

7.096
世界农业
丛刊

干旱地区土地 利用问题译丛

(二)

农业出版社

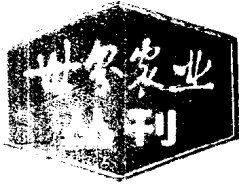
52.351
146

干旱地区土地利用问题译丛

(二)

中国科学院自然资源综合考察委员会情报室编

农 业 出 版 社



《世界农业》丛刊
干旱地区土地利用问题译丛
(二)

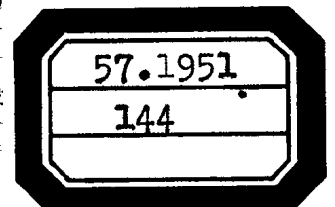
中国科学院自然资源研究所

农业出版社
新华书店北京发行所发

787×1092 毫米 16 开
1981 年 3 月第 1 版
印数

统一书号 16144·2272

定价 0.94 元



目 录

各国干旱地区小型农田水利措施及其研究动向 (一)	(1)
各国干旱地区小型农田水利措施及其研究动向 (二)	(20)
美国水资源的合理利用问题及灌溉农业的一些技术变化	Т.В. Беляева (37)
美国西部地区的灌溉回归水问题	Sheldon G. Boone (44)
苏联干旱及半干旱地区发展灌溉的趋势	Philip P. Micklin (53)
苏联干旱地带的水资源及其利用前景	Л. В. Дунин-Барковский (66)
干旱地区的地下水	牛木久雄等 (72)
地下水与地表水灌溉的综合利用	Д. М. Кац (76)
以色列地表水库与地下水库联合运行的综合供水系统	М. Еванари等 (78)
澳大利亚的地下水及其利用	Т. Е. Григоркина (82)
盐水在农业中的利用	Г. С. Нестерова (86)
“北美水利电力联盟”与两个西伯利亚调水方案的比较及评价	Philip P. Micklin (91)
苏联卡拉库姆运河对周围自然环境的影响	Б. А. Корнилов (103)
水资源区域再分配可能后果的探讨	О. Г. Сорочан (105)
附录: 有关日本处理局部干沙丘土地利用的实践经验 (七篇)	
日本海岸沙丘地的自然特征及其农业土地利用	谷冈武雄等 (109)
日本沙丘地的农业	野口弥吉 (114)
不毛沙丘转向高产农地	佐藤一郎 (116)
沙地的喷洒灌溉设施	长 智男 (121)
沙地耕耘作业与牵引力	樋口英夫 (126)
沙地收获作业的省工化	石原 昂 (130)
沙地运输作业的省工化	小松实作 (133)

各国干旱地区小型农田水利措施

及其研究动向（一）

当前干旱地区面临着比过去任何时候都更为困难的问题。世界沙漠似乎日益扩大，干旱正导致各国遭受经济灾难。六个遭受干旱打击的萨赫勒国家就是一个明显的例证。工业化国家和发展中国家也都遭到了危机。美国西南部的地下水位正不断下降，地下水的盐度日益增长。

干旱地区的农业潜力，还没有得到充分利用，我们应该通过一些特别适用于干旱地区的方法，加以最合理的利用。由于技术的、环境的、经济和文化的条件不同，温带的水利实践经验，不一定适用于干旱地区。需要我们革新和创造，特别要有能满足比较不发达国家的干旱地区所需要的那些水利技术。这些干旱地区，往往不合理地应用了降雨量较多，或供水较充足地区发展起来的实践经验。我们还需要重新研究古代农民在干旱地区积累起来的实践经验。基本途径有两个方面：一是增加用水的供应；二是降低对水的需要。供水和需水以及输水必须作为一个完整的系统来考虑。

有多种途径可同时增加供水和减少需水，两者结合将给干旱地区带来益处。传统的灌溉农业存在着节约用水的很大可能性，而在干旱地区，灌溉农业是最大的用水户。对经历几世纪的古老的习惯方法和耗费资金的现代水利管理系统都是如此。传统方法不是本报告的主要论题。因为在其它文献中已有广泛的论述。仅就下列几点加以说明：

1. 在一些干旱地区增加供水的最大可能，是改善现有的供水系统，因此无须安装整套的完整设备，就能提供更多的用水。例如使用塑料、混凝土和金属制的封闭管道代替明渠即可减少蒸发，或对水渠进行衬砌即可减少渗漏损失。本报告大部分是阐述改善现有供水系统和最大限度地利用现有的供水措施。

2. 改善农田水利管理可节约大量用水，这是许多地区的农民常常忽视的一个问题。一个缺点是各农场之间的农田配水和排水系统的设计不周。蓄水池、干渠、导流渠和主要的排水渠工程（甚至灌溉100—200公顷的分渠），可以设计修建得很好，但大部分为农田服务的沟渠都不充分，有时甚至没有。此外，灌溉人员常常对供水和用水管理失当。

3. 在设计一些新的和调整修复一些旧的系统时，要把用户的需要放在首位。灌溉系统必须在恰当的时候为用户提供适当的水量。灌溉工程通常都不能发挥其潜力，因为没有充分考虑用水的需要。例如灌溉中的输水系统，应设计得使供水能随天气和作物成熟期不同，以及需水量的不同而变化，但现在却经常以任意的和固定不变的方式输水。

4. 有地下水的地方，地表水和地下水的供应和输水系统，应结合考虑，以使当地的全

部水资源得到最合理的利用。

5. 普遍说来,当有水时农民总是习惯于大水漫灌,这样便引起水渍化和盐渍化以及肥料淋失等问题。还经常发生组织的(输水系统、程序、水权法规、传统习惯等)安排失当,以及促成过度灌溉的情况。虽然为了淋洗积聚的盐分,可能需要采取大水漫灌措施,但近年来的研究表明,这种需水量可能比以前人们认为的要少得多。

6. 传统的灌溉方法既不便宜又不简易;标准的灌溉工程的设计、建设和有效运行的复杂性,往往为人们所忽视。对耕地进行不适当地平整,甚至出现小的起伏不平,浪费大量用水。所以精细的整地和熟练的劳动是必需的。平整土地在设备、燃料及维护等方面,通常都需要大量投资。

7. 水源越是不足,越需要技术与管理。

本报告分两部分:第一部分阐述提高供水的多种技术;第二部分阐述保水的各种方法。

第一部分 供水

一、雨水的积聚

尽管干旱地区不经常降雨,但雨水却构成当地水量的重要来源;10毫米的雨水等于每公顷土地有10万升水。积聚这种雨水,可以为那些距离其它水源遥远的地方,或水费太贵的地方,或者由于地质条件不良或钻井费用过高不能打井的地方,提供水源。积聚雨水,特别适合于对小村落、学校、农户、小果园、家畜和野生动物供水。

古代荒漠居民利用沿山坡流下来的雨水,引向田间或蓄水池的办法积聚雨水。干旱地区的现代农民已很少利用这种直接方法积聚雨水;但在1972年澳大利亚干旱地区的一个2,400平方米(年平均降雨300毫米)的集水区,就在降雨量最低的年份,为“6个人、10匹马、2头母牛、150只绵羊”提供了充足的用水。

目前,许多研究人员正致力于研究采用改变土表的办法增加径流水。

方法 在年平均降雨量只有50—80毫米的区域,也有可能积聚雨水。这看来是最低的界限,但在以色列年降雨量只有24毫米的地区,积聚雨水的集水区还产生出可供利用的径流。有些干旱地区,例如美国西南部,雪和夹雨雪也能提供径流水。大部分荒漠地区出现的黄土和类黄土都适于积聚雨水,因为这样的土壤在小雨后,能形成板结的表层,从而促进径流的形成。有时降雨可以积聚在未经修整的自然集水区,就是在可以积聚雨水的一些低洼地上挖水池。有时需要对这些自然集水区进行修整,使土表不渗透水,以便于增加径流量。其主要方法可概括如下:

1. **土地改造** 在有些情况下,为了积聚和输送径流水,需要沿丘陵坡地等高线挖沟渠或修筑石壁。清除岩石和植被一般能增加径流量,夯实表土也能增加径流。应用这些简单方法,防止侵蚀是主要问题,当侵蚀不严重并有廉价的丘陵坡地的情况,在干旱地区利用这类土地改造,可能是收集雨水的最经济的途径。

2. 化学处理 为了积聚雨水, 一种有前途的方法是利用化学药剂处理土壤, 即填塞土壤孔隙或者使土壤排水。钠盐能引起土壤中的粘土破碎成小颗粒 (部分封闭住土壤孔隙和裂缝), 增加粘土土壤的径流。钠盐作为土壤封闭剂, 正在引起人们注意。因为它的费用低, 见效快, 又能抑制杂草生长。一般经试验过的其它排水化学药剂是(聚)硅酮、胶乳、沥青和腊状物质。

这类封闭剂目前看来使用在不随水分而隆起的稳定土壤上是可行的。

沥青为建筑费用低、不渗透的集水区提供了可能, 特别是因为它用喷撒方法, 应用方便。美国许多已清除了植被的山坡集水区, 经过平整, 用一层贫瘠土壤和两层沥青加以处理, 修成雨水集水区。一层密封住孔隙, 另一层则防止风化。在适宜的山坡地上修建的许多沥青集水区, 可用4—5年保持不坏。由于不稳定的土壤条件, 氧化作用及发芽植物的穿透所引起的一些问题, 最近已采用塑料或玻璃纤维增强沥青, 和用砂砾覆盖集水区等办法加以克服。最近, 粗石腊已被用作土壤封闭剂。散布在地面的颗粒状腊, 在太阳下熔化并流到空隙中产生一种迅速泄水的表面。腊也能熔化并喷撒在地面上。在一些试验中表明, 经腊处理过的一些小块土地, 平均降雨量的90%能形成为径流; 而未处理的小块土地, 径流仅有30%。经腊处理的小块土地上的流水含盐度低, 每升小于50毫克; 几乎测不出有机物质的含量。

3. 土被 替代以土壤本身作为泻水面的措施, 在有些情况下, 用一种防水层覆盖土壤, 可能更好些。在多孔性的或特别是不稳定的土壤上, 采用其它方法可能成本太高。塑料薄膜、异丁(烯)橡胶及薄金属片为建设费用低的降雨集水区提供了条件, 但它们易被风吹而损坏。覆盖砂砾的塑料薄膜已证明是比较成功的。砂砾保持着下垫的薄膜免遭辐射和风吹的损坏。这些集水区如果建造和保护得当是耐用的, 设计寿命可达20年以上。这种方法用于容易获得砂砾而又不需要最大径流的土地是有用的 (砂砾还保持着一些水)。

一般原则 积聚雨水的方法都要选择具体的地点位置。在设置一个系统之前, 必须了解当地的土壤 (特别是保水、径流和侵蚀度等特点)、地形 (坡度和自然径流的流向)、降雨特点 (雨量、可靠率等) 及气候 (风、阳光、温度)。因为干旱地区降雨是间歇性的, 所以蓄水经常是任何积聚雨水系统的一个组成部分。但当积聚雨水技术用于径流农业时, 水均被蓄存于耕作土壤中。有时可能要建设集水区补给现有的即使是古老的蓄水结构。

优越性 出人意外地许多干旱牧场的牲畜负载能力, 受饮水缺乏的限制比受饲料缺乏的限制更大。积聚雨水可能是唯一的额外水源。改善干旱牧场或者其他遥远集水区的饮水供应, 可增加这些牧草场的价值, 并使现有的饲料利用更为充分。积聚雨水的系统一旦设置起来, 无需使用燃料或动力即能供水。

最近集水区的建设费用已显著下降, 看来进一步减少成本是可能的。比较有前途的化学处理和地面覆盖, 如腊、强化的沥青薄膜及砂砾塑料等, 已在美国西南部 300 毫米降雨区, 提供了无沉积物的优质水, 每立米的费用不到0.05美元。在有利的条件下, 土地改造方法是所有方法中花费最低的, 并且能以更低的费用为大多数农业提供适用的水。

生产和提炼原油的干旱地区的发展中国家, 对重油分馏物如沥青的需要有限, 而它们

又常是难于处理的顽固污染物质，因此，可利用沥青建设集水区。

局限性 因为积聚雨水要依靠自然降雨，所以它与气候同样不可靠，如果没有充足的储水设备，在旱灾年分就会失败。在年平均降雨量少于50—80毫米的地区，积聚雨水不一定是经济可行的方法。在指定地区应用积聚雨水的方法，需要注意将其副作用减至最低限度。由于积聚雨水的设计和管理不善，可能导致土壤侵蚀、土壤不稳定和产生局部泛滥。经常使人关心的土壤侵蚀，如果坡短而不太陡，水能顺坡而下，是能被控制的。最有效的积聚雨水是来自小的缓坡（最可取的为1—5%）集水区。坡度也影响径流的数量和质量。目前对于设计积聚雨水的方法，还缺乏专门知识和技能，在许多干旱地区，也缺乏关于降雨强度和变化的资料。

积聚雨水必须经受得住风化和行人来往的践踏。有时可能需要建起围墙或篱笆。必须经常考虑环境污染。染色的或污染的径流水，在供人们消费之前，需要进行处理（图1表示最简便的方法是利用砂石过滤）。

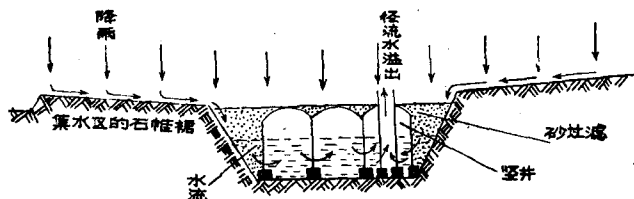


图1 实验用的雨水集水区，它具有充满砂砾石的贮水池。砂有减少蒸发和过滤的作用，然后作为饮水。池里衬上薄的塑料，用塑料管制成蜂房形的隔室来增加水的容量。

大部分土壤处理方法（特别是费用低廉的一些方法）寿命有限，必须进行定期更新。这些设施还需要经常维修。因为土壤不稳定、氧化作用和植物穿透土被，而使土表裂缝。现在还没有一种材料能证明对所有集水区是最好的。

发展阶段 积聚雨水的办法已有四千年的历史，它始于青铜器时代，当时的荒漠居民，平整山坡，增加雨水径流，并建筑沟渠，积聚雨水，引往较低的田间。这种实践经验使农业文明能在年平均降雨量约100毫米的许多区域发展了起来，这样的雨量对传统的现代农业是不够的，但在1950年以前，仅建起很少几处人工集水区，主要由政府在雨量高、土壤孔隙多的岛屿（例如加勒比海的安提瓜岛）为家畜和野生动物集水而兴建的。费用通常很高。二十世纪五十年代对积聚雨水的积极性日益增长，又陆续建起了一些成本较低的处理设施。最广泛使用这种方法之一的是西澳大利亚，那里有几千公顷夯实的土面集水区，供农户及家畜用水。这些集水区经适当维护性能良好。大约有240公顷沥青或沥青混凝土的集水区也已建成，为西澳大利亚32个小城镇供水（图2）。

目前，积聚雨水仅供小规模利用，为农场、家畜、村落供水。土地改造方法已在世界范围内被广泛利用。澳大利亚和以色列已经利用这种方法，苏丹和博茨瓦纳在技术援助方案中已引进了集水池方法。化学处理和地面覆盖虽然主要仍在实验中，也已在世界范围内利

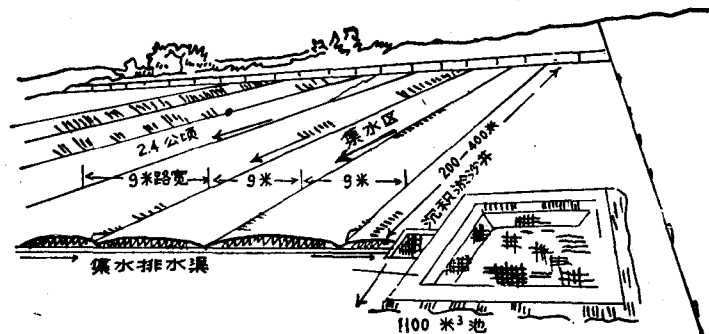


图2 西澳大利亚雨水收集系统

集水区分为等级、辗平。收集的最小降雨是7.6毫米，成本是每英亩36—40美元（1968年）。它们被设计成径流仅4.45厘米1.6公顷集水区，就提供800立方米水。集水区做成中凸形，因而降雨径流可以很快地流到“路边”，在那里渠道将水运送到主要集水器的排水渠，并通过一个沉积淤砂的陷井送到贮水池。

用，但规模甚小。这些方法已被证明在技术上是可行的，而且是成功的，然而这些方法，还不足以在经济上有吸引力，以至能广泛地应用起来。

需要进行的研究和发展 没有一种积聚雨水的方法，已经过长期的经济分析。需要在不同区域进行大规模田间试验，建立一套资料基础，以便于较好地了解在不同经济环境中各种方法的经济生命力。发展中国家特别需要这种资料，因为大部分技术是针对以色列、澳大利亚或美国的情况设计的。采用适当的研究适应发展中国家的需要、经济及物质情况，积聚雨水的方法可能具有特殊的和直接的价值。

主要的技术研究，需要降低封闭集水区土壤的成本，使得这种处理在更广泛的不同土壤和环境情况下切实可行。工业正在不断地创造新材料，需要继续不断地进行检验，并做出评价，为积聚雨水所利用。

二、径流农业

一旦雨水径流从坡地上被积聚起来，它就能为作物生长所利用。这种结合就是众所周知的径流农业。几乎早在四千年前，径流农业就已发展起来，使得作物在年平均降雨少到100毫米的土地上也能生长。大量调查表明，中东古代农民采取清除丘陵山坡地的办法，以增加径流水，沿等高线垒起石壁积聚径流水，并挖沟把它引到较低处的农田里。这些系统使得荒漠地区的农业文明获得生存，目前这些地区仅能维持少量人口和生产少数几种作物。战争和政治动乱造成经营失当并忽视了古代农场的的作用，但径流农业的技术却仍应用到今天。径流农场利用现代技术并选择适合当地条件的作物品种，将有益于许多荒漠地区。洋蓍、芦笋、球根类花卉，一些水果以及坚果、大麦、高粱、御谷以及饲料作物，对径流农业来说，都是具有潜力的重要作物。现在这些作物大部分生长在尼格夫荒漠大规模径流农业试验田里。

方法 在径流农业中，原则和实践是以积聚雨水为依据的。基本的需要是一个足以提

供作物成熟需水的雨水汇集区。显然，作物本身需水和一般的保水技术是获得较好收成的关键。干旱年景的欠收，常常被丰收年景所补偿。

这种类型的农业必须使水获得最好地利用。一般说，具有深根性的多年生作物比较适合于径流农业，因为这些作物能利用储存在土壤深层的径流水，以减少蒸发。一些根深的耐旱果树可能是非常成功的。一些生命较短的作物也能生长，例如粮食作物如御谷成熟快，而只需要一场阵雨，就可望丰收，在干燥期处于生长停止状态，当有水时才开始生长的作物，特别适合于径流农业。

人们认为：尼格夫的荒漠土壤和气候，在径流农业下适合于多种作物。牧草、大田作物以及果园均获得了极好的收成，超出旱地农作物产量以上，并可和灌溉农业产量相比（见表1）。

表1 1971年尼格夫径流农业产量

作物	吨 / 公顷
桃	6—12
杏	3—8
葡萄	12—15
无花果	6—8
巴旦杏（干壳）	0.3—1.8
大麦	1.3—4.8
小麦	1.1—4.5
豆类（种籽）	5.4—6.9
向日葵	2.2—2.7
紫花苜蓿	16—37.7
野燕麦	20—31.2
阿月浑子	0.4—1.8

径流农业 古代径流农场的已耕地，是靠10—20公顷的许多集水区供水的。这些集水区划分为1—3公顷小集水区域，使径流水集流到沿山丘建造的渠道里。较小的集水区，可以阻挡控制不了的水。渠道把水引到具有石砌溢洪道的梯田里。这样就可使一块田里的余水流到较低的田里。农民在集水区和田块之间用石块筑成小的渠道，只要从渠道埂上搬开一些大石块做出水口，就能把水引到不同田块。

波茨瓦纳的径流农业，是利用精心建造的小集水区。集水区包括学校的运动场地、道路等。

引洪 在干旱地区，有限的降雨通常是短期内集中降落的暴雨。水很快地排到沟壑并流达几英里入海或注入内湖。对当地说，水量是流失了，但这些突然的径流引起的洪水可能常常使没有被暴雨触动的其它地区遭受破坏。在这样的情况下，引洪是简便的灌溉方法：有意地使洪水从它们自然行程引向邻近的泛滥平原（图3），或者在靠近谷底截留。洪水是通过沟渠、河堤、水坝或灌丛栅栏被改道或滞留。于是湿润的泛滥平原或谷底可以用来生长作物。引洪也经常在牧场和草地上得到实际应用。

引洪系统需要有一个慎重的计划和抵挡洪水的工程设计。在许多干旱和半干旱的牧场

都发现有可能的地点，有时如在山脉的雨影中洪水比降雨更为普遍。选择这些地点必须充分考虑地形、土类以及植被的状况。两个条件是必不可少的：

(1) 一年之内至少可提供几次经由上游流域产生的不用于引洪的径流水。

(2) 泛滥平原或缓坡地区的土壤应适合于作物生长。这种方法比之正常的灌溉更具有内在的风险，它取决于有规律的降雨和便于形成径流的土壤（例如黄土）。经常关注的是由洪水携来的沉积物和砾石可能对耕作农田有不利的影响。

微型集水区农业 如果在一个地区的周围建立起雨水汇集区，即可用大于正常降雨量的水量灌溉作物，植物就能够在降水太少的地区生长，这样的实践被称之为微型集水区农业。上述原则也能运用于这种小规模径流农业：前述的土壤处理方法，许多都是可以利用的。

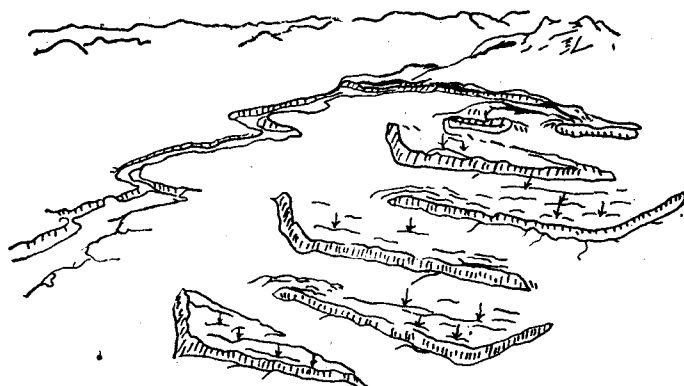


图3 巴基斯坦建筑的引洪岩墙草图
之字型减慢洪水流和允许洪水渗透到土壤，使作物能种植在岩墙后面的湿润地上。

尼格夫荒漠利用的微型集水区规模为16—1,000平方米。每个集水区四周都筑有高15—20厘米的土墙。在每个集水区的最低点，挖一个大约40厘米深的盆地，在盆地上种上树。这块盆地蓄存着来自微型集水区的径流(图4)。盆地的大小应与预期的积聚水量相适应。

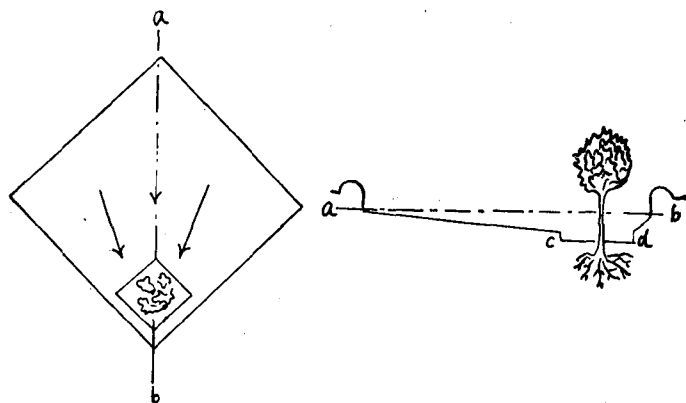


图4 微型集水区的平面图和剖面图
箭头表示径流方向。种植地块(c—d)处于微型集水区中天然地形的最低点，它的位置不定。墙高15—20厘米，c—d低于集水区大约40厘米，保持渗进水紧挨植物，根部土壤至少必须深1.5米；a—b的距离可小于5米或大于30米，因气候和作物而异。

盆地要施肥料，使表土保持疏松，以促进水的渗透。也可用覆盖物减少土壤的水分蒸发。

在别的裸露荒漠平原，微型集水区能提供足够的补充水量，保证果树和饲料植物的生长。微型集水区和这种方法，在突尼斯已应用于种植橄榄。

尼格夫的微型集水区建造费用很低，每公顷 5—20 美元，视集水区规模而异。集水区的建造费用在几年之内就可以从作物收获的现款中偿还。

微型集水区比大规模的集水方法更有效，因为它的输水损失最小。下小雨时，微型集水区能提供径流水，而其它方法就不能提供径流水。把某区域改造成微型集水区不需要渠道、管道、梯田以及梯田地边埂。不仅如此，微型集水区几乎可以沿着各种坡地修建，包括一些大体上是水平平原的区域，使农民能利用不适宜径流农业的广大平坦区域。

荒漠带状（或等高线集水区）耕作 荒漠带状（或等高线集水区）耕作是微型集水区耕作的变种。它使用一系列的梯田（阶地），把水泻到附近的肥沃土壤地带。梯田往往是一层层筑在山坡上，但在水平地形上，可以在地带间用筑土堤的方法建造集水区的人造坡地。集水区部分可以保留自然状态或者清除碎石和植被，种上牧草或者如前述的用密封剂造成不透水层。一般来说，荒漠带比微型集水区更易设置和维护。这些方法正在亚利桑那州试验；以色列的马萨斯旱谷荒漠地带，则用来生产饲羊的牧草。

优越性 径流水可以使作物在其它严重干旱的生育环境中生长。道路边缘的情况，往往阐明了这一原则：因为道路起着集水区的作用。在路边低坡的植被颜色较绿，并且长得比较稠密。因此，有的提出选择适当的山坡脚下，在路面旁边建造蓄水池积聚水。

径流农业可以在水不那么充分，但可以维持农业的地方用于开辟新的农业用地。因而在已耕作区域无须安装昂贵的灌溉工程就可从邻近地区引水，增加农业产量。这种方法对于边缘区域尤其可取，径流农业能减少作物失收的风险。

用于生产饲料的径流，能减缓附近牧场的放牧压力。过度放牧区域能恢复植被并且使得牧场的载畜量大大增加。例如，澳大利亚新南威尔士州罗克地方的“康内巴”80 公顷的牧场引水区域，从 1968 到 1973 年，每公顷加权平均生产力为 2.66 只绵羊；没有引水地区的载畜量是每公顷 0.18 只绵羊（根据 1947—1972 年 25 年的计算）。康内巴在缺雨水的年份仍出现季节性的饲料不足，但是其影响比没有引水的要小得多。放牧强度高的情况只在短期内出现。28 公顷放牧场在四天短期内放牧曾高达 586 只绵羊。径流灌溉的草场专用于对新出生幼畜的保养，使其损失降至最小限度，并保证在剪毛、挤奶和交配期的畜群需要，等等。

径流农业能延长多汁饲料和营养饲料的生长季节，便于在特别需要时，提供青饲料。

引水能控制侵蚀，因为引水能减缓急流，并使其能量消散。

局限性 径流农业需要深层土壤才能蓄存两场雨之间的水。径流农业对深根植物是最好的，例如乔木和灌木，它们的根系能吸取贮存水，对经常降雨依赖性不大。对比之下，一年生作物不仅在生长初期需要雨，有时在以后各阶段也需要雨。各种作物能间歇地耐湿土及旱土，加强了这种方法的作用。和普通农业一样，产量也有赖于对病虫害的控制。

环境的先决条件是：

(1) 如果雨季与这一年的冷期相符, 每个雨季最小平均降雨量为 80 毫米, 如果雨季出现在夏季, 蒸发量较大, 则最小平均降雨量大于 80 毫米;

(2) 集水区域具有不透水和形成表层硬壳的土壤;

(3) 耕作区域中的土壤具有高蓄水能力;

(4) 耕作区土壤厚度最小为 1.5—2 米(除非具有贮水设备)。

在径流农业中, 水必须均匀分配在整个耕作区域以防止蓄水扩大、过度灌溉或深层渗透损失。在一些情况下, 一个耕作区域可以这样来建造: 使得任何多余的水能流到较低的集水层。耕作区域必须均匀, 没有沟壑或隆起。对径流农业作出决定之前, 人们必须考虑:

(1) 植物生长的用水特点; (2) 植物产量; (3) 植物的抗旱能力; (4) 耕作区的土壤是否能蓄存足够的水使作物生长成熟; (5) 土表的蒸发量。

发展阶段 古代径流农业在中东、南阿拉伯及北非的整个干旱地区是很普遍的。尼格夫几千公顷荒漠的径流农业曾是文明的基础。径流农业已显示出对现代利用技术上也是有效的。径流农业作为系统的方法, 已在以色列地区尼格夫荒漠上复兴。那里过去十五年中进行了大规模的实验, 为发展中国家培训人员的学校设于马萨斯旱谷。目前在若干其它干旱国家, 如墨西哥、博茨瓦纳、印度、巴基斯坦以及澳大利亚, 已出现一些微型集水区耕作。阿富汗的霍斯特省有 7 万公顷耕地利用微型集水区方法种植小麦和果树。

必要的研究和发展 如果精心选择场所、系统设计以及选择作物, 径流农业就能在今天被利用。采用完善的管理, 径流农业能使得干旱荒芜的土地变成肥沃土地并且能成为经济上稳当的投资对象。可是, 现代的经验仅局限于少数几个孤立的方案。需要对具有不同气候、土壤和作物条件的世界上的一些地区, 进行充分的技术经济评价, 鉴定径流农业的未来可能性。

为了使得径流农业更有效, 需要培育更好地适应这种农业的作物品种。例如, 用 60 天成熟的作物代替 80 天成熟的品种, 土壤就不必蓄有如此多的水, 作物失收的危险也将减少。这种方法需要的降雨量较少, 而管理上的要求也较低。

微型集水耕作中, 关键问题仍是对每类作物品种所需的微型集水区的最佳规模。显然, 这个参数不仅与微型集水区类型有关, 而且与降雨土壤质量以及坡度的陡峭有关。对于这些问题我们必须有足够的认识。其它许多问题涉及到最合适的深度和盆地大小对集水面积大小的关系。这些因素是很重要的。因为它们尤其决定着被洪水湿润的地表区域大小范围及土壤中水柱体积和深度。这些因素又影响含有根系的土壤渍水的时间及土壤和根的通气性不良。这些因素的知识甚至可以导致建造各种类型的盆地以及栽种树木——也许可以种在盆地内的土墩上。以各种方法对微型集水区的土表进行预先处理, 也是增加径流量的可能途径。尤其需要对利用化学等处理, 和地面覆盖的集水区的径流耕作, 进行技术经济的研究。

三、盐水灌溉

世界上许多荒漠的下面都有盐水, 而许多地表水——港湾、海岸泻湖、内陆湖以及灌溉回归水都含有相当数量的盐。如果盐水用于灌溉, 更多的荒漠土地就能耕种; 目前用于

农业的淡水就可以转用于人类消费。这就能减少对目前为供应城市用水，考虑采用的昂贵的脱盐淡化措施的需要。目前，植物生理学和土壤科学的新评价，以及新的灌溉技术正在表明，采取精心的管理技术措施，盐水是能用于生长多种作物的。

方法 作物的抗盐性在很大程度上决定着盐水灌溉的适宜性。目前，对作物的耐盐性已进行了充分的研究，为选择合适的抗盐水作物的可用资料越来越多。虽然已经知道少数几种作物，如棉花、大豆、小麦、甜菜、黑麦草、狗牙根以及高冰草等是耐盐的，但这些作物在发展中国家占重要地位，因为他们构成了大部分农业生产的基础。耐盐树木包括海枣、油橄榄、石榴和阿月浑子。

一般说来，每升水可溶性固体总量低于 600 毫克的灌溉水，几乎可用于任何作物。如果淋洗和排水适当，可溶固体含量 500—1,500 毫克/升的水，除了对盐最敏感的作物外，对所有作物都能使用。尤其是采取经常灌溉方法，1,000—2,000 毫克/升的水能用于中度耐盐作物。3,000—5,000 毫克/升的水只有如前所述的高耐盐作物，才能获得高产。尽管有相反的主张，利用未经淡化的海水灌溉，尚未证明对作物是可行的。海水总的含盐量大约为 3.5 万毫克/升，大大超过了目前已经研究过的最耐盐作物——狼牙草能耐大约 1.2 万毫克/升的盐水。

水中盐的类型和浓度是重要的。例如，钠与钙和镁的相对浓度影响水的适宜性。因为高的钠比例影响土壤结构和植物的营养。在盐水灌溉的实践中，盐的阴离子，例如氯和硫酸可能也是重要的。基本前提是合理的灌溉和排水管理，防止盐分在土壤中积聚。采取淋洗避免盐分的积聚是至关重要的。采用比作物正常需要量大的灌溉水，以使额外的水能带走植物根系周围的盐分。盐水对灌溉的适宜性，也受制于环境的淋洗特性，即这些特点是否促进或妨碍从根部除去盐分。如果这个区域的土壤颗粒，或全部排水的淋洗特性不充分，土壤盐度即将增加，最后可能成为不毛之地。轻质土到中质土的土壤不受限制水流的结构变化的支配，利用盐水灌溉可能成功。

根据最近的调研结果，新的灌溉方法能增加作物的耐盐性。例如与畦灌相比，业已证明滴灌利用盐水（2,000—2,500 毫克/升）灌溉能提高作物产量。当土壤特别干旱并且盐的浓度增加时，盐分对植物的压力就加重。经常灌溉（如同滴灌那样）能减轻这种压力。

优越性 地下盐水、地表盐水以及港湾水都是可以广泛利用的，但通常不用于灌溉；新的研究成果表明可能使之利用于农业、园林等。

利用盐水，特别是来自接近地表含水层的盐水的费用似乎并不太大。在尼格夫荒漠麦萨比·斯德居民点（100 毫米降雨），设有一座电渗析工厂，每天淡化地下盐水 4,800 立米。为了比较，同一口井（含盐 2,600 毫克/升）的水已用于灌溉棉花、小麦、粟、高粱、罗得西牧草、百慕大牧草等，以及各种蔬菜。三年之后，从经济和一般效益考虑，直接利用盐水比用电渗析淡化水有利，现在含盐土层就用于此目的。

局限性 尽管未来的盐水灌溉具有令人鼓舞的可能性，但不能指望它把浩瀚的干旱地区改变为耕地。许多作物不能耐盐，不加选择的利用盐水，可能加速土壤破坏。此外，目前尚缺乏必要的较好的管理技巧。

利用盐水灌溉并获得好的收成,需要靠有训练的专门人员进行良好的管理。对利用盐水作出决定前,需查明盐的类型和成分,以及盐在水中的浓度。盐水灌溉将增加地下水的盐度,并且可能使地下水不能作其它用途。如果地下水是水源,这种方案可能只具有使用寿命。如果管理不好,利用盐水灌溉可能严重地破坏土壤,甚至造成不毛之地。

当灌溉水含有 5,000 毫克/升或更多的盐分时,即使对高度耐盐作物需要淋洗可能具有重要意义。例如,为了只消除掉根部以下的盐分,可能就需要 25% 以上的额外水量;如果淋洗用水较少,由于盐分消除的速度慢于盐分增加的速度,土壤即出现盐渍化。甚至高耐盐性作物当它们需要低盐水时,可以度过盐敏感阶段。例如,小粒谷类作物和甜菜苗对盐水是敏感的,盐水可以损害作物的发育。

人们把温带地区的实验结果,应用于热带干旱地区时必须慎重。生长在温带或湿润地区的同样作物,比它在干旱地区能耐更高度的盐水,因为雨水(和土壤水分)冲淡了灌溉水。较低的温度也可以增加植物的抗盐性。

发展阶段 利用含盐量高的水灌溉是相当受限制的。如前所述,在尼格夫荒漠利用微盐水灌溉砂土和砂壤土的大规模试验正在进行中。在突尼斯六个试验站使用微盐水灌溉大田已研究七年了。这项联合国教科文组织发起的研究,主要目的是探讨现有地表盐水和含盐地下水的有效利用,以及通过改良灌溉技术,控制土壤盐度。目前在突尼斯的麦地达河谷(以及其它地方),在配有广泛的瓦管排水系统的中等质地到粘重质地结构的土壤上,大规模地利用含盐 2,000—3,500 毫克/升的咸河水进行灌溉。

必要的研究和发展 对能利用高于正常无机物质含量的水的植物进行育种和选种是很必要的。这方面要取得最大的成就无疑要利用已经表现有某些耐盐性能的各种作物,例如沿海的百慕大草、大麦、棉花、小麦、甜菜,以及可能还有更耐盐的各种蔬菜。有些品种具有比通常我们已知的植物有更大的耐盐性,可能形成育种储备的基础。

利用盐水灌溉需要有复杂的管理,然而详细的管理要求还未为人们所充分理解,需要进行仔细的调查研究。但必须特别注意下述问题:(1) 决定盐水和植物生理压力性能之间的关系。(2) 采取不同的灌溉、施肥、疏松土壤、淋洗方法、营养、化学和物理等措施减轻生理压力。(3) 在田间应用所获得的科学知识。

四、水的再利用

水的再利用能大大降低对水资源的需要量。废水能用于灌溉、工业和补给地下水,在特殊情况下,经过适当处理的废水还可为城市供水。经慎重计划,各种工业和农业需水可用净化的废水获得满足,因此,淡水可供应需要优质水的城市居民消费。水的再利用对于干旱地区未来用水的供应,比本报告中讨论的任何其它技术,可能有更大的效果。

方法

1. 农业用水 在边缘土地上扩大废水利用增加新农地,这在一些干旱国家特别重要。在这类地区回收水可能首先用于灌溉。废水滤过土壤除去了全部颗粒状物质:大部分阳离子和一些阴离子(包括磷灰岩)被强烈吸收,而有机质则被土壤中的细菌分解。这些作用能为土壤提供植物养分。

利用城市废水进行灌溉,对城郊农地特别有吸引力,因为污水中的植物养分不会浪费掉。污水的某些生物处理应在应用于土地之前进行,但对许多作物来说,需要处理的程度甚低。所需的技术和投资甚少。墨西哥城利用大量没有处理的污水作为灌溉水。已经利用灌溉系统的地方,将这些系统和城市系统连结起来是很简单的,虽然制度或机构的安排协商可能有困难。美国公共工程协会最近指出:“根据已进行的充分研究,必须断定,对土地应用废水提供一种对先进处理方法的可行的选择方案,应受到美国的许多社团和工业部门严肃考虑。”报告结论指出:“如果适当地使用设备并努力把合理的工程设计,地质和农业的实践知识应用于设计、建设和控制过程,那么应用这种方法,无论在美国还是在全世界,几乎都能取得彻底成功。”

从1892年以来,澳大利亚墨尔本(现在有200万人口)在沃勒华工程部的109平方公里农场上,已经处理了这个城市的废水用于灌溉。这个农场总计4,200公顷地,用于灌溉1,370公顷的牧场,全年放牧1.5万头牛,春季和夏季肥育4—5万只绵羊。畜膘限制影响了屠宰牛和羊的出售,但0.02%屠宰家畜的征收率和周围地区一样。据认为,农业工人中的不甚高的发病率,是由于他们职业的结果。但在印度少数运行好的污水灌溉工程中,发现工作人员具有异常高的寄生虫。

用水泵使灌溉水径流再循环返回到这个系统的首部,这是使农业再使用水的另外途径,但土壤的盐化是严重的危险。工业废水也适于灌溉,但当工业过程中增加着对植物生长或公共健康有害的化学物质时就需要处理。

2.工业用废水 来自二次处理工厂的都市废水可作冷却、矿物分离以及其它不严格要求水质的工业用水。作为工艺过程用水需要进行高级处理。处理的程度和类型是根据应用的需要和经济性而定的。对纸浆和造纸生产来说,只能在有限的高级处理之后,废水利用才成为经济可行的。

3.都市用废水 都市用水对水质要求极高。废水通常必须经过二次和三次处理才能用作饮水。这些处理过程对于除去氨、硝酸盐以及磷酸盐是有效的;潜在的残余有毒混合物和溶解的有机质经过活性炭的吸收能降到极低含量。如果必要,溶解的无机质也可通过离子交换、电渗析或者逆渗透降到令人满意的水平;然而增加这些处理过程可能比常规处理工厂的资本和运营费用高一倍或两倍。

生产必要质量的水,在基本建设、动力以及化学装备方面需要大量的投资。这种水的成本是比较高的,但可能比海水脱盐要低些;在干旱地区,它可能比发展其它供水方法成本要低。但是,如果为了除去溶解的无机盐而必须处理的话,成本就高了。

西南非洲温得和克(纳米比亚首都)这个8.4万平方公里的大都市区域,每天要处理和再循环400万升污水作为饮水满足它的需要,这些水占每天供水总量的1/3。

优越性 水的再利用,如果管理合理,能成倍地减少对自然水源的需要。废水的50%持续再循环,使供水的效果加倍。

在一些干旱地区,在工业中重新利用废水可以提供工业化所必须的补充水,而别的途径是行不通的。

局限性 在一些废水再利用系统中必须考虑这些主要因素：(1) 致病的细菌和病毒；(2) 寄生虫卵；(3) 重金属；(4) 盐；(5) 硝酸盐。

致病的细菌能用氯消毒杀死，但在高级的污水处理之后病毒留下的危害尚不清楚。尽管极少的流行病毒是由于供水带来的，而普遍的观点是，当前已知的水处理方法如果谨慎控制就能消除这种危害。存在的不定因素太多，即使经过高级处理的水，也不保证没有病毒。虽然这样会增加人们不愿利用经处理过的废水，作为饮水和灌溉新鲜蔬菜之用，但这不妨碍把这种水用于其它不重要的方面。

为了重新利用水，又不引起环境灾害，要求有良好的管理并了解用户要求。一些系统很容易由于管理不当而引起严重疾病或危害环境。如果供水 50% 以上是废水，无论用于农业、工业或都市，盐的积累都能产生严重问题。

“对不造成持久性危害的土地上的废物的吸收处理，显然与不加控制的倾卸垃圾完全不同，后者会破坏土壤并可能导致地下水的严重污染。工程师很少探讨废水在土壤中利用的合理程度。他们往往忘记，在太多的废物上再增加一点点就能变为污染。如果想利用农场和森林作为处理场所，就没有人能代替农民和森林居民管理它。”

再利用水的成本和困难程度视所需的处理过程而定。一些二次处理和大部分三次处理都需要大量投资和训练有素的人员。营运费用是高的，在许多情况下由于成本太高不可能实行水的再利用。在干旱地区，成本结构比较有利。为供应饮水的直接再利用可能必须克服外观的缺点，即使这些水被证明是洁净的。此外，人们可能反对食用利用人类废物生长的食物。再利用水经常要求农业、工业以及都市行政部门等各方面在管理和政策上结为一体。

发展阶段 自从人类从河流取水以来，一直在实行水的再利用。因此，在某种意义上来说，水的再利用不是新的问题。沿着刚果河、尼罗河和密西西比河，个人、社团以及工业多次循环利用水。没有产生危害的迹象。由于在缺水地区对现有水资源的需要甚至更大，其潜力是令人鼓舞的。虽然目前有了可行的再利用技术，但经济的考虑可能限制它最初只能用于特殊的地方或目的。虽然如此，这种利用可能减轻自然水源对供给饮水的压力。最终随着有效率的生长，废水的广泛再循环变成饮水供应的可能性是肯定无疑的。有些卫生工程师已建议在饮水供应量中，增加经过合理处理过的废水，但大部分卫生工程师采取慎重态度，因为关于来自病毒和重金属方面的危害，目前还不能确定。

必要的研究和发展 因为水的再利用无疑将同其它可供选择的办法有很高的竞争性，它值得成为优先的研究重点。进行中的大量研究并没有强调采用水的再利用增加国家的水供应，至少与它的竞争者——盐水淡化一样。研究将集中在降低成本的途径，把二次处理和高级处理过程组合（兼用）的途径，并且解决病毒为害的问题。

不能过分强调继续研究发展处理减少病毒危害并研究确定在处理后的残余物危害的重要性。需要研究降低三次处理的成本，并发展其它费用低的可供选择的处理方法。电渗析和反渗透证明对消除许多种类的溶解杂质是有希望的，但需要更好的抗污染技术和需要少量经预先处理的薄膜。必须改进生物过程以消除伴生物中的氨和硝酸盐，如同需要用新的、