

遵照德国联邦议院的决议，由



联邦
食品及
农业部



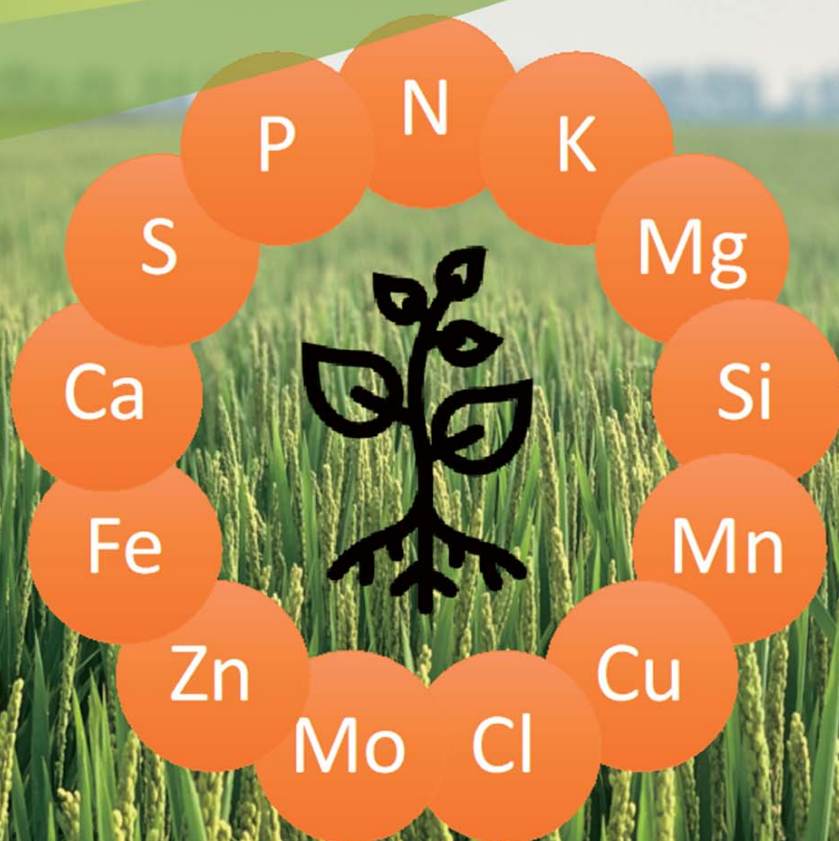
中德农业示范园

DCALDP
Deutsch-Chinesischer Ackerbau- und Landtechnik-Demonstrationspark

资助

中德农业示范园手册

② 宏量和微量营养元素





中德农业示范园手册——宏量和微量营养素

2021年5月第1版

不保证所有信息的完整性和准确性。

本宣传册由德国联邦食品及农业部（BMEL）资助的中德作物生产与农业技术示范园（DCALDP）负责出版。其中陈述的所有观点、结果、结论、提议或建议均为作者个人观点，不代表德国联邦食品及农业部的观点。

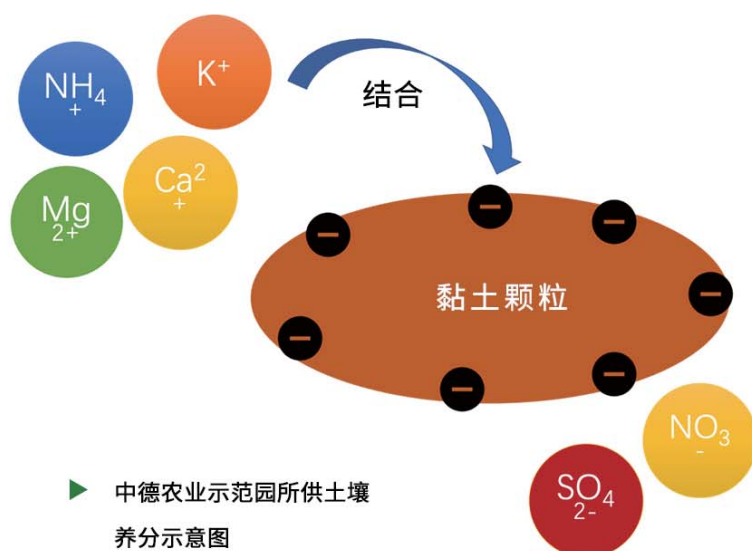
稻米图片由 中德农业示范园 提供

项目合作方:



◆ 土壤中的养分

土壤中，养分将以带正电荷的阳离子或带负电荷的阴离子形式存在。为什么阳离子和阴离子很重要？因为土壤中的粘土微粒是带负电荷的。这意味着所有带正电荷的离子，即阳离子，都会保留在土壤中。而所有带负电荷的离子，即阴离子，会很容易被大雨冲走。举例来说，



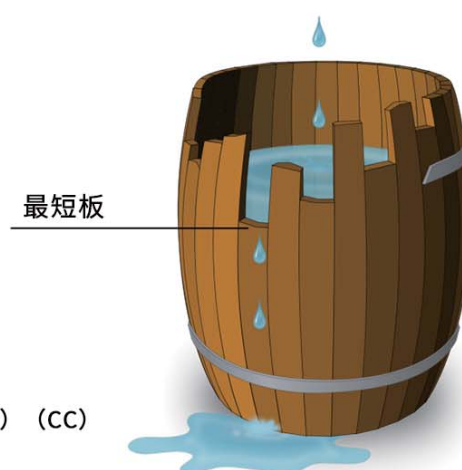
土壤分析对于找出土壤中各个养分的含量很重要。但仅分析酸碱度（pH值）、磷、钾和镁是没有意义的。根据威廉·A·阿尔布雷西特的说法（阿尔布雷西特法），最重要的是了解土壤中氧化钙、氧化镁、氧化钾、钠和氢的比例。

比例如下图所示：

元素	目标饱和度 (%)
钙	60-70
镁	10-20
钾	2-7,5
钠	0,5-3
氢	10-15

一般来说，如果一种元素含量太少或太多，请考虑德国科学家尤斯图斯·冯·李比希博士的最小因子定律。这将是限制产量的重要因子。

钙和镁应该一起占80%。例如，在轻质土壤中，需要更多的镁，镁应占20%，钙应占60%。在重质土壤中，需要更多的钙，约占65-70%，镁应占10-15%。



◆ 宏量营养素

植物营养中的宏量营养素是植物生长发育所需的大量化学元素。除了主要从水或二氧化碳中获得的碳（C）、氢（H）和氧（O）之外，宏量营养素还包括：氮（N）、磷（P）、钾（K）、硫（S）、钙（Ca）、镁（Mg）和硅（Si）。

► 土壤中的氮（N）以铵阳离子（ NH_4^+ ）和硝酸根阴离子（ NO_3^- ）的形式存在。

氮作为生长的主要驱动力，是作物生产中最重要养分之一。这种营养素对产量的影响最大，因为它是叶绿素和许多酶的重要组成部分。此外，它是合成氨基酸和蛋白质的最重要元素。植物需要氮，主要用于芽分生组织和根尖的生长。

因此，植物中的氮运输可以双向进行。这在区分缺乏不同营养素症状时很重要。例如，硫缺乏仅表现在最嫩的叶子上。

植物主要以硝酸盐的形式从土壤中吸收氮，较小程度上以铵的形式吸收。吸收由根部完成。氮以各种形式存在于土壤中。一部分氮与有机分子结合成有机物，其他部分则以矿化物（铵、硝酸盐）存在。氮形态之间发生各种转化过程。并不是所有的氮形态都能很好地被植物利用，因此肥料类型和施肥时间会对作物的产量和质量产生很大影响。

叶片不能吸收大气中的氮。在农作物中，豌豆、黄豆、羽扇豆或三叶草等豆科植物可以通过与根瘤菌共生来吸收空气中的氮。

由于蛋白质降解，植物缺氮会导致老叶萎黄和坏死。此外，由于代谢功能紊乱，分蘖率和根系生长会放缓。

粮田缺氮表现（来源：中德农业示范园）



◆ 肥料中的氮

硝酸盐在土壤中的流动性很强。它在土壤中的水分中溶解，并随着土壤中的水分一起运输到植物根部。因此，含硝酸盐的氮肥见效快，并且很大程度上不受天气影响。硝酸铵（含35%的氮，氮由50%的 NH_4 和50% NO_3 组成）是这种氮肥的一个典例。另一方面，铵被粘土矿物锁定或被有机物吸收，不能自由移动。植物只能吸收靠近根部的铵。只有土壤中的细菌将铵转变为硝酸盐时（硝化作用），氮才能被植物吸收。因此，植物主要以硝酸盐的形式吸收氮。施用富含硝酸盐的肥料是非常科学的，比施用尿素等非硝酸盐肥料产量更大。若选用尿素，根据土壤湿度和温度，尿素中的氮可能需要在施用后数周才能被植物利用。

► 土壤中的磷以磷酸阴离子（ PO_4^{3-} ）的形式存在

磷参与能量代谢的所有过程，影响碳水化合物、脂肪和蛋白质的合成。它对植物生长、根系发育、抗病和抗霜冻、水分和养分吸收以及作物质量至关重要。

植物通过磷酸盐（ H_2PO_4^- 、 HPO_4^{2-} ）的形式由根部吸收磷。

吸收不单取决于土壤中的物质。植物可吸收的磷酸盐是否被溶解、能否被利用，取决于温度和土壤结构。土壤中的磷酸盐形式多种多样。有必要区分水溶性磷酸盐、不稳定的磷酸盐和稳定的磷酸盐。因为植物只吸收水溶性磷酸盐。水溶性磷酸盐含量很少，必须从土壤储备中迅速供应，以防止磷酸盐暂时缺乏。这种供给来自于不稳定的磷酸盐，受土壤水分和温度的影响。因此，特别是早春，缺乏水溶性磷酸盐会抑制作物发育。



磷的可用性取决于pH值和土壤温度：

土壤 pH 值	磷的相对利用率	土壤温度 对土壤中磷的相对利用率的影响			
		13°C	16°C	18°C	21°C
5.0	23 %	7 %	10 %	17 %	23 %
6.0	46 %	14 %	20 %	34 %	46 %
6.5	92 %	29 %	40 %	67 %	92 %
7.0	100 %	31 %	43 %	73 %	100 %

来源：弗莱堡IAU

由于叶绿素和花青素含量增加，**磷缺乏**可通过微红色的叶子辨别。代谢紊乱会抑制生长、降低分蘖率和阻碍根系生长。如果缺少磷，植物不能有效吸收水和其他养分，收获的作物质量和产量就会下降。某些情况下，磷的总含量可能足以满足植物的需求，但pH值的高和低、大量的钙会使植物无法吸收磷。在这种情况下，叶面施肥非常有必要。



缺磷症状（来源：Alandmanson）
(CC)

肥料中的磷

磷的吸收与水溶性磷酸盐的浓度密切相关。只有增加土壤溶液中磷酸盐的浓度，施肥效果才能显现。土壤吸收磷酸盐相当快，植物只能利用一部分磷酸盐。因此，施肥时间应尽可能接近植物需求。施到地表的水溶性磷酸盐会随着降水渗入土壤中，约深5厘米。因此，在春季施肥可直接到达植物根部，保证盐分供应。这样施肥需要用含有水溶性磷酸盐或不稳定磷酸盐的肥料，标准的NPK复合肥通常含有这种磷酸盐。而稳定的磷酸盐一般只在有机农业中使用。

应根据各种作物的需求施用肥料。许多研究已经确定了所需的磷剂量。例如，要达到亩产量230公斤油菜，每亩土地将需要大约4.2公斤的五氧化二磷复合肥，或1.8公斤的磷肥（1公斤磷肥=2.29公斤五氧化二磷复合肥）。当然，这将因土壤、气候等而异。为了保持土壤肥沃，必须将磷含量控制在一定水平。可以定期采集土壤样本，如每5年一次。土壤中磷含量高会危害环境，尤其是水域生态系统。

► 钾以阳离子（K⁺）形式存在于土壤中

钾可以调节植物中的水分，调控细胞内渗透压的能力对植物来说非常重要。叶细胞中钾的浓度控制气孔的开闭。钾强化植物的细胞壁，增强抗病性和抗冻性。

钾的施用含量主要取决于土壤类型。由于钾与粘土中的矿物质结合，重质土壤中的钾可能无法完全被吸收。而在轻质土壤中，钾可以进到更深的土层中。

缺钾时，植物会枯萎。由于运输的同化物减少，老叶子边缘会坏死，植物更容易得病。这样，谷粒停止发育的风险会增加。

肥料中的钾

大多数作物（谷物、玉米、油菜、甜菜）和草原都使用含氯化钾的肥料。一些作物，如马铃薯，



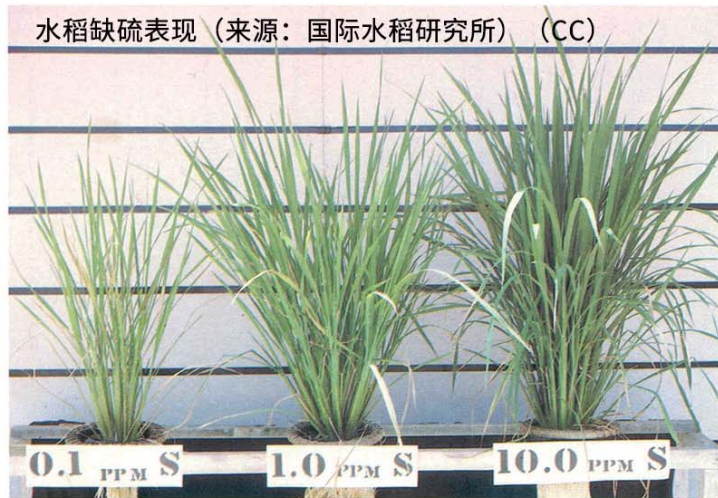
对氯化物非常敏感。因此，马铃薯所用肥料大多含硫酸钾。施肥应始终考虑每种作物的需求，许多研究已经确定了所需的钾含量。例如，亩产量530公斤的小麦需要大约3.2公斤的氧化钾。当然，这将因土壤、气候等而异。为了保持土壤肥沃，必须将钾含量控制在一定水平。依据是定期土壤采样（如每5年一次）。

► 土壤中的硫酸根阴离子 (SO_4^{2-}) 的形式存在。

硫是含硫氨基酸（蛋氨酸、胱氨酸、半胱氨酸）的必要成分，对叶绿素代谢很重要。硫支持蛋白质合成，并有助于形成维生素和促进生长的酶。植物若要有效利用氮，硫必不可少。硫对减少吸收的硝酸盐很重要。

土壤中90%的硫结合成有机物，其余以结晶形式存在。根部主要通过硫酸盐吸收硫。叶片通过空气吸收，但量很少，可忽略不计。有机硫（如液体有机肥）和纯硫都不能被植物直接吸收，必须先经土壤细菌矿化，然后才能吸收。这需要一定的温度和时间。

缺硫会导致叶片颜色变浅，尤其是嫩叶。由于新陈代谢减少，植物生长缓慢。硝酸盐含量增加，氮（肥）吸收降低。轻质沙质土壤（有机物质很少）、冬季大量降雨、干燥的春季、低温以及有机和矿物硫肥施用量低等，会使情况加剧。



硫磺肥

春季，植物对硫的需求量远远高于土壤的供给量。硫吸收量与氮吸收量同时增加，因此在春季植物开始抽芽时直接施肥，以保证最低供应量是必要的。硫肥用量应始终与氮肥用量挂钩。一般而言，每公顷谷物和玉米需要施大约10-20公斤的硫肥，油菜大约需要20-40公斤。注意，大多数硫肥会消耗土壤中的石灰（氧化钙）。有机肥含硫很少，植物可立即吸收的硫酸盐的比例不到 20%。如上文所述，细菌需要一些时间来矿化有机硫。

氮肥与硫酸盐肥配比的几点建议

作物	比例：氮/硫
油菜、芥末、卷心菜、洋葱	5 - 6 : 1
小麦、玉米、甜菜、马铃薯	8 - 10 : 1
豆科植物，如：大豆、豌豆、黄豆等。	5 - 8 : 1
草地	8 - 12 : 1

► 钙（Ca）以阳离子（Ca²⁺）存在于土壤中

钙对植物的重要性次于对土壤的重要性。但它有助于细胞伸长，对植物和植物根系的生长非常重要。钙还是植物细胞的功能性成分，可提升细胞膜的功能性和稳定性。

在土壤中，钙主要起稳固的作用。如果土壤供应充足，对其结构会产生积极的影响，减少土壤侵蚀和淤积的风险。钙也可提高生物活性，从而分解土壤中的有机物质。提高养分利用率。通过施用石灰，可以得到适合土壤类型的最佳pH值，这将有助于确保养分得到更好的利用。在试图优化土壤pH值时，镁、磷、钠等其他元素也很重要。

如果植物缺失钙元素，幼叶就会发生萎黄现象，抑制生长。



施用石灰

石灰具有中和酸度和提高 pH 值的作用。主要依据施用目的和土壤类型，决定使用生石灰还是普通石灰。由氧化钙和氧化镁组成的生石灰养分含量最高，可快速提高土壤 pH 值。这种石灰能立中和酸，因此，施用后必须立即与覆盖土壤，使其与土壤水发生反应并有效发挥作用。碳酸盐形态的石灰（碳酸钙）发挥作用比生石灰缓慢。它们主要用于保持 pH 值水平稳定。除了配料，研磨程度是最重要的质量标准。碳酸盐石灰很难溶于水，因此必须精细研磨，以充当土壤中的肥料。研磨强度越大，与酸反应的表面积越大，产生效应越快。与超细磨石灰相比，粗磨石灰的量足够大。为了获得快速效果，碳酸盐石灰应具有至少 0.2 毫米和更细的研磨度。除了石灰肥料，也有矿物氮肥料，如石灰、硝酸铵含有一些钙。

► 钙 (Ca) 以阳离子 (Ca^{2+}) 存在于土壤中

镁是光合作用的必需元素，因为它是叶绿素的中心原子。此外，它还在蛋白质、碳水化合物和维生素的合成中发挥重要作用。土壤中的镁含量很大程度上取决于母质土壤的发育情况。因此，有许多土壤天然含镁量低或天然含镁量高。特别是在轻质和酸性土壤上，土壤中可供植物利用的镁往往不足以满足许多农作物的需要。富含粘土的土壤通常镁含量较高。

植物缺失镁元素将会干扰代谢活动。因此，碳水化合物的生产将减少，谷物每穗粒数将减少。光合作用减弱，出现萎黄，通常表现为浅色条纹。



玉米缺镁表现（来源：Agronom）（CC）

肥料中的镁

硫酸镁具有水溶性，能很快被植物吸收。其他形式的镁，如碳酸盐、氧化物和硅酸盐，只有在土壤中转换才能被植物吸收。它们用于土壤和植物施肥。

应根据各种作物的需求施用肥料。许多研究已经确定了所需的镁剂量。例如，亩产量 530 公斤的小麦将从土壤中消耗大约 1.05 公斤的镁。当然，这将会因土壤、气候等因素而异。为了保持土壤肥沃，必须将镁含量控制在一定水平。定期抽取泥土样本（例如每 5 年取样一次）。

◆ 微量营养素

微量营养素是植物必需的矿物质，在植物组织中的浓度很低，每种元素只有几微克。这些矿物质包括铁（Fe）、锰（Mn）、锌（Zn）、铜（Cu）和钼（Mo）、氯（Cl）和硼（B）。

如果不进行有机肥料施用，微量营养素的施用对作物生产来说是一项具有挑战性的任务。如果定期施用有机肥，大多数微量营养素含量都很充足。然而，为了获得最大的产量，对微量营养素的需求增加了，这些营养素在施肥中的重要性也增加了。

► 铁（Fe）以阳离子（Fe²⁺）的形式存在于土壤中。

植物中的铁负责激活酶，它是种子和胚芽形成的一部分，参与光合作用。

矿物质土壤中的铁含量通常超过植物需求量。在石灰石丰富的土壤上，在有水涝的情况下，铁的供应量需定量。（水稻）。

植物缺铁表现为条纹式萎黄。

可通过叶面施肥来实现，每亩施肥量可达0.03-0.1公斤。



小麦缺铁表现
（来源：国际玉米小麦
改良中心）（CC）

► 锰 (Mn) 以阳离子 (Mn^{2+}) 的形式存在于土壤中。

锰促进植物中碳水化合物和蛋白质的合成，它能激活酶，对激素平衡很重要。同样，它还控制化学氧化和还原过程。土壤的含水分、土壤的含氧量和土壤的pH值影响土壤中锰的有效性。在干燥的条件下，锰氧化并以二氧化锰的形式沉积。因此，需定量施用锰。在潮湿的土壤中，它对植物是有效的。在pH值低于6.5的紧实的土壤中，锰的有效性通常优于pH值较高的松散土壤。



水稻缺锰表现（来源：国际水稻研究所）(CC)

缺锰表现为叶片颜色变浅，幼叶脉间条出现萎黄、坏死。因此，生长将会受到抑制，出现根系发育不良。植物对霜冻的耐受性较差，作物的品质（含糖量、脂肪含量等）受到影响，豆类和谷物对锰的需求较高。

► 锌 (Zn) 以阳离子 (Zn^{2+}) 的形式存在于土壤中。

锌是酶的组成部分，影响酶的反应。锌增强抗病力，提高花粉和种子活力。锌对蛋白质合成和能量代谢也很重要。此外，锌有助于产生促生长物质。土壤对锌的吸收取决于土壤成分，也取决于土壤的pH值和磷酸盐含量。

缺锌是非常罕见的，它发生在pH值高 (>7) 或石灰含量高的地方。当土壤中的磷酸盐含量很高时，就会产生难溶的磷酸锌。土壤中未分解的有机物含量高，锌含量高，例如玉米产量高，也可能出现锌缺乏，表现为叶片变形和萎黄或是坏死。而且，硝酸



小麦缺锌表现（来源：国际玉米小麦改良中心）(CC)

盐会在植物体内积累，蛋白质含量也会下降。疾病的发病率将会增加。例如，在小麦中，老叶上的亮点会变成褐色。玉米和油菜对锌的需求量较高。

如果出现缺锌，可在叶子上施用硫酸锌或锌螯合物，每亩施用量可达0.03公斤。

► 铜 (cu) 以阳离子 (Cu^{2+}) 存在于土壤中

铜对光合作用和蛋白质合成很重要。因此，大部分铜存在于新陈代谢活跃的幼叶中。铜是多种酶的催化剂，能稳定植物的茎，保证花的发育和花粉的繁殖能力。在土壤中，铜与有机物质、粘土微粒、铁和锰氧化物结合在一起。在 pH 值高 (> 7.0) 的情况下，铜只在有限的土壤中有效。因此，大量施用石灰往往会导致铜缺乏。铜在土壤中几乎不能流动。



铜缺乏主要发生在沙质泥土和泥炭土中，症状会首先出现在嫩叶上，叶子卷曲。枯萎将会发生，嫩叶随之枯死。此外，先是萎黄和坏死，稳定性降低，果实和种子产量下降。有时候，谷穗会变白。一般来说，植物的生长受到抑制。小麦、大麦、燕麦和向日葵对铜的需求量相当高。

可将肥料施用在叶子上。如果是土壤施肥（每亩最大为0.7公斤），推荐施铜量为每亩0.13-0.33公斤。

► 钼以阳离子 (Mo^{2+}) 形式存在于土壤中

钼是酶和酶代谢的重要激活剂，也是正常能量代谢活动所必需的。它与豆科植物和固氮酶（根瘤菌的固氮作用）的功能影响较大。

缺钼主要发生在酸性位置 ($\text{pH} < 5$)，但一般很少发生在作物生产中。而且，视觉诊断也很困难，较老的叶片颜色会变淡，并可能出现萎黄、坏死和叶片变形。缺钼还会导致种子产量下降。



推荐每亩施用0.13公斤的钼酸钠（叶面施肥）。

► 硼以阳离子（B³⁺）形式存在于土壤中

硼会影响碳水化合物的代谢，它对细胞分裂、细胞分化、细胞伸长和细胞壁的稳定都很重要，对植物的组织发育和生长产生较大影响。细胞壁的果胶成分中含有硼，对水分调节起着重要作用。像油菜这样的农作物的肥力很大程度上取决于它。

首先，可以在植物最嫩的叶片和植物上部和根部观察到缺硼症状。它会抑制生长和根系发育，主要发生在干旱时期和沙土上，因为硼极易被淋溶。油菜缺硼会导致根变粗。油菜、甜菜、苜蓿和向日葵对硼的需求量相当高。

施肥时应考虑作物的需求和土壤测试的结果。根据经验，每公顷大约需要一公斤硼来充分供应农作物。大量施肥是不可能的，因为有淋溶的风险，但是如果大麦或豆科植物在施硼后直接轮作生长，就会出现硼供过于求的情况。

长势健康的甜菜地（来源：中德农业示范园）



◆ 参考文献

Effizient-Duengen.de, 2021年5月12日

IAU Freyburg - Pflanzenanalysen zur Diagnose des Ernährungszustandes

Landwirtschaftskammer Kärnten – Bodenanalysen richtig interpretieren

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen-Düngung mit Phosphat, Kalium, Magnesium

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen - Handbuch Düngedarfsermittlung für Stickstoff und NRW 中的 Phosphat

W Bergmann教授-Mikronährstoffe im Ackerbau-Unterschätzt und doch essentiell,
in LOP-Ausgabe / 2010年9月 / 10月

知识共享图片：

文件：2005 1214 0928 Hlokozi-acid-induced缺磷.jpg 标有CC0 1.0（来源：Alandmanson）

“小麦缺钾表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“北卡罗来纳州沿岸平原玉米缺硫表现314322” 根据CC BY 2.0授权（来源：SoilScience.Info）

“小麦缺氮表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“小麦缺铁表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“小麦缺钼表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“水稻作物科学基础_p180k” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（图片来源：国际水稻研究所）

“水稻作物科学基础_p180i” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（图片来源：国际水稻研究所）

“小麦缺锌表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“小麦缺铜无法成粒表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“小麦缺硼表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

“文件：缺镁的玉米叶面症状.jpg” 根据CC BY-SA 3.0授权（来源：Agronom）

“小麦缺钙表现” 根据CC BY-NC-SA 2.0授权（来源：国际玉米小麦改良中心）

李比希木桶理论，网站Wikimedia.org（来源：DooFi）



www.huanghai-demopark.cn