

# 农业可持续发展中的“4R”养分管理

陈 防 张过师

(国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部, 湖北武汉, 430074)

**摘要:** 本文简要介绍了“4R”养分管理概念及其科学原理, 并从经济、社会和环境层面讨论了影响“4R”养分管理的主要因素及其对农业可持续发展的影响, 提出了通过对各管理层面的完善和效果反馈逐步发展形成区域内的最佳管理系统的途径, 从改善作物养分管理的角度, 为实现现代农业生产的可持续发展指出了方向。

**关键词:** 养分管理; 利用效率; 4R; 可持续; 决策评价

## 前言

当今世界, 随着人口的不断增加和人类生产和社会活动的加剧, 地球自然资源正在快速耗竭, 生态环境亦在快速恶化, 其耗竭与恶化的程度已到了人们不容忽视的地步<sup>[1]</sup>。因此, 近年来对于象中国这样的在很大程度上依赖于自然资源的传统农业生产的国家来说, 如何在生产出满足人们需要之农产品的同时, 做到最大限度地减少自然资源的消耗和生态环境恶化, 提高农业生产效率和可持续性, 已成为人们关注的热点问题<sup>[2]</sup>。

可持续农业有许多特征, 其中最主要的是强调在满足日益增长的粮食和其他农产品需求的同时, 不危害农业生产赖以生存的自然资源。尽管可持续发展的定义多元化, 但仍有其共同特征, 其中一项重要的属性是其具有多元性。可持续发展的概念不仅仅只应用于社会、经济或环境的某一方面, 而是可以同时应用到各个方面。对农用多种资源进行明确划分的一种有效方法是把它们作为财产或资产按照 UNCTAD-UNEP<sup>[3]</sup> 方法分为 5 类: (1) 自然资产。这部分资产主要包括土地资源、水资源和能源等。(2) 社会资产。这部分资产与行为准则、价值观和态度联系在一起, 推动人与人之间紧密合作, 并能在社会活动互惠互利。缺乏联系和沟通的社会, 也缺少信任与合作, 更容易暴露出环境恶化和食品缺乏问题。(3) 人力资本。这部分资产指每个劳动力的生产能力, 而这种能力建立在个体知识、技能、健康和营养等状况基础之上。如农民对各项新技术发展过程的参与就是提升人力资本的例证, 良好的教育水平显然对提高施肥管理等农业措施的实施效果非常必要。(4) 实物资本/物质资产。实物资本是指能提高劳动生产率的人造物质资源, 如建筑物、灌溉设施、工具、

机械等, 这里还包括通信网络, 因为市场的开放往往由于缺少适当的通信基础设施而受到限制。(5) 金融资本。金融资本与系统中货币的流通相关, 而货币的流通受到诸多因素如价格、成本、收入、利率、存款、贷款和补贴的影响。农业系统的可持续性发展状况和潜力如何, 可通过对上述各项资产或资本产生的影响进行评估, 能够对自然、社会、人力、实体或者金融资产产生弹性增长的农业生产模式和技术应该具有可持续性。换句话说, 因为农业生产系统可与上述五类资产通过反馈调节而互相作用, 充分拥有和有效管理这五类资产会更有利于发挥其应有的作用。

## 1 “4R”养分管理的概念

为了在世界范围内促进农业生产的可持续发展, 兼顾养分管理中的经济、社会和环境效益, 自 2009 年以来国际植物营养研究所 (International Plant Nutrition

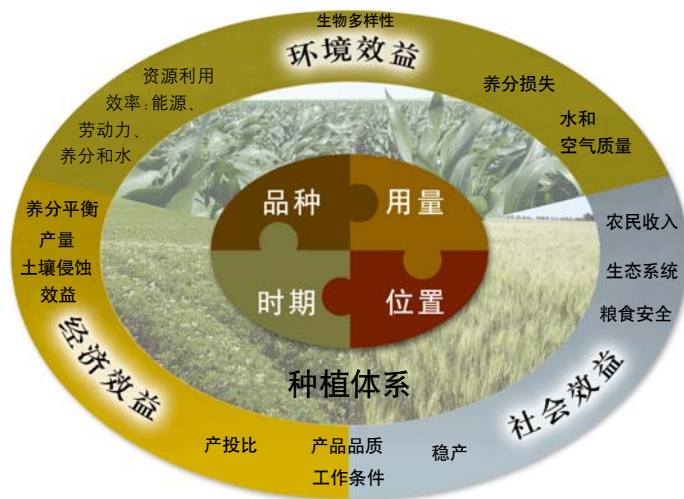


图 1 “4R”养分管理中涉及的主要影响因素

Institute, IPNI) 倡导“4R Nutrient Stewardship”即所谓“4R 养分管理”的概念<sup>[4]</sup>。所谓“4R”养分管理可简单归纳为选择正确的肥料品种(Right source)、采用正确的肥料用量(Right rate)、在正确的时间(Right time)将肥料施用在正确的位置上(Right place)。因这4个“正确”在英文中均用“Right”来表示,其第一个字母均为“R”,故简称为“4R”。图1示意了“4R”相互之间以及“4R”与环境效益、经济效益和社会效益之间的相互关系。“4R”养分管理涵盖了所有与养分管理相关的科学原理,实际生产中,具体的植物养分管理措施取决于农户的目标、拥有的资源、种植制度、土壤条件、气候条件以及影响养分管理措施的其他因素。

## 2 “4R”养分管理的基本原理

作物生产体系非常复杂,所以对于养分施用的管理需要明白其背后的基本科学原理并测定施肥对作物系统中性能指标的影响,这对不断优化管理措施非常重要。农作物的“4R”养分管理涉及多个学科及科学原理,其组成部分中肥料品种、用量、时间和位置等每一部分都有自己相应的科学理论作为依据。从学科来看,主要涉及土壤学、植物营养学、植物生理学、农业生态学、农业经济学等;从作物养分管理的科学原理来看,主要涉及植物矿质营养学说、土壤养分归还学说、营养元素不可替代律、最小养分律、肥料报酬递减律、营养因子综合律等。

虽然各地区因其土壤、作物、气候、经济发展和社会发展状况而异,但这些科学原理是全球通用的。对4个“R”的重视程度要均衡,避免强调一项而忽视其他措施。其中肥料用量最容易被过分重视,因为其简单并直接关系到施肥成本,而肥料种类、施肥时期和施肥位置却常常被忽视,因此在这三个方面往往有更多改善和提高的机会。不仅4个“R”中的各因素互相联系,它们与植物、土壤、气候和管理这些周围环境因素之间也相互关联。即使是养分充足的肥沃土壤,在排水不良、干旱、病虫害和其他因素的限制下作物仍然难以高产,因此,我们必须对其他影响因素有更深入的了解。

## 3 影响“4R”养分管理的主要因素

农业生产中许多因素都会影响生产者对不同的作物养分管理策略作出选择,这些因素通常包括作物因素、土壤因素、种植者因素、养分投入因素、水质因素、气候因素、

技术水平因素和经济因素等。作物因素通常包括产量潜力和农产品价格,在某些情况下植株营养状况及不同栽培措施都会影响养分管理决策。土壤因素通常需要考虑土壤养分供应潜力、指标或其他影响养分循环和作物生长的物理、化学和生物特性。种植者因素主要包括土地使用期限、资本可用性、机会成本、生产经验和受教育程度等。养分投入因素通常把可用肥源的信息整合在一起,如肥料的商品形态、肥料价格和使用成本。水质因素应包括河(湖)滨地区水质维护对施肥的限制。某些类型的模型支持系统、特定生长季节和短期天气预报信息等会受到气候因素的驱动影响。在特定的区域使用什么水平的技术,会影响最佳管理措施的选择。除经济因素外,与农户直接相关的其他因素和农产品的市场风险也会影响养分管理决策。

在选择“正确的肥料品种”时,除必须考虑施肥量、施肥时期和施肥位置外,还要注意:(1)提供作物可吸收利用的有效态养分,或在土壤中能及时转化成作物可以吸收利用的有效态养分。研究表明,在不同肥力的土壤上化肥配施有机肥可以改善养分供应、提高土壤肥力和生物多样性<sup>[5]</sup>。(2)使用与土壤理化性质相匹配的肥料,例如应避免在淹水土壤中施用硝酸盐类肥料,在pH高的土壤上表施尿素等。(3)注意不同营养元素和肥料种类间的协同效应。例如磷和锌之间的交互作用,有机与无机肥之间的配合施用等。(4)注意肥料的兼容性。例如不同肥料混合后容易吸潮,不同粒径比重肥料混合后出现的分层现象等。(5)注意伴随离子的影响,因为绝大多数营养元素有一个对作物可能有益、无害或者有害的伴随离子。例如一些磷肥品种中含有对植物有效的钙和硫以及少量镁和微量元素;氯化钾中钾的伴随离子氯对玉米有益,但超过一定数量对烟草和一些水果的品质可能有害。(6)控制非必需营养元素的影响。例如,一些天然磷矿石中含有少量非必需营养元素,这些元素的量应控制在允许的临界值范围内。

在确定“正确的施肥量”时,除必须考虑肥料品种、施肥时期和施肥位置外,还要注意:(1)评估作物对养分的需求。正确估计作物对各种养分的需求总量对达成目标产量具有关键作用。(2)评价土壤养分供应状况。评价方法包括土壤与植物分析、田间缺素试验等。研究表明,在施肥前先对土壤中特定的有效养分含量进行分析测定,是确定肥料施用量的有效方法<sup>[6]</sup>。(3)评价所有的养分来源。评价对象包括各种农家肥、作物秸秆、大气沉降、灌溉水和化肥中的养分总量及其植物有效性。(4)预测肥料利用率。(5)考虑对土壤肥力资源的影响,保持土壤养分平衡。如果作物栽培系统中养分的移走量超过投入量,从长远看土



壤肥力将会下降。(6) 考虑肥料使用的经济效益。对于那些难以保持在土壤中的营养元素，经济的养分用量的临界值是根据报酬递减律计算出来的当投入的单位养分价值等于作物增产价值时的养分用量。对于易被土壤保持的营养元素，应该考虑其后效。

在确定“正确的施肥时期”时，除必须考虑肥料品种、肥料用量和施肥位置外，还要注意：(1) 确定不同时期作物吸收养分的规律，实现养分供应与作物养分需求同步。研究表明，按照作物不同生育期对养分需求量的不同，分次酌情施肥，可以明显提高作物产量和肥料利用效率<sup>[7]</sup>。(2) 明确土壤养分供应的动态变化。尽管土壤矿物分解和有机质矿化后可以作为作物提供大量养分，但现代农业生产中仅靠这些土壤本底养分还远不能满足当季作物高产稳产的需要，如果作物吸收养分的速率超过土壤养分释放速率，就需要靠施肥来补充，否则就会引起缺素，导致减产。(3) 了解土壤养分损失的动态变化。例如，土壤养分淋失主要发生在雨季，淹水还原条件下土壤中的反硝化作用导致的氮素损失等。(4) 考虑施肥与其他田间管理措施的配合，例如分次施肥时考虑是否与农药和除草剂混合使用等。

“正确的施肥位置”是指将养分施用在土壤中的合适位置上，使作物易于吸收利用。选择正确的施肥位置会受到许多因素影响，除必须考虑肥料种类、肥料用量和施肥时期外，还要注意：(1) 考虑作物根系的分布状况，肥料应尽可能施用在作物根系的主要分布范围内，使作物根系易于吸收。当然，作物的根系也是可塑的，肥料的使用方式和施用部位也会影响作物根系的分布，Drew 的研究表明，大麦根系在土壤高磷区有增生现象<sup>[8]</sup>。(2) 考虑土壤的化学反应，集中施用那些易被土壤固定吸附的养分（例如磷肥），或施用在靠近根系的较小范围内以提高其有效性。(3) 与适宜的耕作制度相配合。例如，肥料施用在有秸秆覆盖的表土下有利于土壤养分保蓄及保墒。(4) 考虑土壤养分的空间变异情况。通过分析评估地块内和地块间以及区域内和区域间的土壤肥力空间差异状况，在不同尺度上进行有针对性的精确施肥。

#### 4 “4R” 养分管理对农业可持续发展的影响

“4R” 养分管理在促进可持续农业发展方面是一项现实可行的措施，因为它对上述提到的五类资产管理有多重有利影响，并与其对自然资源各部分的有益影响如改善作物生长、提高土壤健康质量，降低环境污染和保护野生

动物等之间直接关联。同样地，金融资产也期望能带来相应的正面影响，例如农民收益增加，生活质量提高，给社会经济活动带来更多的活力，提高和改善社会、人力和物质资本。又如，实施精准养分管理就意味着要在农户地块上进行调查研究，需要农户积极参与，从而促进各个层面，包括农民、科研人员、经销商和政府机构代表之间的沟通。此外，参与者也会通过这种正式或非正式活动而得到相关教育。国外有很多由农民自己管理的组织团体，在开发和传播农业新技术方面已做得很成功。

与“4R” 养分管理相关的许多新技术的应用，都对实物资本具有正面影响，因为这些新技术的应用通常包括了那些与市场联系紧密的基础条件，包括设施、产出和通讯。化肥和其他农业生产资料的投入以及产品的向外运输都需要良好的交通，随着社会通信资源的改善，农户对利用移动电话和数字通信工具获得新信息的需求越来越多。“4R” 植物养分管理在世界范围内适用于各种不同土壤和气候条件下的农作系统，不仅适用于面积辽阔的大牧场和集约化种植一年生作物的大农场，也适用于种植水果、蔬菜和观赏植物的可控温室。整体来看，“4R” 养分管理不仅对当前提高作物养分管理的效益有影响，还对农业系统可持续发展具有深远影响。

农业生产的可持续性由三个层面构成：经济层面、社会层面和环境层面。这三个层面在评价任何一种养分管理方法是否“正确”时都必须考虑。对任何指定的系统，管理者都需要制定整体目标，选择管理措施。为制定合理的目标，我们需要了解植物养分管理如何影响作物生产系统。相关人员不仅包括农场经营者、技术顾问，还包括购买产品的客户和与这个系统环境有关的人。因为以作物为主的生产体系涉及面很广，人们依赖这些体系来获得粮食、燃料，纤维和主人翁责任感，所以，作物生产系统应该包括经济层面上系统的产出和收益，环境层面上系统对土壤、水分、空气和生物多样性的影响以及社会层面上系统对生活质量和就业机会的影响。

肥料生产企业自身的目标需要与该地区农业可持续性发展的整体目标应该相匹配，正确肥料管理的实施必须以利益相关者为中心。但如何选择适合当地特定土壤、气候、作物生产条件以及当地法规的管理措施，最终取决于农户，只有那些符合当地实际情况的管理措施才最有可能实现以利益相关者为中心这一目标。

“4R” 养分管理的目标需要通过多个层面的一系列行动进行评价和反馈，使各层面上的行动参与者尽可能采取并完善符合当地条件的管理方法，最后形成一套最佳

的农业生产管理措施，实现可持续发展（图2）。植物的营养状况是动态系统的一部分，必须因地因时而变，各项措施都会与植物—土壤—气候系统相互作用，施肥的效应随上述因素的变化而变化。因此，今后农田养分状况的管理需要更加精准化、信息化。现代计算机技术和信息技术

的快速发展已经为实施信息化的精确养分管理提供了有利条件，因此，如果我们能在充分实践“4R”养分管理的基础上根据不同区域农业生产的环境条件来不断完善和提高各层面的管理水平，就一定能找到适合当地条件的最佳的管理措施，实现农业生产的可持续发展。

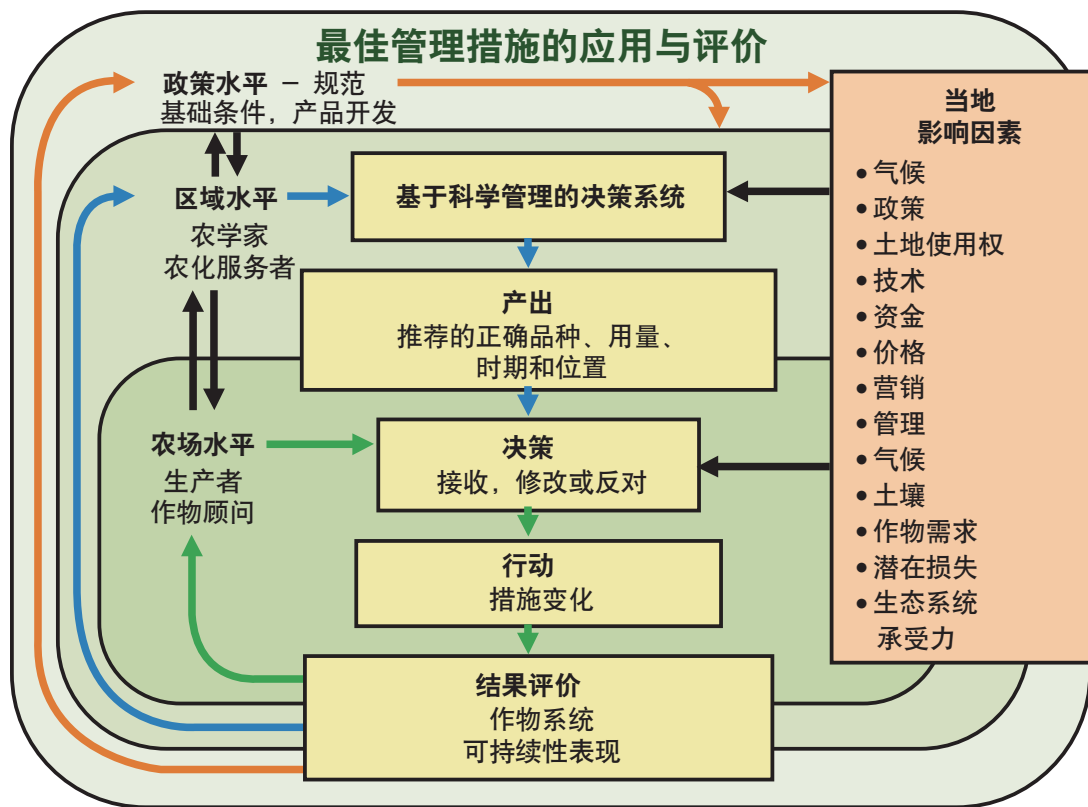


图2 4R 养分管理通过对各层面决策的循环评估逐步形成区域内的最佳管理系统

### 参考文献

- [1] Foley J.A, Defries R, Asner G.P, et al. Global consequences of land use [J]. Science, 2005, 309 (5734):570-574.
- [2] Foley J.A, et al. Solutions for a cultivated planet [J]. Nature, 2011, 478:337-342.
- [3] UNCTAD-UNEP. Organic Agriculture and Food Security, in Africa [M]. Document UNCTAD/DITC/TED/2007/15. 2008, Geneva, Switzerland. pp. 47.
- [4] Roberts T.L. Right product, right rate, right time and right place... the foundation of best management practices for fertilizer [M]. 2009, [On-line].
- [5] Zingor S. Maize Productivity and Response to Fertilizer Use as Affected by Soil Fertility Variability, Manure Application, and Cropping System [J]. Better Crops with Plant Food. 2011, 95 (1):4-6.
- [6] Bianchini A, Garcia F, Melchiori R. Nitrogen in the environment:sources, problems, and management [M]. In Hatfield J. and Follet R. (Eds), Elsevier-Academic Press, San Diego, CA. USA, 2008, pp 105-124.
- [7] Tong Y.A, Ma W.J, Gao Y.M, et al. Characteristics of Nutrient Uptake by Grape [J]. Better Crops with Plant Food, 2010, 94 (2):29-31.
- [8] Drew M.C. Comparison of the effects of a localised supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley [J]. New Phytol., 1975, 75:479-490.