

遵照德国联邦议院的决议，由



联邦  
食品及  
农业部

资助



# 中德农业示范园手册

## ④ 土壤中矿质氮对植物栽培的重要性及其测定（矿质氮-方法）





## 中德农业示范园手册

### 土壤中矿质氮对植物栽培的重要性及其测定 (矿质氮-方法)

2021年7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。

项目合作方:



## ◆ 目录

氮肥 .....	02
农作物的氮需求量 .....	03
施肥的目的和矿质氮方法 .....	05
矿质氮方法如何发挥作用？ .....	06
如何使用矿质氮结果 .....	08
中国东南部的试验结果昭示良好前景 .....	09
中德农业示范园的首批矿质氮分析结果 .....	10
结论&展望 .....	12
参考文献 .....	13

## ◆ 氮肥

氮（N）是植物需要的主要养分之一。在农作物中，氮也是保证产量，稳定产量，生产优质产品关键。

在生长季之初，弄清楚土壤中有多少氮可供农作物利用是非常重要的。接着，计算出具体需要施用多少氮肥，来保障农作物的生长。因为，如果氮含量过低，农作物会受到影响，产量也会随之降低。另一方面，如果过度施肥，浸出、迳流及气化损失的风险会增大，因此会产生不必要的费用，同时产生过多的污染环境。由此会造成水体富营养化、温室气体排放增多等负面影响。另外，农作物的密度变大，倒伏的风险因此升高，同时植物也更容易致病，这些也是过度施肥的负面影响。受此影响，需要加大对杀虫剂的使用。

就氮肥而言，仅过度使用20%就能产生每年每亩56元人民币或每公顷105欧元的肥料成本\*。以1000亩（66.67公顷）为例，相当于每年耗费56000元或7000欧元！



## ◆ 农作物的氮需求量

经过了多年的农田试验，几乎确定了各种农作物需要多少氮就能达到特定的质量目标和产量水平。

例如，优质冬小麦（粗蛋白质含量在13-14%）要想达到530公斤/亩（8吨/公顷）的产量水平，大约需要15.3公斤氮/亩（230公斤氮/公顷）。<sup>1</sup>

表1汇总了不同农作物的氮需求量，具体可能取决于农作物的粗蛋白质含量。特定农作物的粗蛋白质含量及预期的粗蛋白质含量越低，施肥量就越少。

表1：在各农作物在预期产量下的氮需求量，依据2020年德国肥料法<sup>1</sup>

农作物	产量 公斤/亩 (吨/公顷)	氮需求量 公斤/亩 (吨/公顷)	产量每增加67公斤/亩（1吨/公顷）时的氮增加量 公斤/亩（吨/公顷）	产量每下降67公斤/亩时的氮下降量 公斤/亩（吨/公顷）
冬小麦（粗蛋白质含量在13-14%）	530 (8.0)	15.3 (230)	0.66 (10)	1 (15)
冬大麦	465 (7.0)	12 (180)	0.66 (10)	1 (15)
冬油菜	265 (4.0)	13.3 (200)	1.33 (20)	2 (30)
夏玉米	600 (9.0)	13.3 (200)	0.66 (10)	1 (15)

另一种方法则是根据每收获100公斤农作物时的氮需求量进行计算。为此，德国的农业研究机构、大学和农业商会也进行了大量的农田试验和盆栽试验。因此，要想收获100公斤小麦，预估需要大约2.85公斤的氮。

部分数值见表2。

表2：不同农作物每收获100公斤时的氮需求量，依据2020年德国肥料法<sup>1</sup>

农作物	氮需求量 千克/每收获100公斤
冬小麦（粗蛋白质含量在13-14%）	2.85
冬大麦	2.57
冬油菜	5
夏玉米	2.22

## ◆ 施肥的目的和矿质氮方法

施肥是为了在适当的时间和地点为农作物提供适量的养分，于此同时，还应注意植物能从土壤中利用的已有养分含量。为此，需要进行一个简单的计算：

植物在特定生长阶段的氮肥需求量 = 其在下一个生长阶段的预期吸收量减去土壤中的现有矿质氮含量

简言之：

$$\text{氮肥需求量} = \text{植物的吸收} - \text{土壤中矿质氮的含量}$$

植物吸收的是矿物质形式的氮（铵和硝酸盐）。因此，Scharpf和Wehrmann（汉诺威大学）在20世纪70年代末开发了矿质氮方法。

通过矿质氮方法可确定土壤中有多少矿质氮（铵态氮和硝酸盐氮）可被植物吸收利用。因此，除了用来确定农作物下一生长阶段的需求外，这也是计算所需施肥量的依据基础。



## ◆ 矿质氮方法如何发挥作用？

以下说明是巴伐利亚州农业研究中心（LfL）的指南摘要。

首先且最重要的是土壤样本的采集。在此，应了解一些基础的取样知识。理想情况下，要使用一个由三部分组成的钻探工具，从三个土层中取样。要想获得有代表性的样本，需要在每块田地上均匀采集单体样品（大约每亩0.8个或每公顷12个），再将其混合，形成各土层的混合样本。

在独立分析各土层时，依据的背景是植物还会从更深的土层中吸收水分和养分。在生长期，植物的根系会深入这些土层。幼嫩植物一般只能从上层土壤中汲取养分，而植物越成熟，从深层土壤中吸收的养分就越多。我们假设，在整个生长期，大约有80%的养分来自顶层0-20（30）厘米的土壤，其余的则来自更深的土层。

在德国，一般会分析以下三个土层：

- 0-30厘米（耕作层）
- 30-60厘米
- 60-90厘米

取样，获得各农田的三个复合样本，这些样本必须单独存放和分析。



图：在黄海农场采集矿质氮-方法所需的土壤样本，M. Roelcke 2017年4月拍摄

## ◆ 如何使用矿质氮

下面是一个简单的示例：

表3：矿质氮分析结果示例

深度	0-30厘米	30-60厘米	60-90厘米	$\Sigma$ 0-90厘米
矿质氮 公斤/公顷	15	18	27	60
矿质氮 公斤/亩	1	1.2	1.8	4

示例：冬小麦的产量目标为600公斤/亩（9000公斤/公顷），粗蛋白质含量为14%。因此，氮需求量为2.85公斤氮/100公斤农作物（表2）。即每亩需要17.1公斤氮（256.5公斤氮/公顷）。

在地块上，测得矿质氮含量是4公斤氮/亩（60公斤氮/公顷）（表3）。

所以，还需要施氮肥：**17.1公斤氮/亩**（256.5公斤氮/公顷）减去**4公斤氮/亩**（60公斤氮/公顷）= **13.1公斤氮/亩**（196.5公斤氮/公顷）

在这个例子中，大约23%的氮需求量由土壤中的矿质氮来满足。一种简单的办法是，在首次施氮肥时，仅考虑土壤中的矿质氮总含量（0-90厘米深度）。然后，也相应地减少首次施肥量。

为了更准确地解释不同土壤深度（0-30厘米、30-60厘米、60-90厘米）下矿质氮含量的分布情况，可以降序排列氮肥的施肥量。在这个冬小麦示例中，意味着在首次施肥（EC21）时，施肥量减少1公斤氮/亩（15公斤氮/公顷）。在分蘖末期（EC 29/30），施肥量减少1.2公斤氮/亩（18公斤氮/公顷），后期施肥（EC 39/47）将减少1.8公斤氮/亩（27公斤氮/公顷）。不过，这样做可能会导致建议施肥量出现问题，因为土壤中的矿质氮随时都在变化。植物养分，特别是硝酸盐，非常容易从上层浸出至深层，但在干燥条件下，也可能通过水流蒸发而向上输送。

因此，一定要考虑到当地的土壤和天气条件。例如，如果犁底层或土壤压实情况显著，植物就难以到达更深的土层，因此，只有在早期生长阶段才能在一定程度上将更深土层中的矿质氮含量纳入考虑范围。

---

散装样本或复合样本必须正确标示：农场、农田/地块、取样深度和取样日期。必须避免这些样本在田间受热或受到阳光照射（存放在冷却箱中），并保存在塑料密封袋中，直接送到实验室进行分析。由于矿质氮会快速转化，所以在不能立即提取和分析的情况下，需要把样本储存在冰箱中，最高温度为+2°C。

采集土壤的最佳时间是生长期的初期。对于冬季作物而言，在冬末至早春——大约在施肥前的一到两周进行采集。对于夏季作物而言，在春末第一次施肥前一到两周，以及在秋收后进行采集。从矿质氮取样到最后一次耕作/施肥应至少间隔六个星期。

在实验室提供给客户的报告上，会注明各土层中以及0-90厘米总剖面中的矿质氮含量（表3和第10/11页的图表）。

矿质氮（矿质氮）含量主要取决于土壤类型、此前的施肥措施、前茬作物、实际的天气条件、作物秸秆的掺入、土壤有机质含量、有机质分解过程以及土壤中的微生物活动。因此，同一地块每年的矿质氮含量各不相同。

## ◆ 中国东南部的试验结果昭示良好前景

2008年至2011年，作为由德国教育与研究部（BMBF）和中国科技部（MOST）联合资助的中德“氮素管理”研究合作项目的一部分，在江苏省进行了传统冬小麦-夏水稻双作物轮流耕作及氮肥田间试验。德国的布伦瑞克工业大学、哥廷根大学、莱普尼茨农业景观研究所（ZALF）以及中国科学院（CAS）南京土壤研究所（ISS）均参加了该研究。中德的科学家团队在太湖地区以及淮安附近（都在江苏省）调研了不同的氮肥施用量对粮食产量和土壤氮素（矿质氮）含量的影响。

太湖地区呈现的结果是最有趣的，其中表明，在氮肥减少了15-25%的情况下，平均粮食产量（冬小麦、夏水稻）并未没有明显下降。

在传统的施肥方法下，土壤剖面中残留的氮含量（矿质氮）仍非常高，尤其是在5月末6月初冬小麦收获后。这时，硝酸盐浸出和/或反硝化损失的风险非常高，如果随后的夏季作物是灌溉低地水稻的话，这种情况会尤其明显。科学家们得出的结论，解决此问题最简单的办法是调整、减少对冬小麦的施肥量。在减少施肥后，农田试验测得矿质氮值明显下降，同样印证了这一发现。

总体而言，考虑到产量、经济和生态因素，因此建议将江苏省夏水稻的氮肥量减少15-25%，将冬小麦的氮肥量减少20-25%。

## ◆ 中德农业示范园的首批矿质氮分析结果

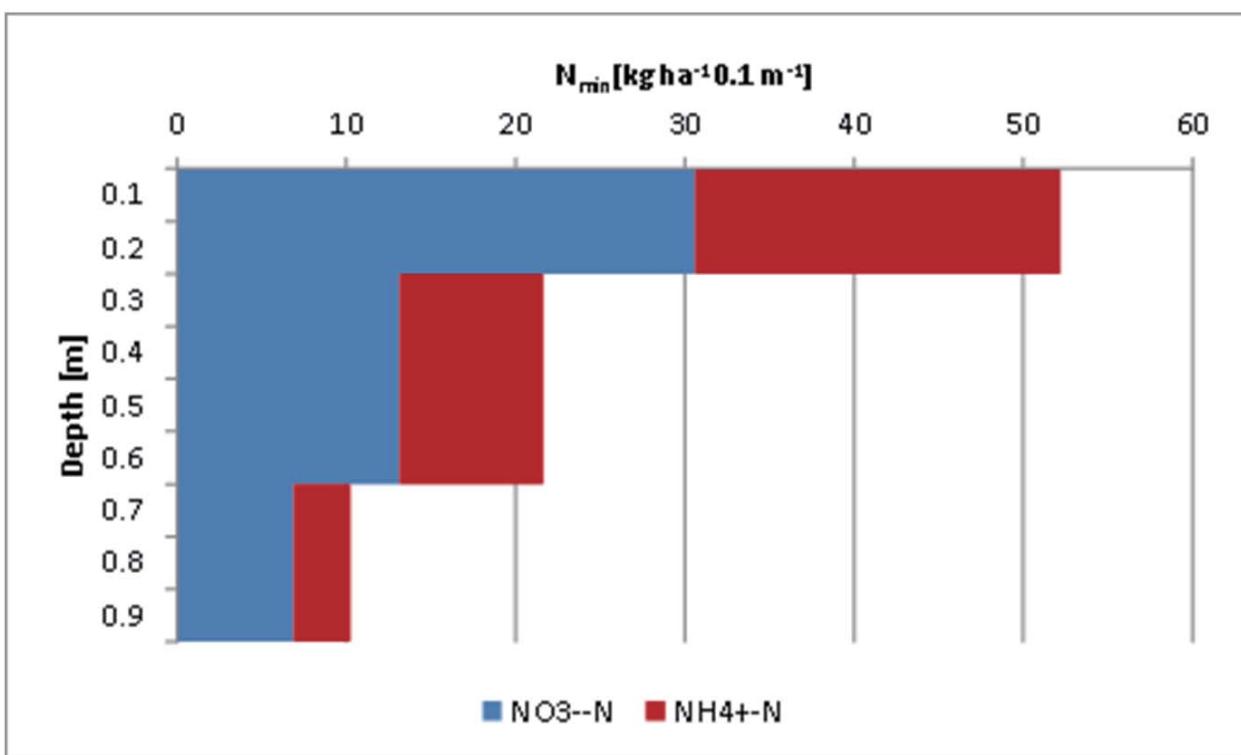
2017年4月，联合中国科学院（CAS）南京土壤研究所（ISS）合作，进行了中德农业示范园项目的首次矿质氮含量测量。

在两块已经给农作物施了氮肥的地块上进行了取样。（表4）

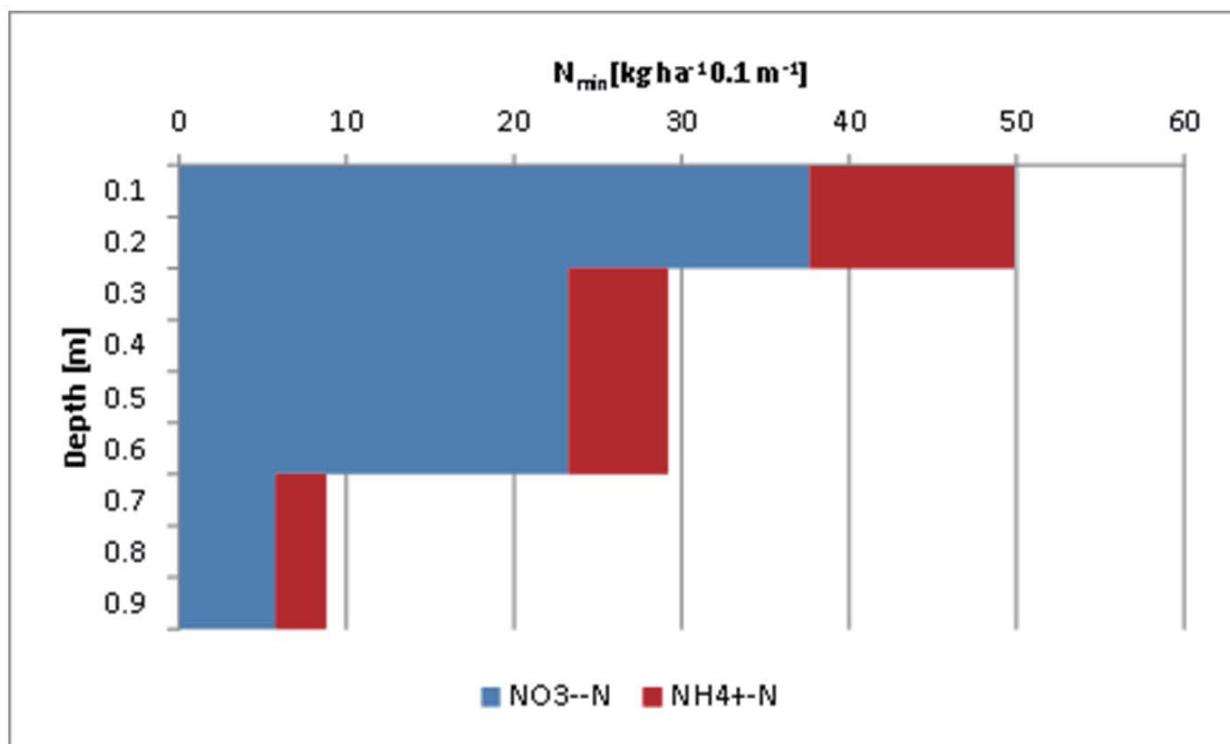
表4：2016/17年分析地块的氮肥施用情况（冬小麦）

日期（预期发展阶段）	氮肥施加量 公斤/亩（公斤/公顷）
首次施肥：2016年12月（EC 21）	6.87(103)
第二次施肥：2017年2月（EC 27）	4.2 (63)
第三次施肥：2016年3月（EC 30/31）	4.67(70)
总计	15.73 (236)

取样日期为4月17日，以及在上述冬小麦施肥后，采样结果<sup>4</sup>如下：



上图：矿质氮——第一地块的分析结果  $N_{min\sum}$ ：222公斤/公顷=14.8公斤/亩，地块上的总施肥量为236公斤氮/公顷=15.73公斤氮/亩（Roelcke 2017年）。



上图：矿质氮——第二地块的分析结果  $N_{min\sum}$ : 243公斤/公顷=16.2公斤/亩 地块上的总施肥量为236公斤氮/公顷=15.73公斤氮/亩 (Roelcke 2017)。

由此可知，在传统施肥之后，土壤中的氮含量相对较高。此时，也就是4月中旬，农作物一般已经发育得非常好了。抽穗已经成形，再过七到八周就能收获了。根据在淮安附近进行的三年期矿质氮含量测量和矿质氮动态模拟来看，预估在收获前残余的氮吸收量约为3.3公斤/亩（50公斤氮/公顷）。这说明，在小麦收获后，浸出的可能性相对较高，因此会造成氮损失，因为下一茬作物在幼苗期的氮吸收量也非常低。在下一次分蘖之前，不需要更多的氮。这一情况仍然提供了巨大的优化潜力，以降低成本，保护环境。

如果下一季作物是灌溉低地水稻，在播种/移植前和灌溉时需要进行水淹，所以，预期的氮损失会更大。

出于此原因，中德农业示范园中也在进行进一步的试验，以减少氮肥的使用，提高效率，为此也采用了矿质氮-方法。

## ◆ 结论&展望

在德国，通过测量土壤中的矿质氮（Nmin）含量来确定需要多少氮肥量，已经司空见惯，开展了多年。这是因为土壤分析的付出能获得回报。因此，近几十年来，氮过剩问题已经得到了缓解，据德国联邦环境局称，1992-2016年间的下降幅度达到了20%。过去几年中，法律规定德国农民有义务将矿质氮含量纳入肥料规划中。另外，如前茬作物、土壤中的腐殖质含量和覆盖作物的使用等因素也必须纳入氮需求量的计算中。

在中国成功实施化肥使用量零增长行动方案之后<sup>6</sup>，使用矿质氮-方法能够进一步减少化肥的使用，同时不损失产量，并有助于实现农业农村部提出的当前政府目标<sup>7</sup>。然而，目前在中国只有少数几个实验室能提供合适的分析方法。

如有任何问题、建议或咨询合作事宜，请随时联系DCALDP团队。

## ◆ 参考文献

1. Düngeverordnung. DüV. (2020)。
2. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Anleitung zum Ziehen von Nmin-Proben. (2019)。
3. Hofmeier, M. 等人 太湖地区水稻小麦系统中的氮管理：相关建议基于农田试验和调研。  
*Agric. Ecosyst. Environ.* 209, 60–73 (2015)。
4. Roelcke, M. 在中国东南地区水稻小麦系统中应用矿质氮方法计算氮肥的情况介绍. (2017)。
5. Umweltbundesamt. Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss.  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/stickstoffeintrag-aus-der-landwirtschaft#stickstoffuberschuss-der-landwirtschaft> (2020)。
6. Yu, X., Li, H. & Doluschitz, R. 在中国实现矿物肥料的可持续管理：综合分析与评估。  
*Sustainability* 12, 7028 (2020)。
7. 农业农村部. 化肥农药使用量零增长行动目标顺利实现 我国三大粮食作物化肥农药利用率双双达40%以上。 [http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202101/t20210117\\_6360031.htm](http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202101/t20210117_6360031.htm) (2020)。

由Alejandro Figueroa、Patrick Paziener（中德农业示范园）以及Marco Roelcke（霍恩海姆大学）编辑。若未特别说明，则图片由DCALDP项目制作。



[www.huanghai-demopark.cn](http://www.huanghai-demopark.cn)