

专题综述: 作物施肥改善人类健康

执行摘要

Tom W. Bruulsema, Patrick Heffer, Ross M. Welch, Ismail Cakmak 和 Kevin Moran

T.W. Bruulsema, 国际植物营养研究所北美东北地区主任, 加拿大安大略圭尔夫; tom.bruulsema@ipni.net

P. Heffer, 国际化肥工业协会农业委员会主任, 法国巴黎; pheffer@fertilizer.org

R.M. Welch, 康奈尔大学 Robert W. Holley 中心农业和健康首席科学家, 美国纽约州伊萨卡; rmw1@cornell.edu

I. Cakmak, Sabanci 大学工程和自然科学学院教授, 土耳其伊斯坦布尔; cakmak@sabanciuniv.edu

K. Moran, 海德鲁 Pocklington (英国) 有限公司海德鲁叶面肥和微量元素中心主管, 英国约克郡 Pocklington, Manor Place; Kevin.Moran@yara.com



大部分人类的营养依赖于作物通过施肥带来的粮食产量增加。肥料的贡献在于不仅增加了粮食总量，还提升了粮食质量。肥料以合适的方式施用——即合适的肥料品种以合适的用量、合适的时间和合适的位置施用在合适的作物上，极大地促进人类的健康和幸福。

自1948年以来，世界卫生组织将人类健康定义为“在生理、心理和社会福祉方面完全处于良好状态，而不仅仅是身体上不生病或者不虚弱”。这一定义使人们认识到人类健康已经超出了严格意义上的医学范畴，还包括很多其他学科。1970年的诺贝尔和平奖授予Norman Borlaug博士，就充分说明对农业科学与人类健康之间关联性所给予的高度认可。

肥料施用增加提高了农作物单位面积产量，增加了粮食供给总量，提升了粮食质量和必须的微量元素含量。大部分作物产量增加来自于肥料施用，这也改变了种植作物的组合以及它们与人类营养需求的匹配性。

没有粮食就没有人类健康。农业生产的任务不仅仅是提供商品化的粮食，还在于提供富有营养的粮食，而肥料施用支持该任务的完成。农业的可持续发展和肥料的可持续施用必须不断关注于改善人类营养，在世界人口高速增长的情况下让所有人都能健康和高质量的生活。当前肥料在保持人类健康方面的作用是很大的，更进一步拓展的空间也是广阔的。可持续发展需要远见卓识，即农业生产不应只关注于生产率和效益等直接指标，还应围绕着

如何提供更好的人类营养来设计农业系统。本综述旨在提供影响人类健康的与作物品质相关的多重关联影响的准确知识。肥料行业4R养分管理方法——合适的肥料种类、合适的用量、合适的时间和合适的位置——有必要将上述关联性也包括进该“合适”定义之中。



iStockphoto

粮食和营养安全

当所有人在任何时候都需要在生理上、社会上和经济上获得充足、安全和富有营养的食物时，就存在食品安全问题。营养安全就是为了健康和充满活力的生活，如何充分利用和吸收食物中的营养(FAO, 2009)。

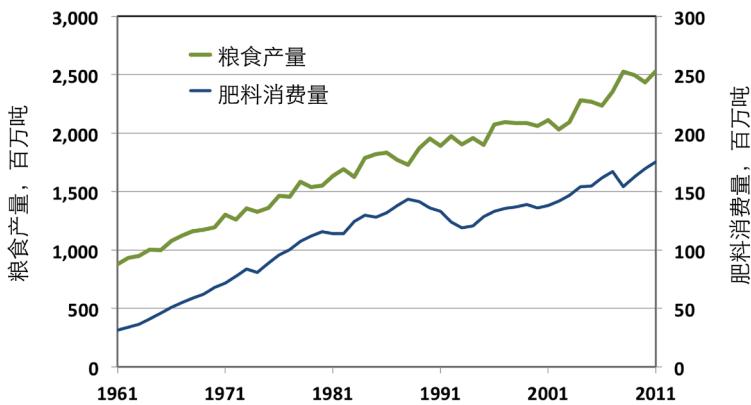


图1. 1961-2011年间全球粮食产量和肥料消费总量 (FAO 2012; IFA 2012).

在1961到2008年间，世界人口从31亿增加到68亿。同期，全球粮食产量从9亿吨增加到25亿吨(图1)，大部分增加是源于化肥使用的增多，从3000万吨增加到1.5亿吨以上。没有肥料的使用，世界粮食产量将会减半(Erisman等, 2008)。

伴随加倍数量的N和P进入陆地生物圈，肥料施用在使用人类能够获得足够粮食方面起到了决定性作用。但是，并不是所有人都能获得充足的粮食。2009年，长期的饥荒依然折磨着世界六分之一的人口。据FAO资料，与2005和2007年间全球农业产出相比，到2050年全球人口增长

要求全球农业产量要增长70%(FAO, 2012)。未来粮食单产增加可望通过基因改良来实现，但作物移走的养分仍将依赖于所有可能的资源，包括有机的和无机的，并将这些资源将最大限度被高效利用。

营养安全。除了产量，植物营养还会影响人类营养需求的其他重要部分，包括碳水化合物、蛋白质、油脂、维生素和矿物质的数量和种类等。粮食中很多有益健康的成分是通过矿质养分的施用来达到增长目的的。因为大部分农户使用化肥的目的是获得最大化的产量，这些益处就很容易被忽略。

人类营养所需的重要微量元素，可以将它们先施用于作物，再通过日常饮食方式予以高效利用。提高诸如豆类之类作物产量和营养品质的机会是存在的，它们的单产和产量没能跟上人口增长的步伐。为了确保此类作物能够在经济上保持与谷物的竞争力，需要出台相关政策，以奖励农民生产对人类健康更重要的营养成份。

微量元素营养不良正在逐渐增加，部分是因为大宗粮食作物产量增加的结果。其他富含微量营养元素的作物，尤其是豆类，并没有从绿色革命中获得多少益处。因为变得相对较贵，目前它们仅是世界营养不良穷人饮食的一小部分。

对于大量缺铁、维生素A和锌的人们，作物生物强化是一种有效方式。基因和/或农艺学方法生物强化的选择取决于微量元素。两种方法可以互相促进互相补充。

对于大宗作物而言，基因方法对铁和维生素A最为有效，但包括施肥在内的农艺学方法可以提高粮食中的锌、碘和硒含量。当碘和硒缺乏时并不会影响植物生长，但锌缺乏矫正对于作物和消费者都是有益的。作物施用锌肥和硒肥可以增加这些微量元素的含量并改善其生物有效性。微量元素叶面施用的时机在谷粒微量元素比如锌的最大化积累方面具有重要的农艺学实践意义。根据田间试验结果，在生长季节晚期喷施锌肥，比在早期喷施，谷粒中锌的浓度明显增高，尤其是在谷粒最常被食用的胚乳部分。世界范围内大部分的土壤缺锌(表1)，锌缺乏人口的比例各地区不同，但数量也是很大的(表2)。

表1. 农业土壤矿质元素缺乏比例
(基于190个世界各地土样调查 - Sillanpaa, 1990.)

元素	%
N	85
P	73
K	55
B	31
Cu	14
Mn	10
Mo	15
Zn	49

表2. 全球及地区锌摄入不足人口比例评估(Hotz和Brown, 2004).

地区	风险人群, (%)
北非和东地中海	9
撒哈拉以南非洲	28
拉丁美洲和加勒比	25
美国和加拿大	10
东欧	16
西欧	11
东南亚	33
南亚	27
中国(+香港)	14
西太平洋	22
全球	21

功能性食物

钙、镁和钾是人类所必须的大量营养元素。除了钙在骨骼和牙齿中显著例外的作用外，这些元素在人体内的基本功能与在植物中的类似。它们在植物内的含量受到土壤元素供应的影响。因此，除了保证最优化的作物产量外，施肥可有助于满足人类对这些矿物的营养需求。钙缺乏经常发生在饮食严重依赖精制谷物和大米的国家(比如孟加拉和尼日利亚)。镁的充足摄入量不太容易确定，但是研究表明很大数量的成人，甚至在美国，并没有摄取足够数量的镁。类似的，每日钾的推荐摄入量也没有界定，但是在美国只有10%的男人和少于1%的女人钾摄入量达到或超过4.7克/日的充足水平。

碳水化合物、蛋白质和油脂。 作物施氮会增加蛋白质含量以及作物单产。对于稻米，氮素对产量的影响最大，但对蛋白质的含量和质量增加作用却很小，因为与该作物所含的其他蛋白质相比，氮素在促进谷蛋白含量增加的同时却限制了氨基酸和赖氨酸含量的增加。对于玉米和小麦，蛋白质对施氮量的需求要高于获得最高产量所需要的氮素用量，但是营养价值的改善可能会受限于较低的必需氨基酸和赖氨酸含量。有一个例外是通过作物育种培育

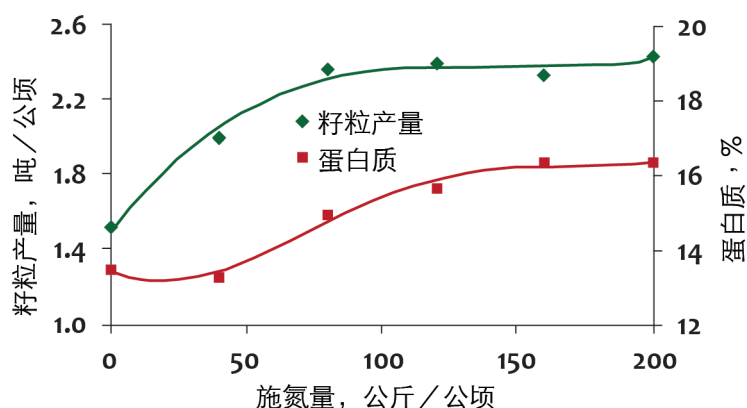


图2. 氮肥施用对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响。

利用率的基因改良可能需要特别关注对谷物中蛋白质数量和质量的影响。但是，养分管理措施比如作物生长后期施用叶面肥或者是养分控释技术可以提高蛋白质生产中的氮素有效性，同时将因氮素过量造成的氮素损失减小到最低程度。

的优质蛋白玉米：当施用的氮素增加时，它的赖氨酸浓度依然能保持很高水平。对于马铃薯，氮素增加淀粉和蛋白质含量，同时磷、钾和硫提高蛋白质的生物学价值。施肥对作物油脂含量变化的影响很小，尽管当限制产量的营养缺乏得到缓解时油脂产量会随之增加。

管理手段，即更精准优化的氮肥品种、施肥量、时间和施肥位置，将会促进肥料对有益健康的蛋白质、油脂和碳水化合物生产的贡献。对于提高氮素

水果和蔬菜的保健功能品质。 各种来源的大量科学证据表明，严格的肥料管理可以增加水果和蔬菜的产量、市场价值以及保健特性。随氮肥施用，类胡萝卜素含量(维生素A的前体)有增加趋势，但是维生素C含量却随之降低。叶面喷施钾和硫能够增强甜瓜的甜度、质地、颜色、维生素C、β-胡萝卜素和叶酸的含量。对于粉红葡萄柚，叶面补足钾肥可以增加β-胡萝卜素和维生素C含量。对于香蕉的数项研究指出，钾营养元素与比如糖和抗坏血酸之类的水果品质指标呈正相关关系，同时与酸度呈负相关关系。

除了影响维生素，肥料还会影响作物保健化合物(有益健康)的水平。生长在加拿大安大略省缺钾土壤上的大豆，当施用钾肥时，异黄酮含量增加约13%。还有报道钾素可以提高葡萄柚和番茄中的番茄红素含量。

西兰花和大豆是可以为人类饮食提供钙和镁营养的植物例子。当这类作物生长在贫瘠的酸性土壤上时，施用石灰可以提高这些重要矿物质的水平。

一般情况下，施用氮肥可以增加有效抗氧化色素叶黄素和β-胡萝卜素的含量。与维生素A、C和E一起，它们可以帮助降低与年龄有关的黄斑病变风险，这是导致失明的一个首要原因。



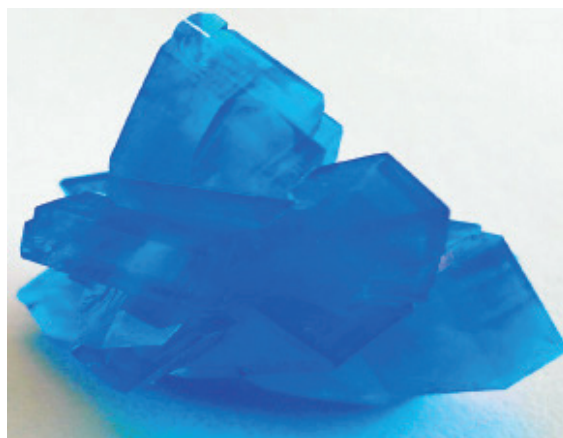
iStockphoto

降低风险

植物病害。 对于缺铜谷物，麦角症(麦角菌属)是由植物病害所导致食品安全风险的一个例子，它可以通过施用铜肥来控制。通过对矿物营养的固定和竞争，作物病原体降低矿质元素含量、营养品质以及植物食品产品的安全性。虽然很多其他特定疾病可以通过植物营养得到控制，但是在如何优化作物营养从而控制与食品安全最为相关的植物病害方面，还存在知识空白。

养分管理影响病害及其控制。通过植物营养降低植物病害的策略包括：

- 培育可以更高效吸收锰元素的作物品种
- 优化各种营养元素水平进而平衡养分
- 注意选择作物最适的肥料形态和种类(比如硝酸盐氮与铵氮，氯与硫)
- 施肥时间，在最能促进作物摄取和生长的时候施用氮肥
- 与耕作、轮作制度和土壤微生物结合



照片。施用铜肥(右侧是硫酸铜晶体)对于麦角症土壤是有效处理方法

农作体系。 有机农户的植物营养策略与其他农户不同。这些不同影响他们生产的粮食的健康水平了吗？因为养分供应的来源受到限制，有机农业无法为世界当前和日益增长的人口提供足够的粮食。另外，因为有机生产体系严重依赖于反刍动物和草料作物来进行养分循环，产出的粮食类型比例不能与健康饮食的要求相匹配。由于必需养分供应不足或者是其他食物成份供应过量而导致饮食结构不平衡将引发健康问题。

所生产粮食的成份的确显示出小幅变化，这可以用植物对氮素供给差异的生理反应来解释。有机农业条件下，维生素C增加，但维生素A和B、蛋白质和硝酸盐减少。传统法生产的粮食高的硝酸盐含量不会威胁到，甚至会有益于人类的健康。尽管有机农业支持者的兴趣点在粮食质量，但关注于粮食供应和饮食结构对于人类健康是最重要的。

放射性元素污染的修复。 当土壤被放射性元素污染，比如切尔诺贝利和福岛核反应堆事故后，为了保护人类健康，限制植物摄入成为一个重要的目标。白俄罗斯Gomel地区的土壤研究表明，随着钾肥或厩肥的施用，土壤可交换钾含量增加，作物内放射性铯(^{137}Cs)和放射性锶(^{90}Sr)水平下降。随着白云石石灰岩以及氮肥和磷肥的施用，这些放射性元素水平下降。在放射污染地区，农民参与的自我修复和自我发展是提高人们生活质量的途径。

总结

以上说明了肥料在改善与人类健康相关的作物品质方面所起到的重要作用。

考虑到肥料在提高粮食产量和营养安全方面的重要作用，对于如何根据其发挥的作用使其效用最大化方面的研究进行投资变得格外重要。研究必须强化4R养分管理策略的采用，以确保以合适的肥料用量、合适的时间和合适的位置施用合适的肥料。该理念——肥料工业信奉的——定义“合适”为致力于经济、社会和环境等的可持续性，这三者对于保持人类健康都是具有决定意义。在农艺研究和推广中强调4R养分管理策略，再加上农作体系恰当的战略调整，为满足人类真正的营养需求致力于更平衡的粮食生产，将会增强肥料使用的益处，同时将潜在的不良影响减至最低。



iStockphoto

照片。以合适的用量、合适的时间和合适的位置施用合适的肥料能够改善作物品质。

参考文献

Erismann, J.W., M.A. Sutton, J. Galloway, Z. Klimont, 和 W. Winiwarter. 2008. 100年的氮合成是如何改变世界的。Nature Geoscience 1:636-639. FAO. 2012. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> and <http://www.fao.org/worldfoodsituation/wfs-home/csdb/en/>.

FAO. 2009. 2009年世界粮食不安全状况。联合国粮农组织。 <http://www.fao.org/docrep/012/i0876e/i0876e00.HTM>

Hotz, C. 和 K.H. Brown. 2004. 国际锌营养顾问团 (IZINCG), 技术文件1号: 人群锌缺乏风险评估和控制选项。Food Nutr Bull 25(1): S94-204.

IFA. 2012. 国际肥料工业协会统计资料。[在线]。 <http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/STATISTICS>.

Sillanpaa, M. 1990. 各国微量营养素评估: 全球研究。FAO土壤公报 63。联合国粮农组织, 罗马。

更多信息

专题综述: 作物施肥改善人类健康

Bruulsema, T.W., Heffer, P., Welch, M. R., Cakmak, I. 和 K. Moran. IPNI, IFA, October 2012. 290 pp. 以书籍或pdf格式提供

作物施肥改善人类健康. Infographics, May 2013.

IPNI website. <http://info.ipni.net/FCIHH>

IFA website. <http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/SUSTAINABILITY/Nutrition>



2013年6月



3500 Parkway Lane, Suite 550
Norcross, GA 30092 USA
Tel: +1 770 447 0335
Fax: +1 770 448 0439
circulation@ipni.net
www.ipni.net



28, rue Marbeuf
75008 Paris, France
Tel: +33 1 53 93 05 00
Fax: +33 1 53 93 05 45/ 47
publications@fertilizer.org
www.fertilizer.org