UK-China Sustainable Agriculture Innovation Network

low carbon agriculture

政策简报 No 2

2010 年 12 月

改善氮肥管理、保障粮食安全、促进环境友好[1]

几十年来，保障全国人民粮食安全是中国政府的核心目标，并且已经取得了举世瞩目的成功。然而，一系列的粮食增产措施也在全国和区域范围内引发了严重的环境问题。与此同时，这些措施的负面影响正在给农民和国家造成一定的经济损失。

自 20 世纪 70 年代以来，中国粮食产量的增长速度远高于人口增长速度。1978 年到 2008 年间，人均粮食产量增加了 30%，足量低价的粮食供应不仅满足了口粮需求，保障了温饱而且大幅度改善了人体营养。在过去的 20 年里，中国人的蛋白总摄入量和动物蛋白摄入量的增幅分别超过了 50%和 100%以上[2]。

然而，这些成就引发的环境问题不断加强，并且威胁到了中国农业长期的可持续发展。通过改善氮肥管理，特别是减少氮肥大范围过量施用，可以避免或者减少环境问题[3]。在政策简报 1 中我们课题组已经提出，优化氮肥管理同

改善氮管理(INM)目标是通过采取 5 个主要方面的行动使资源效率和农业可持续性最大化：

- 全面考虑土壤，有机肥和灌溉水中已有的氮，确保氮肥用量不超过作物高产的需氮量，防止合成氮肥的过量施用。
- 确保氮肥在合适的（最佳的）时期施用。
- 应用最有效的施肥技术
- 利用成本有效的缓释肥料和抑制剂，扩展有机肥的利用和有效性，减少面源污染，温室气体排放和氮肥带来的其他环境影响
- 确保为作物提供的氮、磷和钾量的平衡

---

[1]此简报基于中英项目“改善农业养分管理-对低碳经济的重要作用”。项目由中国农业大学张福锁教授，英国洛桑实验站 David Powlson 教授牵头，中国农业部和英国外交部提供资助。本项目属于中英可持续农业创新协作网 （SAIN）的一部分 (见 www.sainonline.org)。

[2] FAO Food Balance Sheets

ROTHAMSTED RESEARCH

NORTH WYKE RESEARCH

DEV INTERNATIONAL DEVELOPMENT University of East Anglia

UCL Environment Institute

样会增加农民收入，减少水体和大气面源污染，促进中国向低碳经济转型以及延缓全球气候变化。目前人们的思维观念还没有转变，认为减少氮肥施用难以保持或改善粮食安全。因此，本期政策简报通过大量研究结果、证明二者是不矛盾的，并且可以同时实现粮食增产和环境保护，实现真正的双赢。本文主要内容包括：

(1)氮肥在粮食安全中的作用；

(2) 证明全国存在大范围过量施用氮肥的现象（主要是合成氮肥，在一些蔬菜作物上也存在有机肥过量），可以减少过量施用的氮肥，不会带来减产、危及国家粮食安全；

(3) 中国应采取更多措施改善氮管理，提高氮利用效率，同时减少面源污染等环境问题。

氮肥在粮食安全中的作用

毫无疑问，没有氮肥，中国难以实现粮食安全，今后仍将是这样。由于中国扩大耕地面积潜力有限，过去 30 年里粮食产量的增加大部分来自于以扩大灌溉、改良作物品种、大量施用化肥为特征的集约化土地利用模式（图 1）。

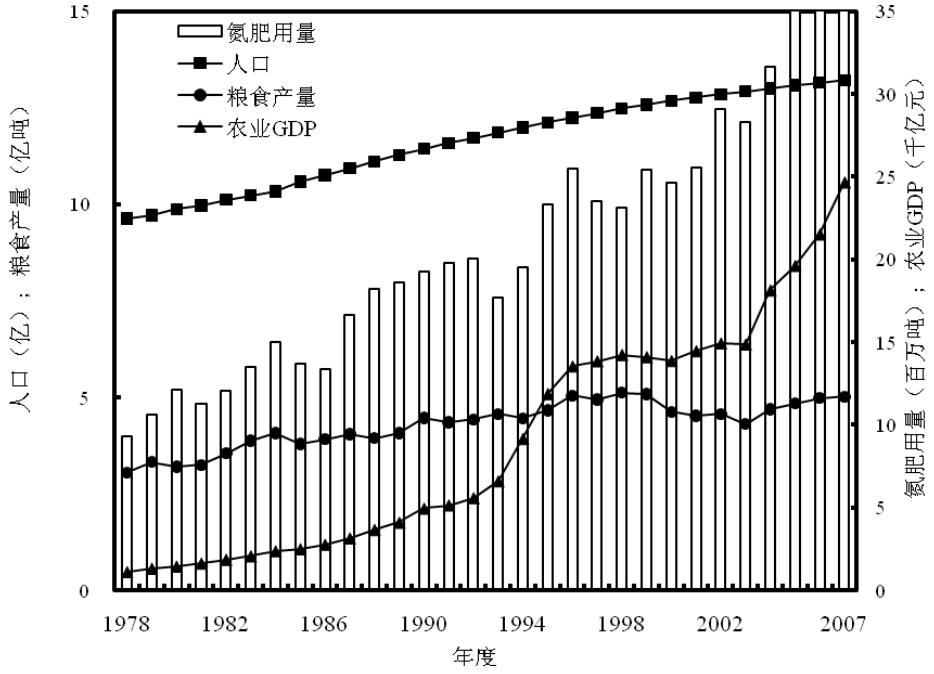

图 1 1978 年以来作物氮肥用量的增加（来源：中国国家统计局[4]）

然而，从 1990 年开始，粮食产量增幅减缓、氮肥利用效率下降、大范围环境问题开始出现。例如，在 1978 到 2007 年间，水稻和小麦产量增长了 1 亿吨以上，初期这个增量的

---

[3]Peng,S.,Buresh,R.J.,Huang,J.,Zhong,X.,Zou,Y.,Yang,J.,Wang,G.,Liu,Y.,Hu,R.,Tang.,Q.,Cui,K.,Zhang,F.,Dobermann,A. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management. A review. Agron.Sustain.Dev. 30 (2010) 649-656. doi: 10.1051/agro/2010002.

[4] National Bureau of Statistics of China, 1949-2007. China Agriculture Yearbook. China Agricultural Press:Beijing

30%来自于化学氮肥的使用，然而到 1999-2003 年，氮肥对粮食增产的贡献下降到了 10%左右。在氮肥用量快速增长期，氮肥用量大体与作物需氮量保持平衡，因此氮利用效率是良好的（尽管低于全球平均水平）。但在氮肥用量快速增长的后期，与全球平均值 40-60%[5] [6] 相比， 全国氮肥利用效率出现大幅降低，从 30-35%降到 20-30%，一些主要粮食生产省份低于 20%（图 2）。

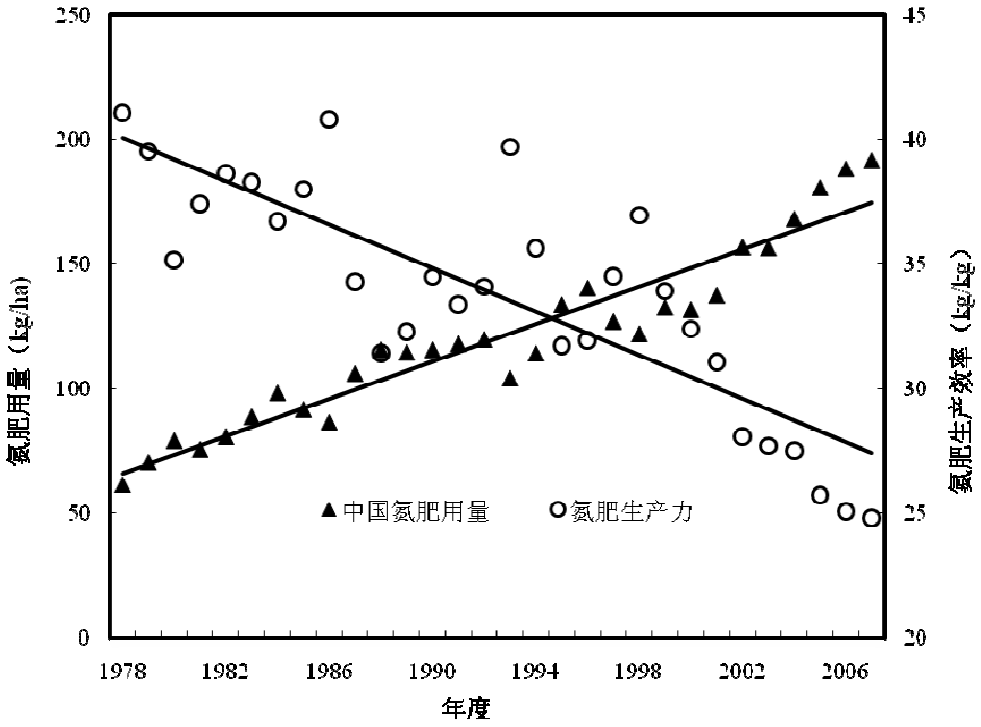

图 2　氮肥用量与氮肥效率的变化

氮肥利用率降低的原因很复杂，包括自然条件的限制、土壤管理措施、作物栽培管理等多个方面，然而最主要的原因就是氮肥的过量施用。20 世纪 80 年代以来过量施用氮肥的现象已经发生，但还只是部分省份的问题，现在几乎所有省份和作物上都出现了过量施用氮肥的问题。当然我们要避免笼统的评价氮肥过量施用的问题，即使在农户氮肥平均用量高于农业部和当地农业局推荐用量的一些省份和地区，也有些农民氮投入量低于推荐量。

氮肥的过量施用

过去数十年来科学家们在试验条件下和农民田间实际情况下进行了大量的农学和经济学的研究，结果证明：（1）中 国氮肥过量施用非常严重。在过去 10-30 年间粮食作物上和过去 10-15 年间快速发展起来的集约化蔬菜和水果生产体系中，氮肥的过量施用日趋严重。表 1 说明各地氮肥过量施用的范围，通常情况下过量 30%，但有些地区已经超过 50%。(2) 通过

[5] Zhang, F. S., Wang, J.Q., Zhang, W. F., Cui, Z. L., Ma, W. Q., Chen, X.P., Jiang. R.F. 2008. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica* 45, 915-924. (In Chinese with English abstract).

[6] Fan Mingsheng, Zhang,Fusuo & Jiang Rongfeng , Integrated nutrient management for sustainable agriculture in China,Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI UC Davis 2009 http://escholarship.org/uc/item/5hc5k91x

优化管理，过量施肥可以解决，并且能够支撑粮食安全，增加农民收入，减少环境污染。导致氮肥过量使用的原因很多，其中包括农民和推广人员没有认识到充分利用土壤中来自上季作物的有效氮量、有机肥、灌溉水、粉尘和降雨中所带来的氮，至少可以提供作物高产所需50%以上的氮素，有时会更多[7]。也包括农民不掌握氮肥管理最佳技术，而且缺少学习的途径，因此增强农民和农技推广人员的培训和教育很重要。克服氮肥过量施用有很多易行的方法，但需要加以整合才能达到最大效果。我国科学家已经在部分地区通过试验示范推动这一工作，证明这些技术在农户生产中是可以实现的，当然真正在农户田块中实现，需要改变一系列农民常规措施，包括土壤测试、氮肥施用时间和方法、评估来自有机肥和灌溉水的氮供应。

表 1 中国不同地区氮肥施用过量水平

省份	作物	农民用量 公斤/公顷	推荐用量 公斤/公顷*	过量施用%	减少施肥量产量变化
江苏[8]	水稻	300	200	50	+3 %
6 省[9]	水稻	195	133	47	+6%
华北平原**	小麦	325	128	150	+4%
华北平原	玉米	263	158	66	+5%
陕西	小麦	249	125-225	~100	相同
陕西	玉米	405	165-255	>60	>8%
山东	番茄	可达 630	150-300	80-200	+10% （不显著）

*基于土壤测试和田间试验

氮肥过量施用可能带来的环境和经济影响

氮肥带来的环境影响主要有四种主要形式：

- 氮肥生产中的环境污染（特别是温室气体排放），这与氮肥生产中煤炭等原料的开采以及肥料生产过程中能源燃烧排放的二氧化碳有关；
- 氮素在土壤中通过淋洗和径流损失的氮导致地表水和地下水污染及大范围的富营养化；
- 氮肥分解释放氨气导致酸雨，酸雨反过来加重土壤和水体的酸化及氧化亚氮排放；
- 氮肥在土壤中通过硝化和反硝化过程排放的氧化亚氮。氧化亚氮特别重要，因为每个氧化亚氮的温室效应潜能是二氧化碳的 298 倍，因此即使是很小的排放也会对气候变化产生很大作用。

通过优化管理，在氮肥用量下降的同时，上述的污染物排放都会减少，同时保障国家粮食安全（表 2）。

[7] Cui Z.L., X.P. Chen, and F.S. Zhang. 2010. Current nitrogen management status and measures to improve the intensive wheat–maize system in China. Ambio. 39:376–384

[8] Ju et al, 2009. op cit

[9] Guangdong, Heilongjiang, Hubei, Huan, Jiangsu & Zhejiang, Peng et al, 2010 op cit

表 2 农民常规与优化管理措施引起的氮损失比较（公斤/公顷/年）

	江苏/湖北		北京/河北/山东	
	农民常规措施	优化管理措施	农民常规措施	优化管理措施
氮用量	550	353	588	286
淋洗	12	8	56	23
氨挥发	38	24	135	46

来源：Ju Xiao-Tang et al, op cit 补充资料

氮肥过量施用的经济影响存在于两个方面。首先，中国氮肥生产的补贴浪费了大量的财力。其次，农民用如此之多的氮肥却获得了较少的增产，肥料成本高于施肥的净收益，因此很多时候肥料的经济效益是负值。如表 3 所示，即使在平均氮用量并不是很高的陕西，过量施氮的经济损失也很大。

表 3 陕西氮肥过量施用及农民收入亏损

作物	推荐氮用量 (公斤/公顷) *	农民用量 (公斤/公顷)	过量施用农户比例（%）	过量施用造成的平均收入亏损（元/公顷/年）
小麦	150-225	287	25	266
玉米	165-255	405	77	331

来源：未发表的项目结果
*当地推广部门

氮的过量施用降低粮食安全保障

粮食安全保障的降低是上文所述环境和经济影响的结果。经济影响从两方面导致粮食购买力下降。首先，由于收入的亏损，如表 3 所述。其次，由于更高的粮食价格。例如，富营养化和藻华降低渔业生产力，增加鱼价以及破坏渔民生计，粮食购买力下降。环境影响从许多方面降低粮食安全保障，例如：

(1) 过量施用氮破坏作物根系，这会影响作物生长，降低产量（图 3）；

(2) 在过去 30 年里，土壤酸化加倍，氮肥为此贡献 60%[10]；

(3) 更易受到虫害和病害的侵袭，作物更容易倒伏。

图 3 氮肥过量使用损害根系

限制氮肥过量施用，促进长期粮食安全

一般来说，改善管理措施限制氮肥过量施用的研究期限多为 3-5 年，因此有必要确定减少氮肥用量是否可以在更长的时间内维持土壤肥力和作物产量。答案是肯定的。中国农科院在全国主要粮

[10] Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., Shen, J.L., Han, W.X., Zhang, W.F., Christie, P., Goulding, K., Vitousek, P. & Zhang, F.S. (2010)lSignificant Acidification in Major Chinese Croplands Science 327, 1008-1010 (2010). http://dx.doi.org/10.1126/science .1182570

食生产区域组织实施的长期定位肥料试验表明，减少氮用量可以持续至少 15 年，不会减产，更进一步证明中国政府和农民限制过量施用氮肥的行动不会危及国家粮食安全[11]。

展望

目前有非常充分的证据证明中国大部分作物体系施用了过多的氮肥。减少施用量，不会影响作物产量危及粮食安全。对于粮食作物来说，通常过量施用范围的平均值约为 30%，有的地区可能更高，也有些地区可能过量较少。在高价值的经济作物上，过量施用氮肥的程度要高得多。如上所述，中国已发表的研究结果表明，有很多方法可以减少氮的过量施用并提高肥料利用效率，这涉及技术和制度创新的结合，改变政策、提高农户认识，加快技术的转化和利用是实现这一目标的前提条件。具体措施包括：

- 加强测土配方施肥
- 推进更好的施肥方法，例如，适当的机械化
- 加速氮肥新产品的研发和利用，减少温室气体排放和面源污染
- 通过移动电话网络和地理信息系统为农民和农技推广人员提供更好的了解肥料利用信息的途径
- 在信息转化和技术发展上发挥合作社和农民协会的作用

所有这些做法有助于：

- 用更少的氮肥投入增加或保持作物产量
- 改善粮食安全和农业可持续性
- 减少全国温室气体排放，非点源污染，湖泊和河流富营养化，以及赤潮发生的频率和面积
- 通过减少肥料产业的化石燃料需求提高能源利用效率
- 将贫困农民的收入增加 10%，提高作物生产的经济效率，帮助降低粮食价格膨胀

作为中英合作项目的下一步产出，我们计划发布政策简关注有效提高氮肥利用效率的技术和管理措施， 以及用来鼓励农民采用这些技术的政策和措施。

.

[11] Zhao, B., Li, X.,Shi, X.,Huang,S., Wang, B., Zhu, P., Yang, X., Chen, Y., Poulton, P., Powlson, D., Todd, A. & Payne, R. Long-Term Fertilizer Experiment Network in China: Crop Yields and Soil Nutrient Trends Agronomy Vol. 102 No. 1, p. 216-230, (2010) . doi:10.2134/agronj2009.018