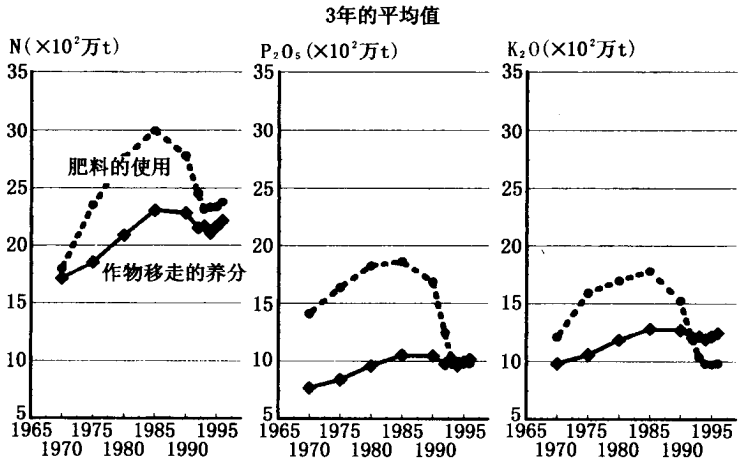


图 9 发达国家肥料使用与作物移走的养分间的关系（资料来源:FAO 年报）

(1)基于经济学及生态学上考虑的闲置计划，美国或者欧洲联盟之类的“西方”国家农产品价格的低廉；

(2)中东欧、前苏联的经济变革及由此而导致的购买肥料和其他农用物资的资金的缺乏、土地权益的不明确、集体土地重新划分后新土地所有者知识的贫乏。

氮肥的施用似乎已经复苏，而磷肥特别是钾肥的施用带入的养分却抵不上被作物移走的 P、K的量。

发展中国家养分平衡状况的变化趋势与之完全不同（图 10)。施入 N 的量与作物携走的 N量相当甚或超出移走的量。以中国为例，大约 1 700 万 t 由作物携走的 N 与 2 360 万 t 的由化肥带入的 N“相当”(1996—1998 年的平均值)。P 的趋势与 N 相似，只是投入输出之间的差距不如 N 明显。P 肥的施用可以促进由作物的收获造成的投入与输出之间的差距的缩小。在中国,施入的 P_2O_5 大约有 900 万 t,随作物的收获移走的约有 800 万 t。

K 的状况则与 N、P 完全不同。被作物携走的 K 比施入的 K 多上若干倍。K 素收支不平衡的状况极为严重。下面列举了一些这方面的例子（其中的数字代表 1996—1998 年的平均值）:

在中国,随钾肥施入的 K_2O 有 310万 t 但随作物携走的则有 1 700 万 t(如图 11)；

在印度,施入的 K_2O有 120 万 t,随作物移走的有 880万 t;

在非洲南撒哈拉，钾肥带入的钾有 20 万 t,作物带走的钾有 430万 t;

在西亚北非地区,施入的钾有 30万 t,作物移走的钾有 410万 t。

在中国，钾的表观亏缺每年以大约 25 万 t K_2O 的速率增加，在南亚增加速率为 18万 t

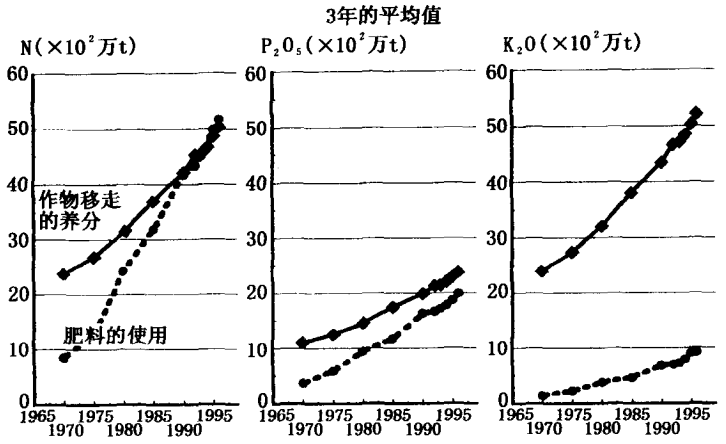


图 10 发展中国家肥料使用与作物移走的养分间的关系

(资料来源:FAO年报)

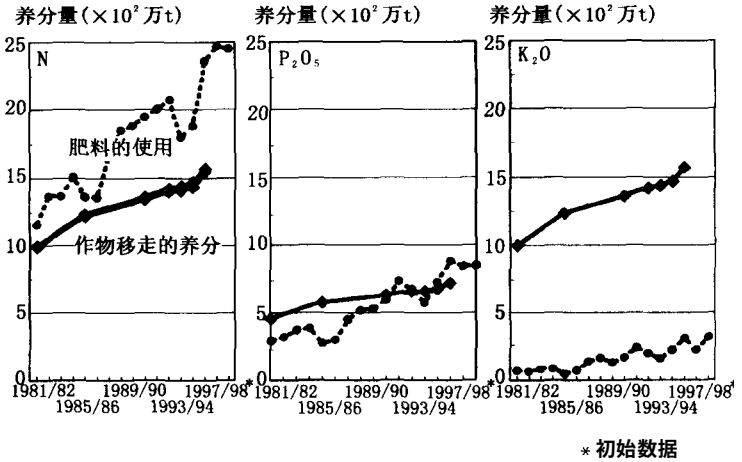


图 11 中国肥料使用与作物移走的养分间的关系(资料来源:FAO/IFA FAO年报)

K_2O/a。

施用有机肥是一种传统做法,特别是在中国。但有机肥的施用并不能补偿由作物的收获造成的土壤钾的巨大损失。假定在中国,由化肥提供的钾占总钾量的 30%,那么有机肥和化肥所能提供的总钾量大约有 1 000 万 t,这仍然比作物携出的总钾量 1 700 万 t 低得多。印度的情况也是如此。Singh 和 Biswas(2000)估计,即使采取一种非常好的方法,所有的有机肥料如农家肥、城市与乡村的废弃物等全都用上也只能满足未来印度农业养分需求的 25%。况且,在发展中国家还普遍流行着将农家肥用作燃料或建材的错误做法。此外,有机肥的养分含量低,其运输、处理和施用也需要花费大量的人力。而且即使在发展中国家,劳动力的代价也越来越让农民负担不起。

5 结果与讨论

通常,从一个封闭的循环系统中移走一些支项要么就会使循环能力削弱,要么就需要一些相应的补偿以维持系统的能量。在养分循环系统中也是如此。与 N、P 相比,K 的状况似

乎更差。钾的缺乏在全球都越来越严重，尽管在不同地区有一定的差别。发展中国家受此影响更为严重。

在发展中国家为什么重施氮肥的不平衡施肥如此普遍呢？这是受氮肥所具有的直接、明显的效应的影响所致。在经济萧条时期，农民资金来源有限，土地的使用权限不明确、使用期限不能得到保障，等等，这些是公认的促使人们首选氮肥的因素。与之相反，钾肥的施用通常并不能对作物的产量产生很了不起的影响。钾肥的作用更为内在一些，与品质、抗逆性及其他一些特性有关。但作物高产所需要的钾量往往与对氮的需求量差不多，甚至还会高出对氮的需求量。

钾素循环的负平衡致使土壤钾不断释出，其结果会怎样呢？德国的长期定位试验结果表明，随着土壤钾的不断释出及由此导致的土壤钾素水平的下降，作物的潜在产量与可获得的产量之间的差距越来越大（图 12）。农民们失去了潜在的增产机会。英国的长期田间试验表明，同样施用 144 kg/hm^2 的 N，在钾含量只有 68 mg/kg 的钾耗竭土壤上，大麦的产量只有 2 t/hm^2，而在含钾 329 mg/kg 的肥沃土壤上，大麦产量为 5 t/hm^2（Johnston，1994）。施肥的不平衡对肥料使用的经济效益及生态环境方面的影响是显而易见的。此外，缺钾作物的品质差，抵抗环境胁迫的能力弱，由此也造成了农业生产中的风险。

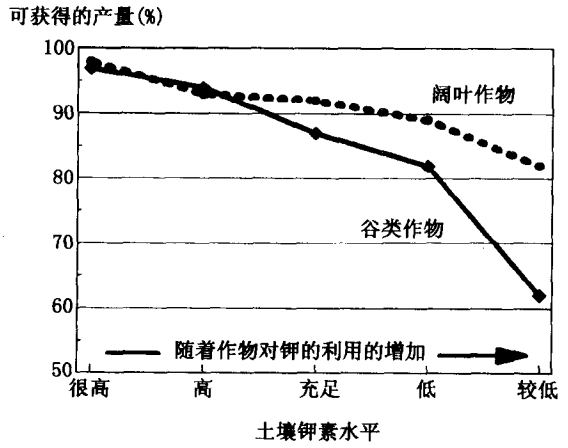


图 12　不同土壤钾素水平下作物潜在产量的损失
（资料来源 据 Kerschberger 和 Richter 年）

这样做的后果是很明显的。我们必须要说服农民为土壤钾投资，其经济回报是不错的。举例来说，在印度，农民在钾肥上投资 1 个卢比，水稻的高产可以使他们获得大约 5 个卢比的回报，在大豆上可以有 8～10 个卢比的回报，在马铃薯上则可以超过 15 个卢比。在作物的品质和产量的安全性方面也可以得到实实在在的保证。

我们也必须说服那些地方部门的指导者，请他们为农民及时提供信息，说服那些供肥部门为农民及时提供足量的钾肥，最后但并不是最不重要的一点就是，我们还必须说服那些决策者们去制定出平衡施肥的相关政策和经济框架。

参　考　文献

[1] Bach, M., Frede, H. G. and Lang, G. (1997): Entwicklung der Stickstoff-, Phosphor-und Kalium-Bilanz der Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Gesellschaft für Boden-und Gewässerschutz eV, Wettenberg, Germany

[2] Gitari, J. N., Matiri, F. M., Kariuki, I. W., Muriithi, C. W. and Gachanja, S. P. (1999): Nutrient and cash flow monitoring in farming systems on the Eastern slope of Mount Kenya. In: Nutrient disequilibria in agroecosystems (ed. E. M. A. Smaling et al.), CABI Publishing, pp. 211～228

[3] Johnston, A. E. (1994): The Rothamsted classical experiments. In: Long-term experiments in agriculture and ecological sciences (ed. R. A. Leigh and A. E. Johnston), CAB International, pp. 9～37

[4] Kerschberger, M. and Richter, D. (1987): Neue Versorgungsstufen (VST) für den pflanzenverfügbaren K-Gehalt (DL-Methode) auf Ackerböden. Richtlinien der Düngung 11, 14 ~ 18

[5] Klir, J., Vostal, J. and Lipavsky, J. (1998): Plant nutrient balances in Czech agriculture. In: Proceedings of the 11th Int. Symposium on Codes of good fertilizer practice and balanced fertlization, September 27 ~ 29, 1998, Pulawy, Poland, pp. 428 ~ 434

[6] Marschner, H., Kirkby, E. A. and Cakmak, I. (1996): Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photo-assimilates and cycling of mineral nutrients. J. Exp. Botany 47: 1255 ~ 1263

[7] Michiels, J., Verbruggen, I., Carlier, L. and van Bockstaele, E. (1997): In-and output of minerals in Flemish dairy farming: the mineral balance. In: Proc. 11th Intern. World Fertilizer Congress of CIEC on Fertilization for sustainable plant production and soil fertility, September 7 ~ 13, 1997, Gent, Belgium, pp. 695 ~ 702

[8] Noordwijk van, M. (1999): Nutrient cycling in ecosystems versus nutrient budgets of agricultural systems. In: Nutrient disequilibria in agroecosystems (ed. E. M. A. Smaling et al.), CABI Publishing

[9] Singh, G. B. and Biswas, P. P. (2000): Balanced and integrated nutrient management for sustainable crop production. Fertilizer News Vol. 45(5), pp. 55 ~ 60

[10] Srinivasa Rao Ch. and Khera, M. S. (1995): Consequences of potassium depletion under intensive cropping. Better Crops, Vol. 79, pp. 24 ~ 27

[11] Stoorvogel, J. J. and Smaling, E. M. A. (1990): Assessment of soil nutrient depletion in Sub-Saharan Africa: 1983—2000. Report 28, The Winand Staring Centre Wageningen, The Netherlands

[12] Tandon, H. L. S. and Sekhon, G. S. (1988): Potassium research and agricultural production in India. FDCO New Delhi, 144p

(陈小琴译,谢建昌校)

中东欧转轨时期耕作体系中养分平衡展望

Uebel, E.
(国际钾肥研究所)

摘要 中东欧有约 6.6 亿 hm^2 的耕地面积,需要养活 12.2 亿的人口,还要供应出口。80 年代末之前，在中央计划经济体制下，绝大部分中东欧国家所用的肥料均由政府资助。结果在高施肥条件下，农业生产赶上了西欧国家的水平，农田养分循环呈现正平衡。自 90 年代初以来，随着计划经济向市场经济的转变，化肥与有机肥的投入均显著减少，化肥中 N 肥的施用减少了 55%,磷钾肥的施用各减少 80% ,有机肥的施用减少了 30% ~ 50%。农业生产以依赖土壤库存养分的消耗而进行。农田养分循环的负平衡导致土壤养分含量和土壤肥力水平的下降。作物产量下降了约 20% ~ 30% 。但 在 1993 年、1994 年，由于肥料投入的增加，农作物产量再次出现轻微增长。有利的农业政策、常规的土壤监测及有关的经济、生态和平衡施肥的策略能避免农户更大的损失，并能加速这刚刚开始的农业发展。

1 前 言

中东欧肥料消费的特点是:60 年代初至 80 年代末,肥料消费急速增长,但自 90 年代初以来，不论是化肥还是有机肥的消费均显著下降。在前一阶段，肥料消费的增长伴随着作物产量和计划经济体制下政府资助肥的巨大增长。在大多数中东欧国家，到 60 年代末养分平衡状况已经从负值变为正值，自 70 年代初开始呈现出增加的趋势。低养分农田的比例在减少，土壤肥力水平在提高。但就那些年看来，有一些土壤养分含量过高，到了令人不满意的程度。

在 90 年代初以来的第二阶段，随着中东欧国家计划经济向市场经济的转变，农民们不得不为生计而奋争，几乎被迫放弃靠增产特别是靠使用肥料获得增产的途径。农业生产依靠对土壤养分库的消耗而进行。农田养分循环的负平衡导致土壤养分含量和土壤肥力水平的下降。自 1993 年、1994 年来，肥料消费重新有了轻微增加。

本文根据一些典型实例，对不同肥料消费水平下的农田养分平衡、土壤肥力水平及作物产量等作了分析，还对未来与肥料有关的经济和生态策略作了一些概括。

2 方 法

有关肥料消费的发展，养分的平衡状况，所选中东欧国家的土壤养分供应状况及作物产量状况等的分析均赖于 FAO 官方统计资料和高等院校学者的出版物及其他一些资料。文中还对养分发展的典型趋势及未来需求等进行了讨论。

3 结果与讨论

3.1 农业在中东欧国家的重要地位

农业在中东欧国家国民经济中的地位要比在西欧国家中的地位重要得多。在中东欧国

家,平均 7%的国民生产总值来自农业（在整个欧洲联盟为 1.7%),农业雇工人数占整个雇工数的 23%(在整个欧洲联盟中为 5.1%)。中东欧国家农业面积约 6.6 亿 hm^2,要养活 12.2 亿人口，还要供应出口。

3.2 肥料消费的发展

鉴于农业在中东欧国家的重要地位，必须既要维持土壤肥力，又要保证农业高产。但自 90 年代初以来，随着经济体制的转轨，作为农业生产最重要的手段——肥料的消费却减少了许多。与 1988 年、1989 年相比，N 肥的使用下降了 55%，磷肥与钾肥均下降了 80%，有机肥的使用下降了 30%～50%。1994 年、1995 年肥料总体消费有了轻微增长（表 1)。

表 1 中东欧 1992/93 年到 1997/98 年间肥料消费概况及 1997/98 年与 1988/89 年相比肥料消费量的变化（10^3t)

年 代		N	P_2O_5	K_2O	NPK*
1992/93		1 827	614	518	2 959
1993/94		1 946	584	492	3 022
1994/95		2 160	615	523	3 298
1995/96		2 144	655	599	3 398
1996/97		2 402	693	650	3 745
1997/98		2 227	646	699	3 572
1997/1998 与 1988/89 相比	数量	-2 416	-2 010	-1 755	-6 191
肥料消费的变化	比率	-52.0%	-75.7%	-71.5%	-63.4%

* $N + P_2O_5 + K_2O$ （来源:FAO)

1997/98 年 NPK 化肥总消费量达 357.2 万 t,相当于投入 33.7 kg/hm^2 N,9.8 kg/hm^2 P_2O_5 和 10.6 kg/hm^2 K_2O,也即 54.1 kg/hm^2 NPK。肥料施用水平之低，不足以成为作物高产的基础。与之相比,西欧国家肥料投入可达 119 kg/hm^2 NPK。

3.3 农田养分平衡状况

中东欧国家肥料消费量的骤降引起了农田养分平衡状况的改变。养分平衡状况在 1986—1990 年间为正值,到 1991—1995 年间已变为负值。以捷克共和国、匈牙利和波兰为例,农田养分平衡的变化情况列于表 2。

表 2 一些中东欧国家农田养分平衡状况（kg/hm^2)

时 期	养 分	捷克共和国	匈牙利	波 兰	平 均
1986—1990	N	+39.9	+32.0	+14.6	+28.8
	P_2O_5	+40.3	+24.0	+29.4	+31.2
	K_2O	+10.4	+14.0	+14.7	+13.0
1991—1995	N	-10.7	-30.0	-9.6	-6.8
	P_2O_5	-13.6	-13.0	-1.1	-9.2
	K_2O	-51.6	-28.0	-19.8	-33.1

（来源:Vostal,1996;Kadar,1997;Fotyma,1997)

保加利亚 1991—1995 年间，三大主要养分的平衡也都表现为负值，每年总计亏损达 4 万 t N,7.9 万 t P_2O_5,22.4 万 t K_2O(Nikolova 和 Samaliova,1998),反映出这个国家农田养分的

需要全本请访问 www.ertongbook.com

严重亏损。

3.4 养分平衡与土壤肥力

中东欧国家农田养分收支的负平衡状况致使农业生产的进行以土壤库存养分的消耗为代价，从而导致土壤养分的持续损耗。表 3 以匈牙利和捷克共和国为例，列出了土壤钾素含量的变化。

表 3 匈牙利和捷克共和国不同时期可耕地土壤供钾状况的相对变化(%)

国家	时期	供钾等级		
		低	中	高
匈牙利	1986—1990	15	25	60
	1991—1995	20	35	45
	变化	+5	+10	-15
捷克共和国	1986—1990	4.7	70.9	24.3
	1991—1995	7.9	71.9	20.1
	变化	+3.2	+1.0	-4.2

(来源：Kadar, 1997; Travnik 等, 1996)

毫无疑问，当供钾水平处于“中级”的土壤的比例增加时，处于“高级”水平的土壤比例就会减少。问题是供钾水平“低”和“很低”的土壤所占比例在增加。对土壤供钾等级从“高”到“低”的变化情况需要进行监测，以减免农民作物产量的损失。

波兰曾有人对施肥水平、养分平衡及土壤养分供应状况之间的相互关系进行了动态研究(Gosek 和 Fotyma, 1998)，以钾为例，其研究结果示于图 1～3。

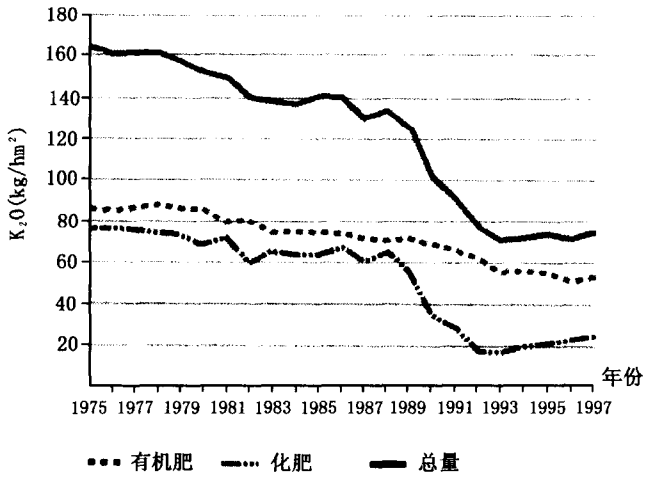


图 1 波兰钾肥使用进展(Gosek 和 Fotyma, 1998)

结果表明，在轻质土较多的波兰，钾素循环的正平衡引起土壤钾素含量的增加和含钾量低及较低水平土壤比例的下降。自 90 年代初以来，钾素亏损每年达 20～40 kg/hm² K_2O，由于土壤的缓冲能力，钾素含量能在一定的时间内维持不变。在过了这段时间后，土壤钾素含量就快速下降。含钾量低和较低的土壤比例的增加表明了土壤肥力水平的下降。

1999 年波兰土壤调查的最新数据表明，有 48% 的土壤属于供钾水平“低”或“较低”级

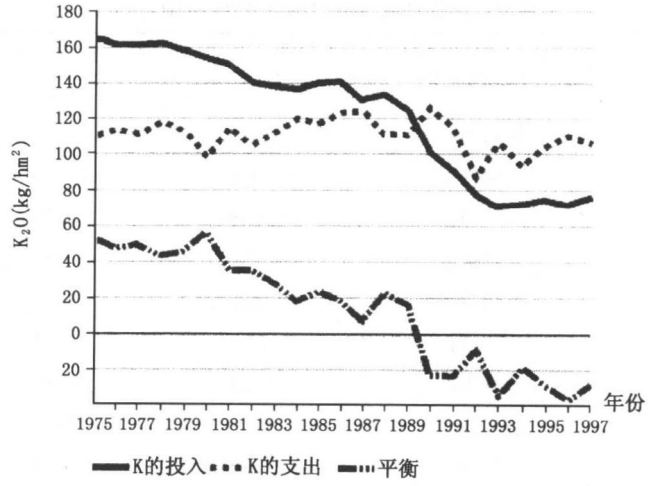


图 2　波兰钾素收支平衡状况(Gosek 和 Fotyma, 1998)

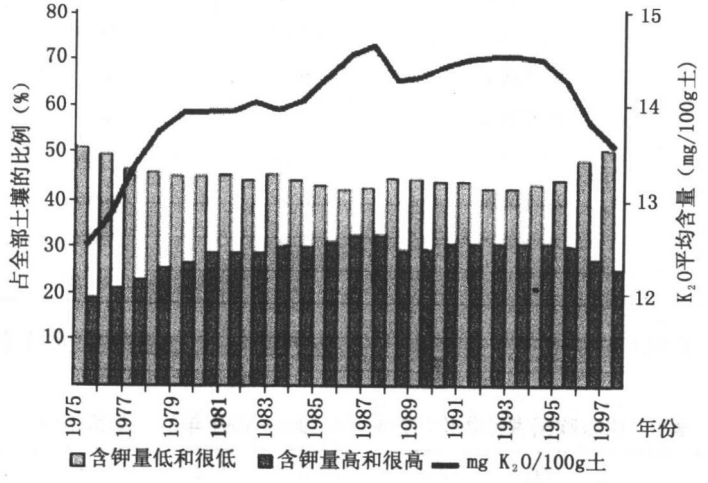


图 3　波兰 1975—1997 年间土壤供钾状况的变化(Gosek 和 Fotyma, 1998)

别。这对于波兰农业来说是一个严重的问题，因为缺钾的植物对于旱、霜冻、高温及病虫害等自然灾害的敏感性更高。钾素供应不足也降低了其他肥料特别是 N 的利用率,降低了肥料使用的经济效益，提高了生产成本，增加了环境污染的风险。尽管在中东欧国家肥料的投入水平不高，但这个问题实际上是很严重的，因为在肥料使用的再次增长中,N 肥是使用较多的。保加利亚主要作物的养分平衡（表 4）表明 1996 年农业中已有 N 肥定位施用。供试作物平均养分平衡状况中只有 N 素平衡为正值。

应该大力提倡平衡施肥，以提高肥料利用率和减免环境污染。平衡施肥有助于找寻进行精细施肥管理的方法。

3.5　施肥与农业生产

在欧洲,化肥对作物产量的贡献平均为 35% ~ 40% ,在一些特殊情况下贡献会更大,化肥是提高作物产量和品质的非常重要的因素。自 90 年代初以来,中东欧国家作物产量水平

表 4 保加利亚主要作物的养分平衡（1996）

作物	平衡项	养分平衡(t)		
		N	P_2O_5	K_2O
小麦	作物携走	46 442	19 649	41 083
	施肥投入	62 926	6 920	230
	平衡	+ 16 484	- 12 729	- 40 852
大麦	作物携走	9 576	5 016	10 945
	施肥投入	10 695	487	48
	平衡	+ 1 119	- 4 529	- 10 897
玉米	作物携走	28 301	9 797	30 478
	施肥投入	11 220	435	0
	平衡	- 17 081	- 9 362	- 30 478
向日葵	作物携走	13 247	13 777	40 800
	施肥投入	5 902	1 504	295
	平衡	- 7 345	- 12 273	- 40 505
糖用甜菜	作物携走	208	173	736
	施肥投入	30	17	8
	平衡	- 178	- 156	- 728
总计	作物携走	120 404	69 582	210 736
	施肥投入	151 883	12 824	187
	平衡	+ 31 479	- 56 758	- 210 548

下降约有 20% ~ 30%(见表 5)，这与其肥料用量的骤减及土壤肥力水平的下降有很大的关系。

表5 中东欧国家作物相对产量(以 1989—1991 年的产量为 100%)

国家	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年
保加利亚	82.1	60.4	71.0	81.4	55.9	70.3	66.9
克罗地亚	68.5	75.0	72.3	77.1	80.0	84.4	94.0
捷克共和国	88.0	91.5	82.7	86.8	87.9	85.5	87.9
匈牙利	72.0	64.9	76.2	74.4	73.4	85.8	83.7
马其顿	112.8	81.0	93.6	96.8	97.8	101.8	108.1
波兰	75.7	99.1	77.1	89.7	91.0	83.5	92.9
罗马利亚	76.3	98.3	93.6	103.4	94.6	110.6	88.7
斯洛伐克	88.0	84.9	88.8	85.5	88.1	91.1	83.0
斯洛文尼亚	90.0	93.9	113.2	108.0	120.0	111.4	119.7
南斯拉夫	77.2	76.4	83.7	86.5	87.1	99.0	93.5
平均	83.1	82.5	85.2	89.0	87.6	92.3	91.8

(来源:FAO)

自 1993/94 年以来，中东欧国家肥料消费的再次轻微增长引起了作物平均产量相应的

略微增加(如图 4所示)。

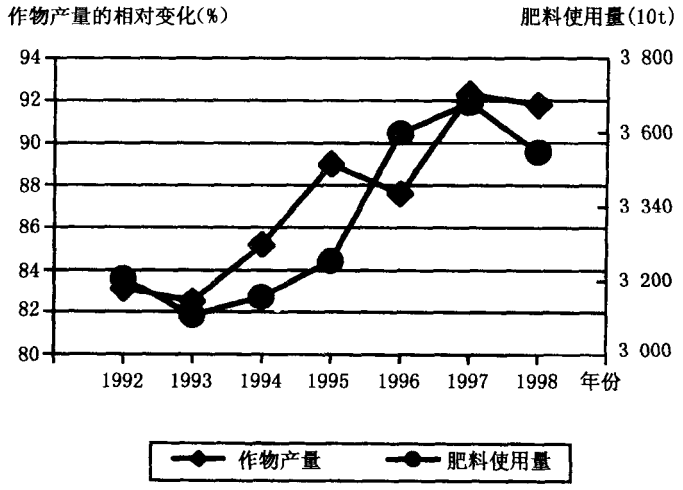
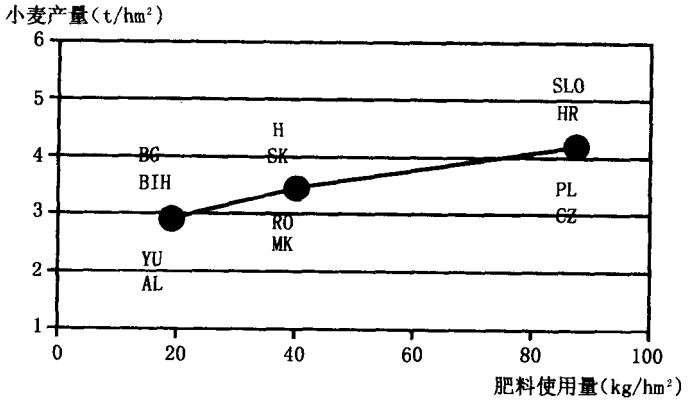


图 4　中东欧国家肥料使用的发展与作物产量的相对变化

由图 5 可以看出作物的产量水平对肥料施用量的强烈依赖性。



BG—保加利亚;BIH—波斯尼亚和黑塞哥维那;YU—南斯拉夫;AL—阿尔巴尼亚;H—匈牙利;SK—斯洛伐克;RO—罗马尼亚;MK—马其顿;SLO—斯洛文尼亚;HR—克罗地亚;PL—波兰;CZ—捷克共和国

图 5　中东欧国家 1998 年肥料使用与小麦产量的关系

在单位面积肥料使用量较高的斯洛文尼亚、克罗地亚、波兰及捷克共和国等国家，1998 年小麦平均产量最高可达 4.2 t/hm^2；而肥料用量较低的阿尔巴尼亚、南斯拉夫、波斯尼亚、黑塞哥维那及保加利亚等国家和地区，1998 年冬小麦平均产量只有 2.9 t/hm^2。这些情况说明中东欧国家农业增产的潜力还是巨大的。

4　结论

中东欧国家农业生产的潜力巨大。当前，农田养分循环呈现为负平衡，农业生产主要依靠消耗土壤养分库而得以进行。为了农业的可持续发展，必须在常规土壤监测和协调养分平衡的基础上，增加化肥和有机肥的施用，以减少土壤肥力的损失。为了提高农业生产的经济效益,维持土壤肥力水平;“中等”或“最适”养分供应等级值得推荐。有些农户的土壤中养

分供应水平较低的份额在增加，是由于其施肥措施不正确，这样其作物的产量与品质也将会下降，因为土壤养分库供应养分的能力有限，长期下去，土壤对一些不良环境（如干旱等）的缓冲能力也会下降。这样的情况对钾来说尤为严重。

此外，土壤中积累的有效磷和钾养分库不必损耗，但当它们的含量超过了最适水平时，也没有理由再继续积累，因为那样会增加农民的生产投资，且只能获得一点额外的增产。应该全面推介平衡施肥，以保证粮食安全及农产品的高产优质。耕作措施在有利可图的同时应该与环境保护不相冲突。

由于中东欧国家已经成为欧洲联盟的成员，其农业生产必须在维持土壤肥力的基础上能够高产并具有竞争力。有必要采取一定的行政手段，使农业生产有更高的产投比，更好的信贷渠道等，以使农民有能力向田间补充移走的养分，并保证农业生产中养分平衡的协调性。

参　考　文献

[1] FAO: Yearbook "Fertilizer" and "Production", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome/Italy, various years.

[2] Gosek, S., Fotyma, M., 1998. Long term potassium balance in Poland, 11th International Symposium Codes of Good Fertilizers Practice and Balanced Fertilization, Pulawy, 443 ~ 453.

[3] Fotyma, M., 1997. The present and the future of Polish agriculture. IFA production and international trade committee meeting, Warsaw, 1 ~ 4.

[4] Kadar, I., 1997. Talajaink tapelemgazdalkodasa az ezredfordulon. Növenytermeles, Tom 46, (1), 73 ~ 84.

[5] Travnik, K., Cermak, P., 1996. Porovnaní vysledku kontroly urodností pudy za období 1990—1991 a 1993-1995. Ustrední kontrolní a zkusební ustav zemedelsky v Brne, 20.

[6] Vostal, J., 1996. The impact of fertilization intensity on fertility and returns of selected plants in Czech Republic after 1990. IXth International Colloquium for the optimization of plant nutrition, Prague, 580 ~ 584.

[7] Nikolova, M., Samalieva, A., 1998. Economic potential of fertilizer use in Bulgaria with particular reference to potassium. 11th International Symposium Codes of Good Fertilizer Practice and Balanced Fertilization, Pulawy, 416-422.

（陈小琴译，谢建昌校）

多年生植物的养分循环与需求（以油棕为例）

Rolf Härdter
（国际钾肥研究所）

摘　要　油棕已经成为世界上最重要的油料作物之一，就当前来说，其产量潜力是其他任何产油作物所不能企及的。为了使这样的高产潜力能够表现出来，首要前提是要有足量的养分供应。这在潮湿的热带地区尤为重要，因为那些地区雨量较高，土壤肥力水平较低，且土壤对养分的吸附能力较差。多年生作物与森林生态系统相似，有一个相对封闭的养分循环系统。然而不仅由于自然的损失、无生产力树木引起的损失，还由于作物收获时移走大量的养分，以致这个循环远不完善，甚至即使提油过程中产生的所有废弃物或副产物都被归还田间，结果也是如此。即使这些再循环养分的量足够大，仍需要施入矿质肥料、特别是钾，以补充这些损失，使园区系统持续发展，保持较高的生产水平。在提高油棕生产能力方面，新的方法，即克隆法的引进描绘出了新的前景。为了提高对作物养分吸收和循环评估的精确性，文中对一种相对简单的田间试验结合实验室分析法进行了讨论，以作为一种提高油棕养分利用率的监测手段。

1　前言

油棕已经成为世界上最重要的油料作物之一。油棕起源于西非几内亚地区，如今仅在赤道南北纬 10°之间的狭窄地带可以见到。马来西亚和印度这两个东南亚国家是棕榈油的主要生产国。这种作物能够在这两个国家大面积生长主要得益于适宜的气候条件，这些地区年均降雨量可超过 1 600 mm，比油棕起源地的雨量还要多。此外，油棕已成为上述热带雨林地区最适宜种植的作物，这些地区不良的土壤条件往往限制了其他作物的成功栽培。

尽管油棕的这些优势为人们所了解已有几十年了，但仅在 20 世纪 80 年代才真正开始大量种植，这可能主要得益于科研和种植业的发展，这些已成为这种作物的种植能够获得成功的一部分，特别是在东南亚地区。在种植油棕的那些国家里，油棕有着很重要的经济地位，就要求种植行业不断努力以使它的生长条件得到优化，生产能力得到提高，因而使它在当今可能成了研究得最多的作物之一。

本文试图对已有的有关油棕的知识作一些介绍，特别是在作物营养领域，并对已经取得的成绩和将要解决的问题作一番回顾与展望。作为一种多年生木本作物，对油棕营养状况的研究也可以作为其他生长在类似条件下的多年生植物的一种借鉴。对从这种作物获得的一些经验和研究成果进行适当的修正后，其中的一些基本规律也可以用在果树、橡胶和茶等其他多年生作物的研究上。

2　油棕与其他油料作物的比较

在热带雨林生态区，油棕的产量明显比大豆、油菜、向日葵等其他油料作物要高。随着

需要全本请访问 www.ertongbook.com