

# 钾 地球生命的必需元素



英文编制设计: Chris Dawson  
中文翻译制作: 全国农技中心田有国博士/推广研究员  
© 版权所有: 国际钾肥研究所(IPI), 2014  
ISBN 978-3-905887-15-0  
DOI: 10.3235/978-3-905887-15-0

# 钾 地球生命的必需元素



炼金术符号中的钾

|           |
|-----------|
| 19        |
| <b>K</b>  |
| POTASSIUM |
| 39.0983   |

元素名：钾  
化学符号：K  
原子序数：19  
原子量：39  
族别：碱金属

钾元素由英格兰的Humphry Davy爵士于1807年发现。钾英文名“potassium”由“potash” (pot ashes, 草木灰) 衍生而来，拉丁文名称是从阿拉伯文qali借来的，原意是“碱”。钾元素符号(K)来源于拉丁文*kalium*。

# 钾 地球生命的必需元素



## 钾：生命的必需元素

钾素是地球生命的重要元素之一。所有的植物和动物都需要大量的钾素，这些钾素均来自于植物所生长的土壤。动物直接从植物中获得钾素，或者靠吃那些以植物为食的动物（或动物产品）获得钾素。

收获农产品，比如籽粒、果实或者叶片，都会将它们从土壤中吸收来的钾素带出农田。随着全球人口数量增长和食物产量的提高，从农田带走的钾素的总量也随之增加了，这就需要补充钾素，以维持土壤肥力和土壤生产力。补充土壤钾素在保持全球食物安全方面发挥着非常重要的作用。

补充的钾素一部分是靠循环回田粪便和在田作物秸秆实现的。但农产品中含有的更大的一部分钾素却没有返回到农田，而是通过全世界的城市下水道系统流失到海洋中了。这些没有得到循环利用的钾素，需要通过在生产农产品的农田里使用钾肥而得到补充。

### 钾肥起源和表示方法

在二十世纪初以前，人们从过滤在金属盆中的树木灰烬中获得钾素，这也是钾称为potash的原因。当然，那个时候这种方法获得的钾盐都是用来制造肥皂，特别是用来洗涤羊毛制品。现在，当指钾肥时，几乎普遍都用单词potash来表示。

通过对植物灰分进行矿物成分分析，发现植物生长需要钾素。从很早开始，肥料中钾含量都是用氧化钾( $K_2O$ )来表示的。这一点经常会引起混淆，因为事实上，肥料中几乎从来没有出现过这种氧化物。这个小册子主要是讨论肥料中的钾，所以为了一致，还是用 $K_2O$ 来表示钾素含量，而不是采用很少情况下才用到的K的表示方法<sup>1</sup>。

<sup>1</sup>  $K_2O$ 表示的钾含量乘以0.83就转换为K表示的钾含量。K转换为 $K_2O$ ，要除以0.83。

# 钾 地球生命的必需元素



## 人体需要多少钾素？

人体平均含钾量约140g K，全球70亿人含钾总量约为100万t  $K_2O$ 。然而，每人每天推荐需钾量换算成每人每年钾素摄入量为2 kg  $K_2O$ ，而每年每人排泄掉差不多同样数量的钾素。全球人口总的推荐年摄入量为1400万t  $K_2O$ 。考虑到人们越来越倾向消费更多的富含钾素的水果和蔬菜，以及食物链中钾素利用的低效性，全球每年从农田移出的钾素的量至少是这一数据的2倍。这一估算数，可以通过计算每年从农田到消费者的钾素转移的量得到印证。表1列出了一些主要农作物和粮食的全球产量及其所含的钾素的估算值。

表1. 每年收获10种农产品(作物和牛奶)时带走的大量钾素的估计值

| 农产品  | FAO估计的全球产量<br>(100万t) | 产品中所含K <sub>2</sub> O的量<br>(100万t) |
|------|-----------------------|------------------------------------|
| 大豆   | 261.6                 | 5.0                                |
| 甘蔗   | 1,685.4               | 4.7                                |
| 玉米籽粒 | 844.4                 | 4.2                                |
| 新鲜蔬菜 | 1,036.3               | 4.0                                |
| 小麦籽粒 | 650.9                 | 3.6                                |
| 水稻籽粒 | 672.0                 | 2.2                                |
| 马铃薯  | 324.2                 | 1.9                                |
| 水果   | 602.9                 | 1.5                                |
| 全脂鲜奶 | 599.4                 | 1.1                                |
| 大麦籽粒 | 123.5                 | 0.7                                |
| 总计   |                       | 28.9                               |

表1显示，在不含草、饲草和肉类产品的情况下，每年全球收获农作物时从农田带走的钾素(K<sub>2</sub>O)约为2900万t。如果包含肉类产品的话，这一数字每年肯定超过3500万t。

# 钾 地球生命的必需元素



## 植物需要多少钾素？

尽管收获作物中含有大量的钾素(表1)，然而，植物生长时需要的钾素量更大。几乎在所有情况下，作物的含钾量远远超过包括氮素在内的所有其他营养元素。

钾素在增强植物对外在因素导致的干旱、霜冻、强光照、病虫害的抗逆性方面发挥着重要作用。缺钾的作物更容易遭受这些不利因素的侵袭，而合理施用钾肥的作物产量受到影响较少。钾还是植物很多主要功能的必需元素，包括酶的激活、蛋白质的合成和植物的光合作用等。在植物体的每个部分都有钾素的分布。

植物体内细胞液中钾素含量远远高于其他部分的含量，以确保植物细胞的刚性和使细胞处于通过渗透吸收水分而产生的压力下。实际上，植物细胞中的这种液体是一种钾素溶液，每升组织液中钾素浓度可以高达 $7.8\text{g K L}^{-1}$ 。这一浓度相当于每吨植物组织液中含有 $9.5\text{kg K}_2\text{O t}^{-1}$ ，而生物量高的作物常常含有超过 $60\text{t hm}^{-2}$ 的植物组织液。



即使在组织液中钾含量较低的情况下，很明显的是，正在生长的作物的含钾量也是非常大的，常常超过 $300\text{kg K}_2\text{O hm}^{-2}$ (图1)。除了像绿色蔬菜和青储饲料这些收获绝大多数生物产量的作物外，这一数据高于大多数作物的推荐施钾量。在收获大量生物产量的情况下，通过植物衰老和枯萎时的枯枝落叶，或者通过收获后留在田间的作物秸秆，植物组织液中的大量钾素又归还到农田土壤中。收获谷物籽粒时带走的钾素相对较少；根据其实际带走量决定作物的推荐施肥量。在作物生长发育时，作物的需钾量较高，这时，土壤中应该储存足够的钾素，以满足作物的需要。

要获得好的作物品质，必须施用足量的钾素营养。钾素对植物体内的同化物质的运输和其他植物生理过程非常重要，植物生长过程中缺钾会降低这些生理过程的效率，对作物生长发育状况和农产品质量产生不可逆的影响。就像图2显示的植物缺钾的情形，植物缺钾会使转运到籽粒部分的同化物质减少，对产量和品质都带来负面影响。

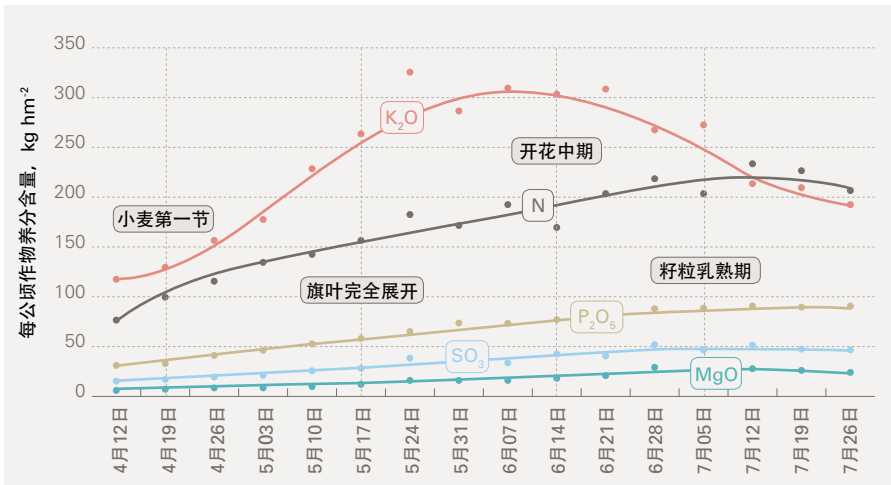


图1. 每公顷小麦作物的养分积累情况，表明需要很高的施钾量(N=氮， $\text{P}_2\text{O}_5$ =磷， $\text{K}_2\text{O}$ =钾， $\text{MgO}$ =镁， $\text{SO}_3$ =硫)。资料来源：钾盐发展协会(PDA, 2012; SCPA & MAP数据, 法国); [www.pda.org.uk/news/nf76.php](http://www.pda.org.uk/news/nf76.php).

# 钾 地球生命的必需元素



图片1. 施钾对水稻稻穗大小的影响。国际钾肥研究所(IPI)-中科院南土所(ISSAS)在中国长沙的合作项目。



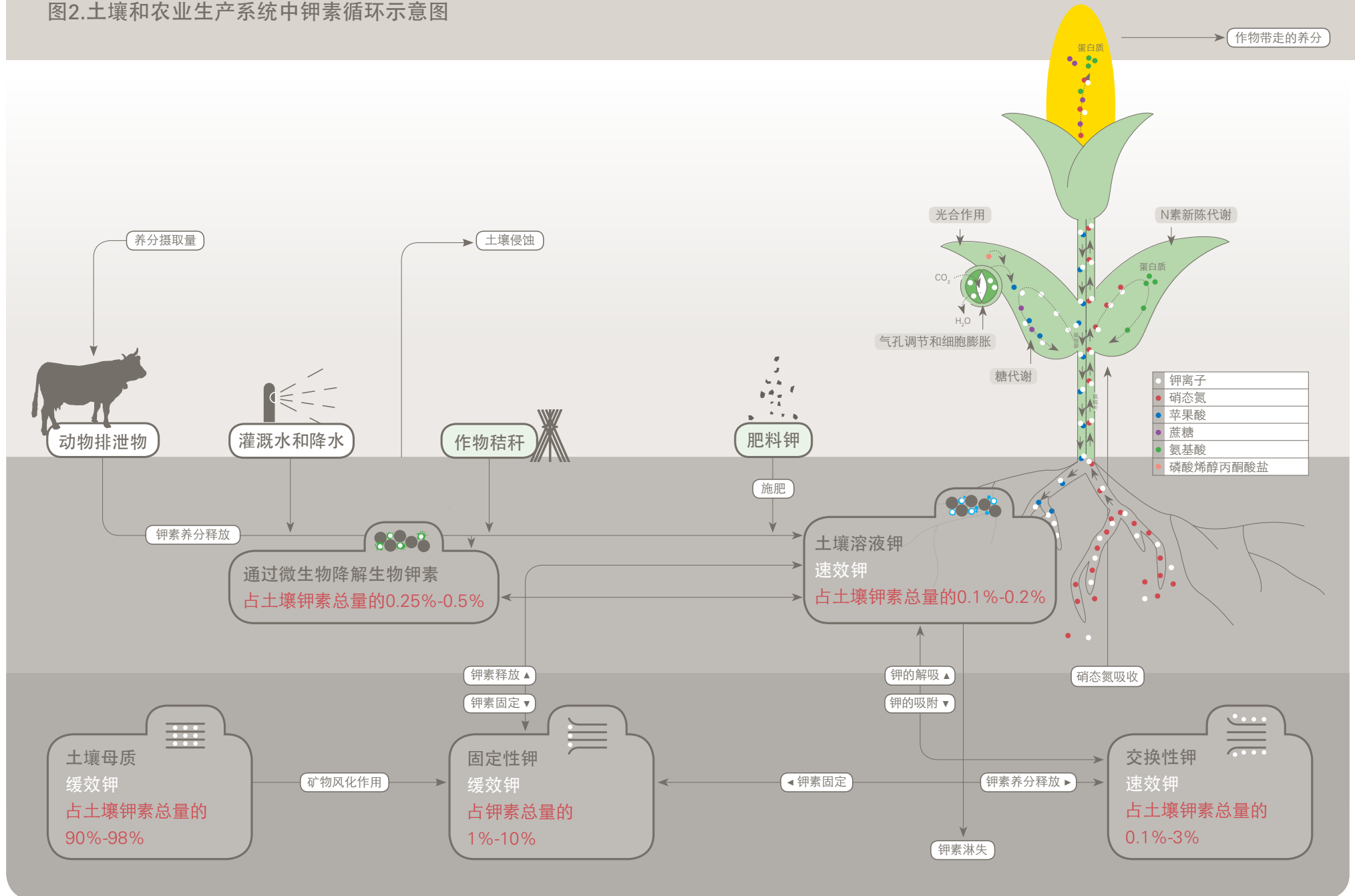
图片2. 花生缺钾的典型症状。印度海德拉巴市(Hyderabad)CRIDA的Ch. Srinivasa Rao友情提供。

## 植物缺钾症状

常见的植物缺钾症状是植物叶尖和边缘出现坏死，就像上面这张照片显示的那样(图片2)。当然，更多时候，植物缺钾时并不出现任何可见的症状，这种影响通常被称为“潜在缺乏”(hidden hunger)(图3)。如果植物已经显现出缺钾症状，说明缺钾已经严重影响了植物产量和品质。这些缺钾症状出现时，立即施用钾肥，也许可以减轻其影响，但不可能彻底得到消除。

即使在植物没有出现明显的缺乏症状时，缺钾导致的胁迫现象也非常常见。图片3显示了足量施钾(+K)和缺钾(-K)玉米叶片的情况。发生干旱胁迫时，缺钾的玉米叶片显示出典型的卷曲(Rolling)症状，缺钾加剧了干旱胁迫的症状。

图2.土壤和农业生产系统中钾素循环示意图



资料来源: Marschner et al., 1996 (based on Benzioni et al., 1971 and Kirkby and Knight, 1977); Syers, 1998; Krauss, 2003; Pettigrew, 2008; Römheld and Kirkby, 2010.

# 钾 地球生命的必需元素

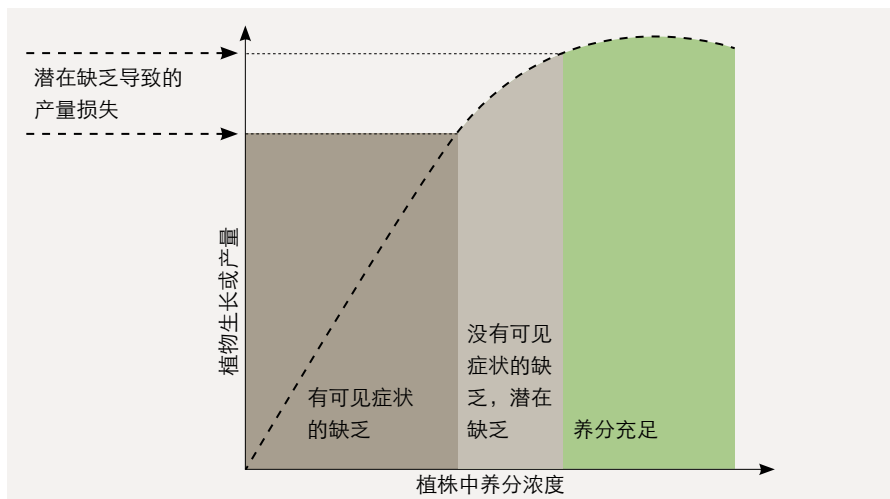
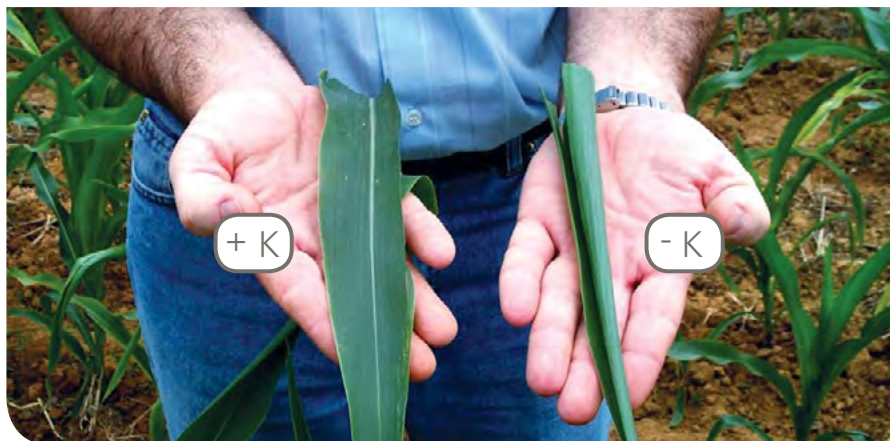


图3. 缺钾对作物产量或生长的可见和不可见的影响。



图片3. 在作物充足施用钾肥时，玉米叶片没有明显的干旱胁迫症状。



## 土壤中的钾

无论是森林、草地还是种植农作物，只有肥沃的土壤才能保持土壤的生产能力。肥沃的土壤可以保持包括钾素在内的植物必需的许多营养元素。土壤的这种保持植物养分的能力与土壤粘粒含量和土壤有机质含量有关。除了在某些砂性非常高的土壤中，钾素有一定的淋溶外，钾素在土壤中几乎不移动。土壤钾素的这种性质保证了植物生长时有可用的钾素储备。

然而，收获农产品和从农田里移出农作物秸秆的同时，也移出了它们含有的营养元素，所以也会导致土壤养分库的消耗（也称为土壤矿化）。因为作物生长发育需要大量的钾素，所以非常必要通过施肥使土壤保持足够的钾素含量，同时，施用钾肥的目的也是对土壤钾库的补充（图2）。

通过实验室的土壤测试分析，可以了解土壤中有效钾的含量。在良好管理的农田操作中，测试土壤钾素含量是标准的操作程序，有助于让农民了解钾肥或有机肥的施用量，以确保种植的作物不出现钾素缺乏的问题。

# 钾 地球生命的必需元素

## 钾肥产量和储量

非常清楚，钾肥的生产量和施用量都很大，也很必要。表2是美国地理调查委员会 (USGS) 对全球年度钾肥生产量和储量的估计值。

表2. 钾肥 ( $K_2O$ ) 生产国的产量和探明资源储量。资料来源: USGS2012;  
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/mcs-2011-potas.pdf>.

|          | 2010年量生产量     | 2011年量生产量     | 储量               |
|----------|---------------|---------------|------------------|
|          | 百万吨 $K_2O$    |               |                  |
| 加拿大      | 9,788         | 11,200        | 4,400,000        |
| 俄罗斯      | 6,280         | 7,400         | 3,300,000        |
| 白俄罗斯     | 5,250         | 5,500         | 750,000          |
| 巴西       | 453           | 400           | 300,000          |
| 中国       | 3,200         | 3,200         | 210,000          |
| 德国       | 3,000         | 3,300         | 150,000          |
| 美国       | 930           | 1,100         | 130,000          |
| 智利       | 800           | 800           | 130,000          |
| 以色列      | 1,960         | 2,000         | 40,000           |
| 约旦       | 1,200         | 1,400         | 40,000           |
| 英国       | 427           | 430           | 22,000           |
| 西班牙      | 415           | 420           | 20,000           |
| 其他国家     | -             | -             | 50,000           |
| 全球总计 (约) | <b>33,700</b> | <b>37,000</b> | <b>9,500,000</b> |

表2中的储量是指探明的可开采部分的资源储量。按照现在的速度，这些可用资源可供开采250年。然而，因为钾肥生产成本按照现在的价格来说，部分钾矿开采从经济的角度看是不划算的，所以有很多钾矿资源并没有得到开发利用。据估计，这部分资源可能有2500亿t，从数量上看，可供开采利用大约5000年。另外，海水含有大量的钾素，含量大约为 $400 \text{ mg kg}^{-1}$ ，也就是说，2,000t海水可以生产1t  $K_2O$ 。随着海水淡化工厂生产淡水越来越普遍，有可能海水中包含钾素在内的矿质成分，将变

成海水淡化的副产品。非常清楚的是，从全球角度来看，不存在钾素供应不足的问题。当然，即使如此，还是应该对那些从全球农场收获的农产品和畜产品中移出的大量钾素，在可行的地方，应该被循环利用还回到农田系统。



照片4. 钾肥在转运前的储存和处理。







## 钾与环境

地壳及其土壤平均含有大约 $2000 \text{ mg kg}^{-1}$ 的钾 (相当于大约 $2,400 \text{ mg K}_2\text{O kg}^{-1}$ ), 其中大约有5%的部分可以被作物随时吸收利用, 这部分溶于土壤溶液中的钾素非常少, 甚至少于土壤中被雨水淋洗损失的钾素。土壤中相对高的钾素含量, 不会对土壤质量和生物多样性产生破坏作用, 河流中的钾素含量很少达到 $10 \text{ mg K L}^{-1}$ 。钾素对植物和动物健康来说, 都是必需的营养元素, 没有证据表明, 河流中和农田土壤中的钾素含量超出常规水平很多的情况下, 钾素会对人类健康或者环境产生负面影响。当然, 与钾素有关的可能引起对环境的负面效应的情况, 在土壤中缺乏钾素但同时由于不平衡施肥而施入大量氮素, 从而导致氮素利用率低下时, 有可能发生。

保持土壤中足够的有效钾含量, 不仅是为了避免作物由于缺钾导致的负面效应, 也是确保作物吸收利用其他营养元素所必需的。特别是对氮素的吸收利用来说, 更是如此。即使在按照合理推荐施肥量施用氮素时也是这样。如果土壤缺钾, 然后作物缺钾, 作物对氮素的吸收利用量和利用率都严重受到抑制。这将影响作物的经济效益, 也意味着没有利用的氮素留在土壤中, 从而可能通过淋洗或其他途径损失掉, 从而对环境带来负面影响。

# 钾 地球生命的必需元素

## 钾肥

在有条件的地方，施用富含钾素的农家肥和将作物秸秆还田，虽然不是实际的钾矿资源，但通过这种方式实现了农田钾素循环。就像李比希 (Justus von Liebig) 1840年发现的那样，由于收获的农产品卖到农场外面，所以其带走的钾素也应该通过一定的方式进行补充。像堆肥和厌氧发酵的含钾废弃物还田，以及灌溉水带来的钾，对土壤钾素的补充有一定作用，但土壤钾素的补充，还是主要依靠施用化学钾肥。

### 氯化钾 (MOP), $KCl$

农民施用的钾肥绝大多数是氯化钾 (MOP)。钾矿作为史前海洋干涸的残余，埋藏很深。现在正在干涸的海水，以及使用卤水作为钾肥钾源的地方，比如以色列的死海 (Dead Sea) 和中国的青海盐湖 (Salt Lake)，氯化钾往往和氯化钠伴生在一起。卤水中绝大多数的氯化钠可以通过沉淀而析出，而含钾矿石粉碎后通过浮选也可以去除其中几乎所有的氯化钠。在这两种工艺中，氯化钾细晶都可以被挤压和再次粉碎成颗粒钾肥，方便农民施用。氯化钾细晶常常被工厂作为复合肥的生产原料，也可以经过进一步的纯化，生产适合液体肥料的产品、工业用品和食用低钠盐。

### 硫酸钾 (SOP), $K_2SO_4$

在降雨量少的地区，肥料产品中的氯离子会在土壤中积累，加剧土壤的盐化。在这样的情况下，硫酸钾是更受青睐的钾肥产品。自然情况下，硫酸钾并不多，绝大多数都是在生产氯化钾工艺中使用硫酸而生成硫酸钾-被称为Mannheim工艺。硫酸钾的含钾量低于氯化钾，硫酸钾含有50%的 $K_2O$ ，而氯化钾含有60%的 $K_2O$ 。

### 其他含钾矿物

自然界含钾矿物还有很多，包括钾盐镁矾、软钾镁矾、杂卤石，还有大多数氯化钾提取后的含钾矿物，以及自然态硫酸钾。这些矿物很多都含有其他植物营养元素，比如镁、硫、还有氯化钠。大多数这些矿物都允许在那些经过检测后需要施用的有机农场中使用。



图片5. 位于俄罗斯的一个钾矿深层含钾矿物。

硝酸钾 (NOP),  $KNO_3$ ; 磷酸二氢钾 (MKP),  $KH_2PO_4$

这些肥料大都是氯化钾生产过程中使用硝酸或者磷酸而产生的，它们都是特定的营养源。在像园艺栽培时通过灌溉水施用肥料（灌溉施肥）的情况下，这些肥料应用非常普遍。

# 钾 地球生命的必需元素

## 参考文献

- Benzioni, A., Y. Vaadia, and H.S. Lips. 1971. Nitrate Uptake by Roots as Regulated by Nitrate Reduction Products of the Shoot. *Physiol. Plant* 24:288-290.
- Kirkby, E.A., and A.H. Knight. 1977. Influence of the Level of Nitrate Nutrition on Ion Uptake and Assimilation, Organic Acid Accumulation, and Cation-Anion Balance in Whole Tomato Plants. *Plant Physiol.* 60(3):349-353.
- Krauss, A. 2003. Assessing Soil Potassium in View of Contemporary Crop Production. Regional IPI-LIA-LUA Workshop on Balanced Fertilization in Contemporary Plant Production, Kaunas-Marijampol, Lithuania, 30 September – 1 October 2003.
- Marschner, H., E.A. Kirkby, and I. Cakmak. 1996. Effect of Mineral Nutritional Status on Shoot-Root Partitioning of Photoassimilates and Cycling of Mineral Nutrients. *J. Exp. Bot.* 47:1255-1263.
- Pettigrew, W.T. 2008. Potassium Influences on Yield and Quality Production for Maize, Wheat, Soybean and Cotton. *Physiol. Plant.* 133(4):670-681.
- Römheld, V., and E.A. Kirkby. 2010. Research on Potassium in Agriculture: Needs and Prospects. *Plant and Soil* 335(1-2):155-180.
- Syers, J.K. 1998. Soil and Plant Potassium in Agriculture. Proceedings No. 411. International Fertiliser Society, York, UK. 32 p.
- The Potash Development Association. 2011. Potassium Uptake Requirements of Some Crops. [www.pda.org.uk/news/nf76.php](http://www.pda.org.uk/news/nf76.php).
- U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries. 2011. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/potash/mcs-2011-potas.pdf>.

**INTERNATIONAL  
POTASH INSTITUTE**



国际钾肥研究所 (IPI)  
Industriestrasse 31  
CH-6300 Zug, Switzerland  
T +41 43 810 49 22, F +41 43 810 49 25  
ipi@ipipotash.org, www.ipipotash.org

IPI在中国, 印度和撒哈拉以南非洲项目协调员  
Mr. Eldad Sokolowski, c/o ICL Fertilizers  
P.O. Box 75, Beer-Sheva, 8410001, Israel  
T + 972 8 646 57 39, F + 972 8 628 09 95  
Eldad.sokolowski@icl-group.com



National Agrotech Extension and Service Center,  
Ministry of Agriculture (MOA), China  
全国农业技术推广服务中心 (NATESC)  
田有国 博士/推广研究员  
北京市朝阳区麦子店街20号楼  
电话: 010-59194121, 微信公众号: nongji100  
tianyouguo@agri.gov.cn, www.natesc.gov.cn