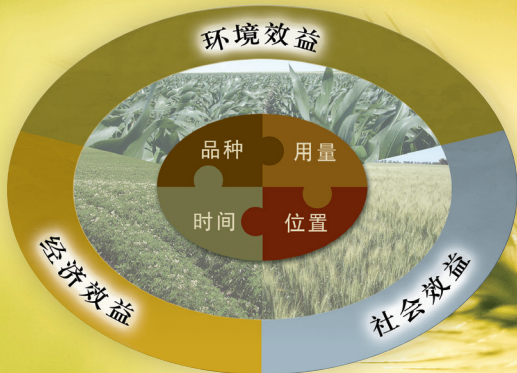


袖珍手册 A Pocket Guide to

# 4R

## 作物养分管理

### NUTRIENT STEWARDSHIP



## 正确的肥料品种

肥料品种与作物需求相匹配

## 正确的肥料用量

肥料用量与作物需求量相匹配

## 正确的施肥时间

养分供应与作物需求同步

## 正确的施肥位置

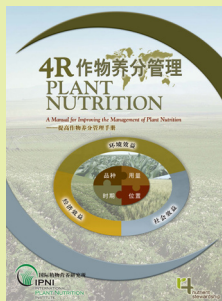
肥料施在作物易利用的位置



**4R养分管理**是肥料最佳养分管理新方法，已被全世界化肥企业普遍采用，其兼顾养分管理中的经济、社会和环境效益，对于农业系统的可持续发展极为重要。此方法理念十分简单——就是4个正确(Right)，即选择正确的肥料品种，以正确的用量，在正确的时间，施在正确的位置。当然，在实施的过程中还需要具备专业知识和因地制宜。

本手册是国际植物营养研究所《4R作物养分管理：提高作物养分管理手册》的浓缩版，强调了4R养分管理的要点与精华。

欲得到IPNI 4R养分管理完整手册及其相关资料，请访问：<http://www.ipni.net/4R> 或  
<http://ipni.info/CNP-3103>。



## 可持续农业的发展目标

用经济可行的方式增加粮食产量，并保持粮食生产体系的生态完整性，这一挑战正是可持续农业的发展目标。

作物养分管理方法是可持续农业体系发展的重要工具，应用这一工具会在上述提及的方面产生许多正面效果。

把正确的肥料品种，以正确的用量，在正确的时间施到正确的位置，它们直接相互关联，被证实对自然资本的方方面面产生有益影响，包括通过增加作物产量和品质，改善土壤质量，减少环境污染以及保护野生动植物。

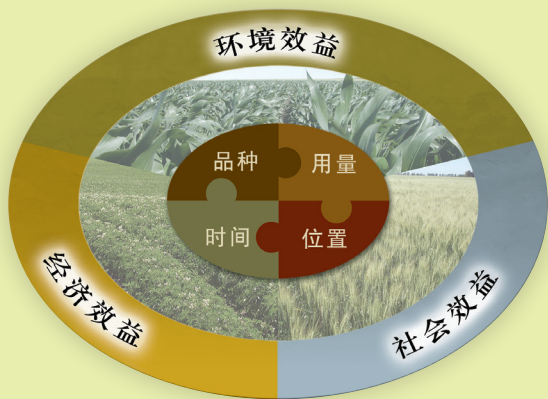
同样，正效应也作用于金融资本，随着农民收益的增加，他们生活质量会得到改善，在社区的经济活动也会不断增加。

## 4R作物养分管理概念

被认定为“正确”的肥料管理，必须支持以利益相关者为中心的目标。然而，作为土地的管理者—农民，是选择措施的最终决策者，而这些措施必须适合当地具体土壤、气候、作物生产条件和地方法规，这样才最可能实现目标。

因为这些当地条件会影响措施决策，直到实施的那天，根据当地正确的决定支持信息而制定的决策会比统一规定的方法效果好。





**图1** 4R养分管理是用正确的肥料品种、用量、时间和位置进行施肥，以获得经济、社会、环境相协调。

针对生长在土壤中的植物，根据物理、化学和生物学提出了植物矿质养分基本原理。把这些科学原理运用到植物营养的实际管理中，促进了土壤肥力和植物营养学科快速发展。

正确的肥料品种、用量、时间和位置的确定，须有相关科学原理的指导。农户和作物指导顾问确保他们在当地选择和应用的的管理措施与这些科学原理相吻合。

尽管这些原理适用于全球，但如何把它们正确用于当地实际，采取的措施却各不相同，取决于以下条件：

- 土壤
- 作物
- 气候
- 天气
- 经济
- 社会条件

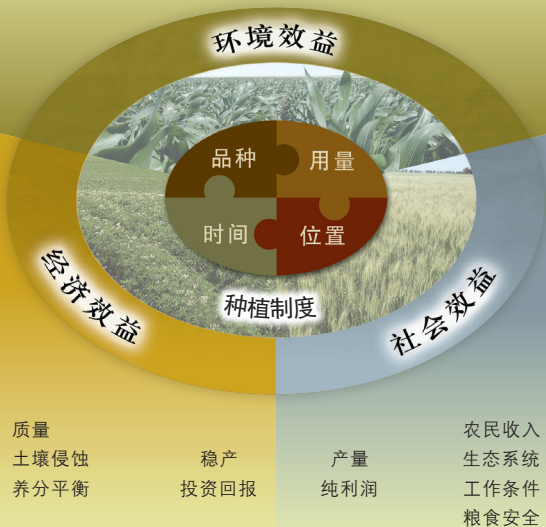
4个“正确”理念提供了简便的校验清单，用于评价某一作物的施肥措施是否合理。为了帮助农民和作物顾问鉴别在每一特定田块的每一特定作物的施肥是否合理，他们可能会问：

*“这个作物施肥时是否施用了正确的肥料品种，以正确的用量，在正确的时间施在正确的位置？”*

生物多样性  
养分流失

资源利用率：  
• 能源      • 水分  
• 劳动力   • 养分

空气质量  
水质质量



**图2** 4R养分管理的评价指标，包括植物-土壤-气候系统中的社会、经济和环境各方面，至于哪方面重要取决于投资者的意愿。



合理实施4个“正确”需要协调它们之间的平衡,这有助于避免过多强调一个方面而忽略其他方面。施肥量是最容易被过于重视,因为它与成本的关系简单而直接。

**肥料品种、施用时间和施肥位置常常被人们忽视,这对改善养分管理评价指标提供了更多的机会。**

植物营养管理措施通常与周围的植物-土壤-气候系统相互作用(图2)。为了肥料使用的可持续性,必须改善植物系统的性能指标。

系统的性能表现不仅受4个“正确”的影响,还受系统与其它管理措施如:耕作、排水、品种选择、植物保护、杂草防控等相互作用的影响。

植物-土壤-气候系统与植物养分管理相互作用并包括以下因素:

- 遗传学产量潜力
- 杂草
- 虫害
- 病害
- 菌根
- 土壤质量和结构
- 排水
- 板结
- 盐分
- 温度
- 降水
- 太阳辐射

在农场或当地生产系统水平下，生产者和作物顾问在做决策时是依据当地田间具体因素而定，并按此实施。然后对其决策的结果进行评估，由此确定对下次决策的调整。

对管理措施的结果进行评估应基于对利益相关者重要的所有指标。实际上，这是一种适应性管理措施，即在实施过程中通过对管理措施不断地系统评估以及利用参与者的学习，不断改进完善各种措施，实现生产效率的提高和资源保护。

要想在这个过程中得到完善的指导，最为重要的是作物顾问需要具备一定的水平的专业资格与技术培训。





## 正确肥料品种

在某些特定条件下定义正确的肥料品种的核心科学原则如下：

- » 考虑肥料用量、施肥时间以及施肥位置。
- » 提供作物可利用有效态养分。施用的养分是植物可吸收利用的，或者在土壤中可以及时转化成植物可吸收利用的形态。
- » 适合土壤的物理化学性质。例如避免在渍水土壤上施用硝酸盐、在高pH土壤上表施尿素等。
- » 了解营养元素和肥料品种之间的协同作用。例如磷、锌相互作用，氮增加磷的有效性，化肥与有机肥配合施用等。
- » 了解肥料的可掺混性。某些肥料品种混合起来易吸潮，从而影响掺混肥的均匀施用；肥料颗粒的大小应当相同从而避免产品的分层等。



- » 了解肥料陪伴元素对作物的益处和敏感性。绝大多数养分具有陪伴离子，它可以对作物有益、无益无害或有害。举例来说，氯化钾中的氯对玉米有益，但对烟草和某些水果的品质来说却是有害的。某些磷肥品种可能包含了植物可吸收的钙和硫，以及少量的镁和微量元素，对作物有益。

- » 控制非营养元素的影响。举例来说，一些磷矿的自然沉积物含有非营养微量元素，如镉。必须把这些额外元素水平控制在一个允许限量内。



## 正确的肥料用量

在某些特定条件下定义正确的肥料用量的核心科学原则如下：

- » 考虑肥料品种、施肥时间和施肥位置。
- » 评估植物对养分的需求。作物生长过程中吸收的养分数量与作物产量直接相关。在最佳栽培和养分管理下选择可实现的目标产量，考虑作物产量随田间和季节的变化，从而为整个作物养分需求评估提供重要指导。
- » 利用各种方法评估土壤养分供应。评价方法包括土壤测试和植物分析、肥料效应试验、缺素试验等。
- » 评估所有有效养分来源。对大部分农场来说，养分来源包括粪肥、堆肥、生物固氮、作物残茬、大气沉降、灌溉水和化肥中的养分总量和有效量。

» 预测肥料利用率。一些养分流失是不可避免的，因此为了满足植物需求，必须考虑这一数量。

» 考虑土壤资源的影响。如果作物系统的养分消耗大于养分投入，长期下去土壤肥力就会下降。

» 考虑精准用量下的经济学。对于不能保持在土壤中的营养元素，最经济的养分用量是根据报酬递减原则，即当投入单位养分的价值等于作物增产的价值时的养分用量。对于易被土壤保持的营养元素，应该考虑其对下茬/季作物的后效。评价经济最佳施肥量及其预测误差对纯收入所产生的影响。



**Nutrient Expert® 养分专家系统**  
——基于产量反应和农学效率的精准施肥方法

众所周知，肥料在保障我国粮食安全中一直起着不可替代的支撑作用。然而，近年来，化肥过量使用导致土壤酸化、养分流失和环境污染。同时，过量使用化肥和磷肥还容易引发水体富营养化导致地下水硝酸盐含量超标，直接影响农田的可持续发展。因此，建立科学合理施肥方法对于作物高产、优质、高效、低药、肥料利用率和保护环境具有重要意义。

我国农业主要以小农户经营为主体，复种指数高，作物种植多样化，给土壤测试指导农民施肥面临诸多挑战和困难。因此，依托国家863计划、农业田间试验项目、国家自然科学基金，以及中加国际合作项目的支持下，中国农业科学院农业资源与农业区划研究所与国际植物营养研究所合作研制了小麦玉米基于作物产量反应和农学效率的精准施肥方法。同时结合计算机技术，建立问答式系统，把复杂的施肥原理简化为农技师部门和农民方便使用的养分管理专家系统。其英文名称叫—Nutrient Expert，简称NE系统。该系统通过了联合国过去3-5年的产量水平和施肥历史就可以完成施肥推荐。该方法所述养分管理系统小农户生产生活的需要，也是今天国际精准农业，可以在农户土壤测试的条件下应用，是一种经济实用的精准施肥方法。

Nutrient Expert养分专家系统推荐施肥的原理是，用不同小区的养分吸收或产量水平来表征土壤基础肥力，测块施肥的作物产量反应越大，则土壤基础肥力越低。肥料推荐量也越高；而农学效率是投入单位养分的作物产量。该方法在汇总过去十九年在全国范围内开展的肥料田间试验的基础上，建立了低合作产量模型，在中央及其省份收集利用田间试验的数据，基于土壤基础养分吸收推荐，作物农学效率与产量反应的内在关系，以及采用管理推荐意义的作物最佳养分吸收和利用特征参数，建立了基于产量反应和农学效率的精准施肥模型。

对于肥料推荐，主要依据作物农学效率和产量反应的相关关系获得。详细描述其具体系统构建原理：针对土壤肥力和施肥推荐。主要依据作物产量反应所推荐的养分量以及补充其他土壤养分也在推荐用量中给予综合考虑。NE养分专家系统可以帮助产量施肥推荐选择基于4年的养分管理策略，完善每个小区肥料品种和定量的应用策略。养分专家系统根据田间试验的产量反应，在2003年以来，全国小麦和玉米种植区不同气候条件开展了应用NE养分专家系统指导作物施肥田间试验。据不完全统计试验结果表明，该方法在增产产量的前提下，能够科学降低施肥量和磷肥，提高了肥料利用率，在增产的前提下，显著增加了农民收入。此外通过土壤测试条件不完善的测试结果不及时的情况下，NE养分专家系统是一种快速指导施肥的新方法，受到农民和农技人员热烈欢迎。这种田间经济、养分和作物最佳养分管理方法，突出田间试验和产量反应和农民实践性的特点，提高田间管理水平，显著降低田间投入成本。



表A

作物**	N
苜蓿	23.15
大麦籽粒	16.52
豆科(干)	50.07
雀麦草	14.53
油菜籽粒	31.71
玉米籽粒	11.98
棉花(皮棉)	66.64
亚麻籽粒	41.73
小米籽粒	23.37
燕麦籽粒	20.32
花生果仁	31.78
马铃薯薯块	2.86
红三叶草	20.43
水稻籽粒	10.19
黑麦籽粒	25.02
高粱籽粒	11.80
大豆籽粒	54.25
甜菜根	1.68
甘蔗	0.91
西红柿	1.14
小麦秸秆	11.68
小麦(春季)籽粒	24.87
小麦(冬季)籽粒	19.36

\*表中的养分带走系数可能因地区而异，这取决于作物生长条件。因此，应尽可能地使用当地数据。1吨=1000千克



带走量，千克/吨\*

$P_2O_5$	$K_2O$	S
5.45	22.25	2.45
6.68	5.34	1.50
13.19	15.36	8.68
4.54	20.88	2.27
20.03	33.38	5.68
6.26	4.47	—
29.16	39.57	—
11.68	10.01	3.17
6.68	6.68	1.34
7.39	5.02	1.85
4.99	7.72	—
1.07	4.92	0.27
5.45	19.07	1.36
5.36	2.86	—
8.22	5.54	1.79
6.97	4.83	1.07
12.18	19.70	—
1.00	3.31	0.20
0.57	1.59	—
0.42	2.59	—
2.67	20.03	2.34
9.51	5.51	—
8.01	4.84	—

**举例：**利用表A，养分平衡法就是：12.46吨/公顷的玉米从土壤中带走了78千克  $P_2O_5$  ( $12.46 \times 6.26=78$ )。因此， $P_2O_5$ 的维持施用量为78 千克/公顷，相当于5.2千克/亩。

## 正确的施肥时间

在某些特定条件下定义正确施肥时间的核心科学原则如下：

- » 考虑肥料品种、施肥用量和施肥位置。
- » 确定植物吸收养分时期。养分必须满足当季作物的需求，这取决于种植时间、植物生长特性、在某些特定生育时期对养分缺乏的敏感性等。
- » 确定土壤养分供给动态变化。尽管土壤有机质矿化可提供大量的某些养分，但如果作物对养分的吸收需求超过释放量，养分缺乏就可能限制作物生长和产量。
- » 了解土壤养分流失动态变化。例如，在温带地区，养分淋失在春、秋季更为频繁。



- » **考虑田间的管理措施。**例如，多次施肥是否与杀虫剂或除草剂混合使用。施肥不能影响那些对时间敏感的措施，如作物种植时间。

## 正确的施肥位置

正确的施肥位置是指将肥料施用在合适的位置上，使植物易于吸收利用。恰当的施肥位置能使植物在其特定的环境条件下正常生长，实现其潜在产量。

实际上，正确施肥位置在不断演化。许多因素都可能影响正确的施肥位置，这些因素包括但不限于：

- 植物基因型
- 施肥技术
- 耕作措施
- 株距
- 作物轮作或间作
- 气候变化

因此，还有更多东西需要学习，才能明白正确位置中“正确”到底由哪些因素构成，以及在管理决策时，如何更好地进行预测。





在某些特定条件下定义肥料正确施用位置的核心科学原则如下：

- » 考虑肥料品种、施肥量和施肥时间。
- » 考虑植物根系生长位置。养分需要施用在根系生长的地方，这样才能在需要时随时能吸收到养分。
- » 考虑土壤化学反应。集中施用易被土壤固持的养分如 P，如条施或穴施，以提高其有效性。
- » 适合耕作制度。作物秸秆覆盖情况下的肥料深施技术有助于养分和水分的保蓄。
- » 考虑空间变异性。评估地块内和地块间作物产量、土壤养分供应能力和养分损失的差异性。

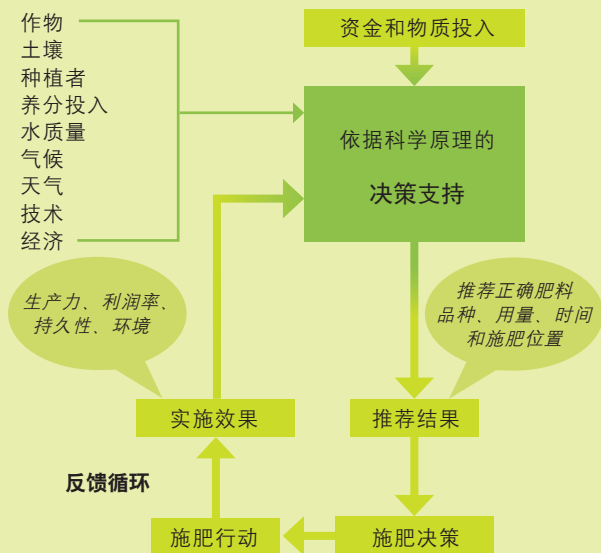


图3 适应性管理在4R养分管理措施改进中的作用

正如图3所概括的一样，养分管理总是与种植制度中的其它管理措施和当地影响因素交织在一起，包括诸如耕作、排水、作物品种选择等，它们会大大影响某一措施的实施效果。

许多因素与植物养分和养分管理措施的效果互相作用：

- 遗传学产量潜力
- 杂草
- 虫害
- 病害
- 菌根
- 土壤质地和结构
- pH
- 排水
- 压实
- 盐分
- 温度
- 降水和日照

最好的管理措施是动态变化的，应随科学技术进步对我们理解能力的拓展和机会的增加而不断演变；实践经验教会了聪明人在当地特定的条件下知道什么样的措施管用，什么措施不管用。



## 农场 4R 实例

以下所列举的措施目前正被一个美国的农场主所采用，他受到一个农业服务组织的支持。这个例子主要告诉我们一套实用的管理措施应该包含哪些内容。

**种植制度的目标：**利用新兴设备和技术来维持负责而可持续农业。

**正确的肥料品种：**

- » 在液体和固体肥料中添加氮素稳定剂。
- » 利用磷肥增效剂提高肥料对第一季作物的效益。

**正确的肥料用量：**

- » 采用网格土壤取样法，获取田间不同位置的养分变异与用量，有助于确定养分的正确用量和施用位置。
- » 根据往年数据来计算养分需要量来帮助确定正确施肥量。
- » 测定一些田块灌溉水中的含氮量，根据实际情况调整肥料用量。



### 正确的施肥时间：

- » 氮肥分次施用：在播种季节前施用尿素，接着在播种前或播种后追施液态尿素硝铵(UAN)来确保氮肥用量，可以保证在作物关键生育阶段养分的有效供应，并减少因挥发和淋失造成的N素损失。
- » 利用植株测试来评估施肥的效果，并在需要时作为植株养分状况的诊断工具。

### 正确的施肥位置：

- » 应用GPS技术避免肥料漏施和防止过量施用。配置变量播种装置，在控制投入成本同时获得高产。
- » 在所有田间操作和喷施机具上配置自动操作和GPS导航。
- » 利用卫星影像来获取产量潜力图并制定施肥计划。

### 其他措施：

- » 使用精准农业技术—驱动数据管理和决策工具，从而增加种植者的经济效益和获得更好的环境效益。
- » 种植4890亩覆盖作物来帮助自然控制杂草，并且保持土壤中的水分和养分。
- » 用灌溉管理来避免浇灌过度或不足。

## 实例 2

**种植制度目标：**制定种植计划，提高养分利用率和增加农场效益。

**正确的肥料品种：**

- » 用户自配掺混肥：由铵态氮、液体磷和钾混合而成，并加入氮肥抑制剂和稳定剂。
- » 根据土壤和植物组织测试结果施用微量元素。

**正确的肥料用量：**

- » 利用土壤采样和土壤养分图来确定需要施用的大量元素和微量养分肥料。
- » 在整个生长季节采取植株样品，分析评估并添加作物每一个生育时期所需N、P和K以及其它微量元素养分。
- » 测评年度产量和养分用量，确定所用措施的效率。

**正确的施肥时间：**

- » 利用植物组织测试来评估施肥措施的效果，并在作物生长季节作为植株养分状况的诊断工具。
- » 使用氮肥稳定剂和抑制剂来延长肥效。

### 正确的施肥位置：

- » 使用实时动态 (RTK) 卫星导航指南，更好地实施精准措施。
- » 采用播种行耕作和化肥条施来确保关键养分的正确施肥位置，降低土壤侵蚀和养分流失风险。
- » 把液态N、P和K注入15–20厘米深的土壤中，避免养分的流失和挥发损失。
- » 采用灌溉施肥，把养分施到最具生产力的田间。

### 其他措施：

- » 利用农业决策支持工具来制定更好的全局性耕作决策，从而提高养分利用率和施肥效益。
- » 使用白萝卜、饲草、油菜、红皮萝卜等作为覆盖作物来减少土壤压实，并在冬季保留N、P和K残效；此外，这些覆盖作物还可减少耕作和土壤侵蚀。

确保可持续产出的肥料品种、用量、时间和位置的确定过程很不容易。持续性的影响非常复杂，它们因地、因时而变，具有不确定性，需要更多的研究来支持不间断的科学进步。

然而，实际上人们通常认为应该由合适的全球性框架来指导，并在短期和长期框架内改变做法和提高产出。实现最佳生产力的植物营养管理措施可以帮助解决目前养分施用中存在的许多问题。

关于4R的更多资料, 请访问:  
<http://www.nutrientstewardship.com>

## 4R Nutrient Management



### 4R养分管理

4R养分管理措施是IPNI养分管理策略的核心之一, 旨在保障持续的粮食生产能力, 是化肥企业普遍采用的肥料最佳养分管理新方法。4R养分管理策略可简单归纳为选择正确的肥料品种、采用正确的用量、在正确的时间施在正确的位置, 原理虽简单, 但也需要充分了解当地的实际情况, 因地制宜地采取措施。其兼顾养分管理中的经济、社会和环境效应, 对农业系统的可持续发展具有重要作用。

4R养分管理涵盖所有与养分管理相关的原理。实际生产中, 具体的植物养分管理措施取决于农户的目标、现有的资源、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。4R养分管理策略在世界各地小型企业到大型商业农场和种植园中各种作物体系上都得到了广泛应用。4R养分管理是农户及相关技术指导人员、推广人员、研究人员、监督管理者以及植物养分管理专家的实用工具, 从而合理利用社会、人力和物质资源。如实施精准养分管理意味着在农户地块上进行研究工作, 需要他们积极参与, 从而有利于各利益相关者, 包括农民、研究人员、商人和政府层面的代表之间的沟通。此外, 参与者的受教育水平也会通过这种正规或非正规活动而得到提高。另外, 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也会逐渐取得成功。

从全方位审视, 4R养分管理策略不仅对农业系统可持续发展具有作物营养上的现实影响, 还具有潜在的深远影响。4R养分管理就是把合适的肥料品种, 用合适的用量, 在合适的时期施在合适的位置。详情请参见: <http://www.ipni.net/4R>



The  
**Fertilizer  
Institute**

Nourish, Replenish, Grow



CANADIAN FERTILIZER INSTITUTE  
INSTITUT CANADIEN DES ENGRAIS



IPNI  
INTERNATIONAL  
PLANT NUTRITION  
INSTITUTE