



# 国际水文地质学家协会 战略概论系列 粮食安全与地下水

## 关键信息

- 粮食生产需要大量的水，地下水资源提供了全球农业灌溉用水的40%以上
- 地下水是提高作物产量的重要资源，在1970~2000年“绿色革命”期间粮食产量提高了250%
- 在过去的30~40年里，由于地下水资源可以提高作物产量和农民单位水回报率，农业灌溉的私人水井建设投资水平显著提高
- 地下水储量非常大，而目前干旱区农业灌溉取水恢复能力是不可持续的，这导致地下水储量以超过120 km<sup>3</sup>/a速度趋于（半永久性）枯竭
- 土地利用方式影响地下水补给率和水质，随着种植集约化程度提高，地下水受植物养分、盐分和部分农药弥散性污染
- 地下水专业人员、水资源管理人員和灌溉工程师应及时联动，以实现跨部门联合治理和对策管理，以提高地下水资源可持续性

## 为什么地下水资源对全球粮食生产至关重要？

全球人口数量持续增长，人类面临着能否生产足够粮食，以满足人口增长需求这一问题，并产生“全球粮食安全”概念。然而，约14亿农村人口依靠自给自足的农业生产或进口食品补贴（而不是“食品贸易”），来获取最低营养限度保证。

粮食生产，无论是商业生产还是个体生产，都需要大量的水资源。因此，粮食安全与水资源安全密切相关。在一些气候湿润地区，作物生长仅靠降雨维持，但在多数地区，灌溉仍是实现粮食最佳产量的有效方式。

农业地区灌溉需水量已占全球井水供水总量的70%以上，约占全球水资源消耗总量的85%。据评估结果，地下水提供了43%的灌溉用水。在南亚和北美，地下水资源开发程度更高，分别提供了57%和54%的灌溉用水。





在过去30年里，农灌水井修建数量取得了惊人的增长，例如，目前灌溉水井覆盖印度约3900万公顷灌溉土地，中国为1900万公顷，美国为1700万公顷，以及巴基斯坦和孟加拉国多数地区。这些水井为数百万农户带来了巨大收益，同时，低成本抽水技术的进步是推动这一发展的关键因素。

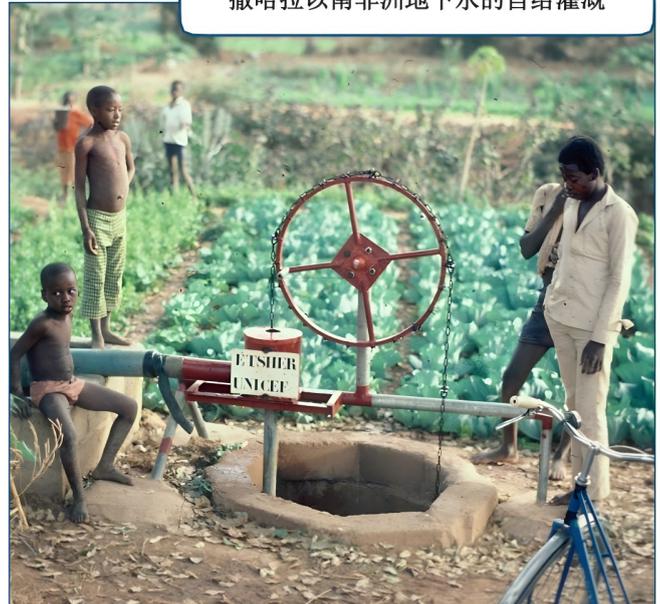
地区	地下水灌溉		
	面积 (Mha)	使用量 km <sup>3</sup> /a	占比
全球总计	112.9	545	43%
南亚	48.3	262	57%
东亚	19.3	57	34%
东南亚	1.0	3	5%
中东与中亚	11.9	76	38%
欧洲	7.3	18	38%
北非	2.5	16	24%
撒哈拉以南非洲	0.4	2	7%
北美	19.1	100	54%
拉丁美洲	2.2	88	19%
澳大利亚	0.9	3	21%

2010年用于农业灌溉的地下水量统计—联合国粮农组织

热带非洲例外，目前该地区仅有1%的土地采用地下水灌溉（相比之下，南亚这一比例为14%）。即便如此，用于农业灌溉的地下水开发潜力被广泛认可，但迄今为止，一系列复杂因素仍阻碍着地下水灌溉的大规模推广。

地下水资源和天然地下水储存的可利用性，是确保粮食生产安全供水的一个关键因素。事实证明，在长期（多年）干旱期间，由于水井的低成本和可靠性，地下水完全满足商业种植和自给农业分散种植，特别是在应对广泛分散和时间变化的灌溉用水需求。

撒哈拉以南非洲地下水的自给灌溉



地下水易于抽取，且供水安全，加之高产作物品种的引进，植物养分调节肥料的施用，以及杀虫剂的普及，全球粮食产量在1960-2000年期间增加了约250%，而种植用地面积仅增加了15%。全球粮食产量的显著增加与灌溉水井抽水量增加300%密切相关。因此，地下水资源是确保全球粮食安全生成的一个关键性投入。

### 未来粮食需求将给地下水带来哪些压力？

据预测，截至2050年，全球粮食产量仍需要增加60%~90%，以应对人口增长和饮食结构变化所带来的粮食需求。现有土地（主要在热带非洲和亚洲部分地区）农耕作物产量仍需提高约80%，尽管大多数肥沃土地已被耕种。在全球气候变暖、动物饲料需求增加、种植作物纤维持续供应，以及生物燃料潜能开发背景下，这一挑战将变得更加复杂。

集约型作物种植可能进一步加剧土壤侵蚀、地下水枯竭和盐碱化风险，同时，导致养分流失和农药下渗，这为水生态系统带来潜在污染压力。农民需最大限度提高水资源利用效率，并配合相关部门保护农业耕地，增加地下水补给量，并积极引入需水量低的农作物。

大型冲积平原农业种植同时能够利用地表水和地下水资源，因此，仍有机会通过大幅度集约种植方式，实现粮食增产目的。这可通过农业联合管理方式，在实现增产可持续基础上，以消除土壤渍水及其引发的盐碱化问题，以及地表水干旱所带来的负面影响。

此外，地下水因其供水稳定，能够实现农业全年灌溉，提高作物品质的稳定性，达到生食作物卫生标准。因此，地下水往往是推动高价值农业作物的催化剂。因此，地下水灌溉这一趋势将在未来继续持续。



过度抽水导致墨西哥村镇地面沉降

### 地下水资源可持续性的主要威胁是什么？

地下水资源储量非常大，具备应对重大干旱事件的能力，如适应气候变化和经济转型，以降低水集约型活动带来的危害，但地下水长期可持续开发利用仍面临一些威胁。水文地质学家的工作是，通过对地下水系统补给过程及补给速率进行科学评估，以确定影响地下水长期可持续开发利用的限制条件。

研究证据表明，近年来，全球众多干旱、干旱易发地区，用于农业灌溉的地下水开采量一直无法实现长期可持续性目标，并导致地下水储量持续减少。在全球37个主要含水层中，有21个主要含水层面临以上问题。地下水储量持续减少，关系着不断上涨的抽水成本及其碳足迹、地面沉降、水生态系统退化和地下水盐碱化。

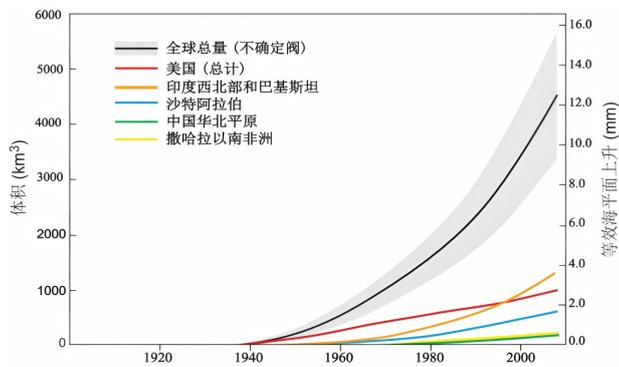
1940~2008年期间，全球约4500 km<sup>3</sup>的地下水资源被开发利用。值得注意的是，自2000年以来，地下水开发利用率明显提高至120~180 km<sup>3</sup>/a。

地下水用于秘鲁南部芦笋灌溉





即使在地下水周期性补给区，地下水资源也不太可能在100年或更长时间内得以完全恢复，且在某些情况下，还涉及对不可再生资源的影响，尤其在利比亚、阿尔及利亚和沙特阿拉伯，以及澳大利亚、中国、埃及和伊朗部分地区。目前，全球约10%的粮食产量（1.5亿吨/a）依赖于不可持续的地下水资源。自1940年以来，不可再生地下水资源的累积开采直接导致海平面平均上升15 mm。



农业灌溉引发地下水储量累积减少量

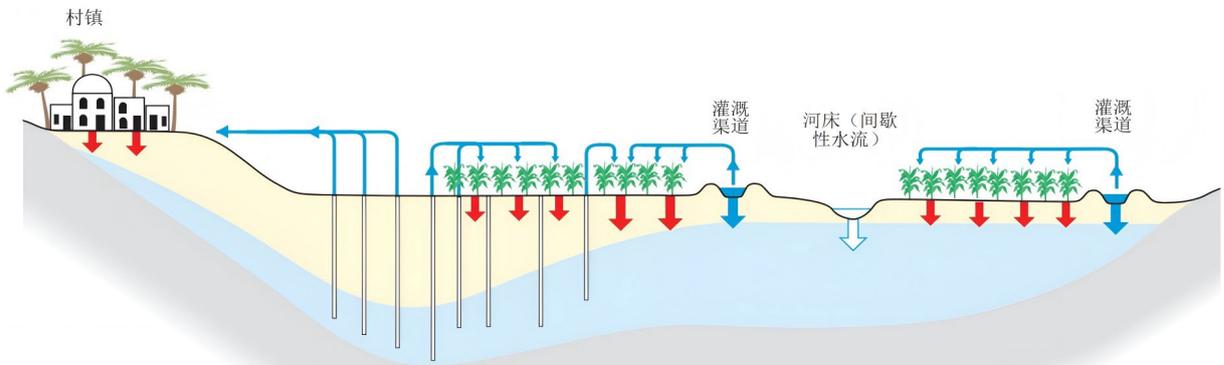
另一个同样被广泛关注的问题是，因地下水开

采和灌溉水管理的不合理性，导致淡水含水层盐渍化。在多数地区，地下水趋于枯竭，并伴随着地下水自然排泄消失，这往往转变为干旱土地中浸出盐分的“汇”，并在种植土壤中残留。在其他地下水位较浅地区，不合理的农灌水管理方式导致土壤渍水和盐碱化的过度渗透。目前，全球约有1000万km<sup>2</sup>农业用地正在经历或面临着严重的盐碱化风险。

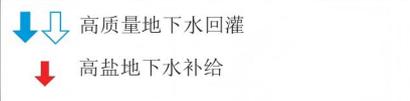
目前的灌溉方式和新灌溉区开发，需要由地下水专家进行监测和评估，以确定地下水盐碱化发展趋势。从长远角度看，盐碱化可能破坏农业种植潜力。

### 粮食生产还有哪些方面对地下水产生影响？

粮食生产与地下水之间的关系远比含水层枯竭和盐碱化问题复杂得多。水文地质学家的工作是描述和量化这些联系，并为水资源管理提供科学基础。大规模地表水灌溉是地下水的主要补给方式，在多数干旱条件下，甚至就某一时期，这是主要且最为可靠的补给来源。巴基斯坦的印度河盆地以及秘鲁、



干旱气候下冲积含水层地下水盐度升高成因



智利和阿根廷多数干旱的安第斯山脉山谷就是这种情况。运河水管理政策的修订从根本上降低地下水补给量，也减少了干旱期间可利用的地下水资源量。

虽然加压（滴灌）灌溉能有效提高农业用水效率，降低地下水抽水成本，但必须结合相关措施，在降雨量和地表水量过剩期，加强地下水补给。在干旱期，农民依赖地下水灌溉，将地下水资源与地表水资源统一管理，这对水资源可持续性和灌溉供水优化是至关重要。

由于所有的土地农业活动均会对地下水补给和水质产生影响，地下水来源于大规模地表水灌溉补给关系是一直存在的。同时，农业集约化发展满足了日益增长的粮食需求，但过量营养物质和部分农药下渗，这可能导致地下水不可避免且严重的持续性污染。更为严格的监管和有针对性的激励措施的实施，能够很大程度缓解弥散性农业污染，避免农业污染产生的次生影响，并很大程度降低了饮用水的处理成本。

地下水用于西班牙经济蔬菜灌溉



另一个复杂的问题出现在一些主要河流的洪积平原（如恒河平原），这些地区浅层饱和土壤层存在含砷矿物，在适宜条件下，溶解态砷会污染浅层地下水水质，并可能迁移至水稻作物中。

## 为何必须强化地下水科学管理？

地下水对全球和地区粮食生产至关重要，但地下水可持续开发利用仍面临着不可避免的威胁，这为努力强化土地和水资源管理措施，以满足粮食生产科学且可持续增长需求，提供了充足的必要性。因此，地下水专业人员迫切需要开展以下工作：

- 水资源管理者与灌溉工程师应共同认识到并推动跨部门管理对策，以提高水资源的可持续性
- 宏观经济规划者应认识到水—能源—粮食间的联系，并避免提供使用不可再生地下水资源的鼓励补贴

协同行动的优先事项包括：

- 制定并实施地下水管理计划（包括需求方和供给方双侧灌溉水管理计划），以稳定因当前农业活动导致严重枯竭和/或盐碱化的含水层系统
- 在主要冲积平原，引入渠道水与地下水资源联合管理计划，以提高作物产量和增加作物多样性，同时，避免土地排水和土壤盐碱化问题



• 实施跨部门协作和农业推广服务措施，旨在鼓励农民采纳土地管理措施，以提高地下水补给率，避免养分和农药过度下渗。



印度农民测量地下水水位，以制定旱季作物种植计划

### 延伸阅读

- Döll P H et al 2014 *Global-scale assessment of groundwater depletion and related groundwater abstractions – combining hydrological modeling with information from well observations and GRACE satellites*. *Water Resources Research* 50.
- Foster S & Steenbergen F van 2011 *Conjunctive use of groundwater and surface water – a ‘lost opportunity’ for water management in the developing world?* *Hydrogeological Journal* 19
- Foster S & Shah T 2012 *Groundwater resources and irrigated agriculture-making a beneficial relation more sustainable*. *Global Water Partnership Perspectives Paper* (Stockholm).
- Konikow L F 2011 *Contribution of global groundwater depletion since 1900 to sea-level rise*. *Geophysical Research Letters* 38
- Siebert S 2010 *Groundwater use for irrigation - a global inventory*. *Hydrology & Earth System Sciences* 14.
- Villholth K G 2013 *Groundwater irrigation for smallholders in Sub-Saharan Africa - a synthesis of current knowledge to guide sustainable outcomes*. *Water international* 38
- Willaarts B A et al (editors) 2014 *Water for food security and well-being in Latin America and the Caribbean*. *Fundacion Botin Water Observatory* (Madrid, Spain)

### 优先行动

- 针对受农业灌溉影响的含水层，制定包括改进灌溉用水管理措施在内的地下水可持续管理计划
- 针对主要冲积区，对地下水和地表水进行综合评价和联合管理，提高农业生产力，避免土地排水问题
- 针对农作物灌溉措施和新的灌溉技术，进行仔细评估和监测，确保其不会导致地下水盐碱化
- 鼓励农民采纳土地管理措施，以提高地下水补给率，降低养分、盐分和农药下渗对地下水的污染风险
- 重新调整政府财政支出（例如农作物保底价格、抽水能源补贴、水井和灌溉设施补助），突出可利用地下水资源的有限性和生态服务功能的退化，以支持资源可持续管理措施。