# 沿着塔里木河流域绿洲的可持续管理 – SuMaRiO

## 项目调查结果和建议

## 内容


序言 2

核心结果 2

介绍 3

可持续发展 4

项目的结论 4

利益相关者建议 11


## 序言

基于中国环境问题的长期合作、德国联邦科教部和中国科技部的联合施行了德国“可持续土地管理”基金计划里的“沿塔里木河流域绿洲的可持续管理”项目。项目团队由德国 11 所与中国 9 所大学与科研院所以及利益相关者组成、从 2011 年至 2016 年一起工作 5 年。作为一个跨学科项目-SuMaRiO 从项目开始起把各利益相关者结合到一起工作。利益相关者给予我们项目顺利运行方面的建议。他们珍贵的意见包括项目的主要成果—SuMaRiO 决策支持系统。SuMaRiO 决策支持系统是项目全部成果的整合、是包括区域气候变化、冰冻圈、塔里木河与它的支流的水管理、生态系统与农业分析、社会评价和利益相关者分析。SuMaRiO 项目是独特的、以塔里木河流域各种角度考虑并其结合形成的一个整体概述。

## 核心结果

- 以 4 种全球变化情景，对塔里木河流域的 3 个水源区和绿洲进行模拟。所有气候变化情景和时间内，其温度和降水量均呈增大趋势。
- 对塔里木河的支流，即和田河，叶尔羌河和阿克苏河的排水量进行模拟。阿克苏河的排水量在最近未来（2030 年）将会增加，而在遥远的未来（2050 年）将会减少。
- 4 个植物行膜下滴灌对植物幼苗期的生长不利，而 2 个植物行滴灌方式对植物根区的湿润效果较好。
- 水文模型结果显示，灌溉水的来源是导致土壤盐渍化和土壤退化的决定性因素。
- 地下水的补给量直接跟塔里木河的年均洪水强度有关。
- 减少塔里木河上游区的农田面积，使提高塔里木河中、下游的可利用水资源。不应该扩大塔里木河下游的农田面积，这会加剧其水资源的短缺。土壤含水率降到 40%时的棉花产量比土壤含水量 70%时的棉花产量减少 6%。
- 地下水模型建议，保护目前的地下水补给方式，即通过塔里木河漫滩的自然洪水，这样可以得到保护和恢复荒漠河岸林的目的。地下水位的下降，不仅导致与地下水距离很远地点胡杨林生产力的降低，而且与地下水距离较近地点的胡杨林生产力也降低。
- 劳动力价格和其他生产成本的涨价使棉花变成低收入作物。
- 在城市绿化中应该优先考虑本地的，典型乡土植物类型。
- 为顺利实行容量水的定价和补贴，水利部门（水价格政策）和农业部门（补贴）应该促进合作。
- 结合水资源利用的控制机制和技术咨询的综合措施，提高居民的环境意识和补贴水资源节水灌溉技术等方法总比只专注规则的效果好。

➢ -SuMaRiO 决策支持系统(DSS)是为利益相关者帮助评估自身行动对塔里木盆地带来的后果。

## 介绍

塔里木河流域是位于中国西北（新疆）干旱地区（见图 1），其自然生态系统非常脆弱。气候干燥，年日温差大，降水量极少，年均降水量不超过 50mm，是典型的大陆性气候。因此，地区所有的经济活动，

尤其是农业生产和城市生活以及自然生态系统的维持均依赖于河水。塔里木河流域是塔里木盆地最大河流，水源来自冰川融化和融雪。在过去几十年里，排入塔里木河的水量一直在增加。然而，全球气候变化预测本世纪内供水会减少。由于在塔里木河流域灌溉农业的不断扩大，自 1950 年以来流入河流的水量大量减少，导致河道边上自然植被的严重退化和农业土壤的盐碱化（见图 2）。在灌溉农业生产的收入，主要以棉花为主，是以消耗自然生态系统提供的功能（ESF）和服务（ESS）为代价的，其两者之间有权衡关系。

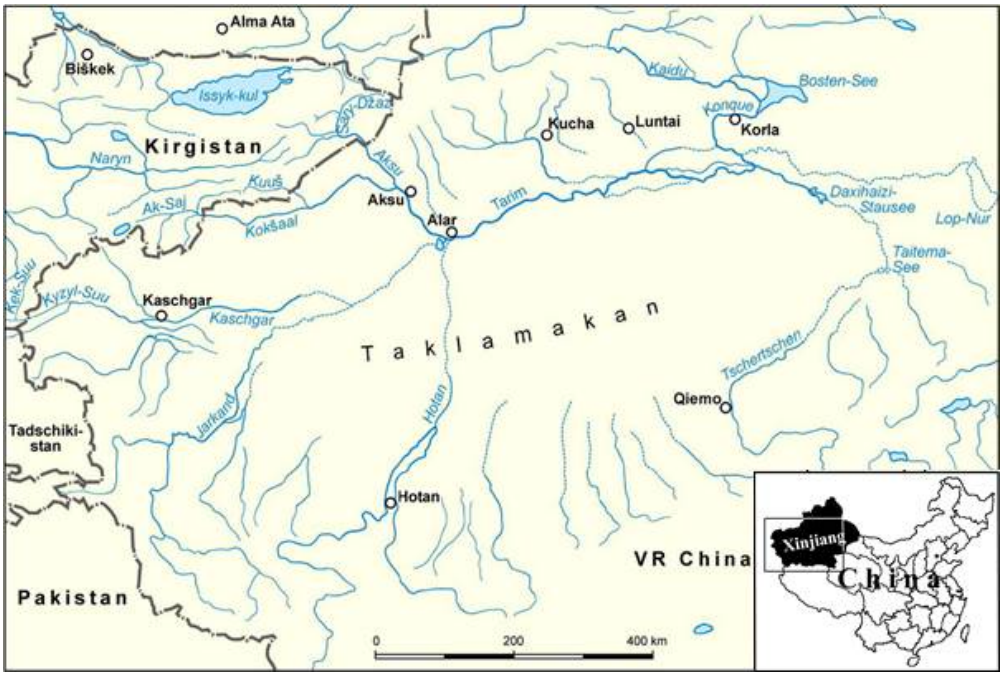
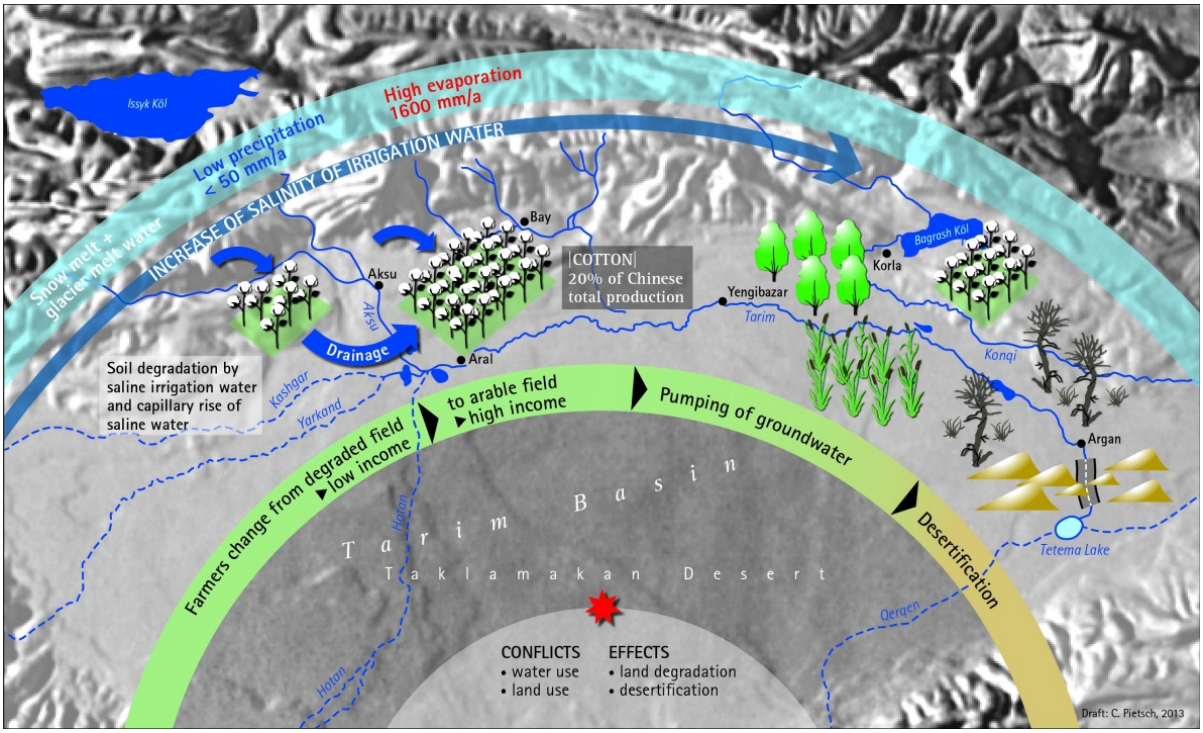


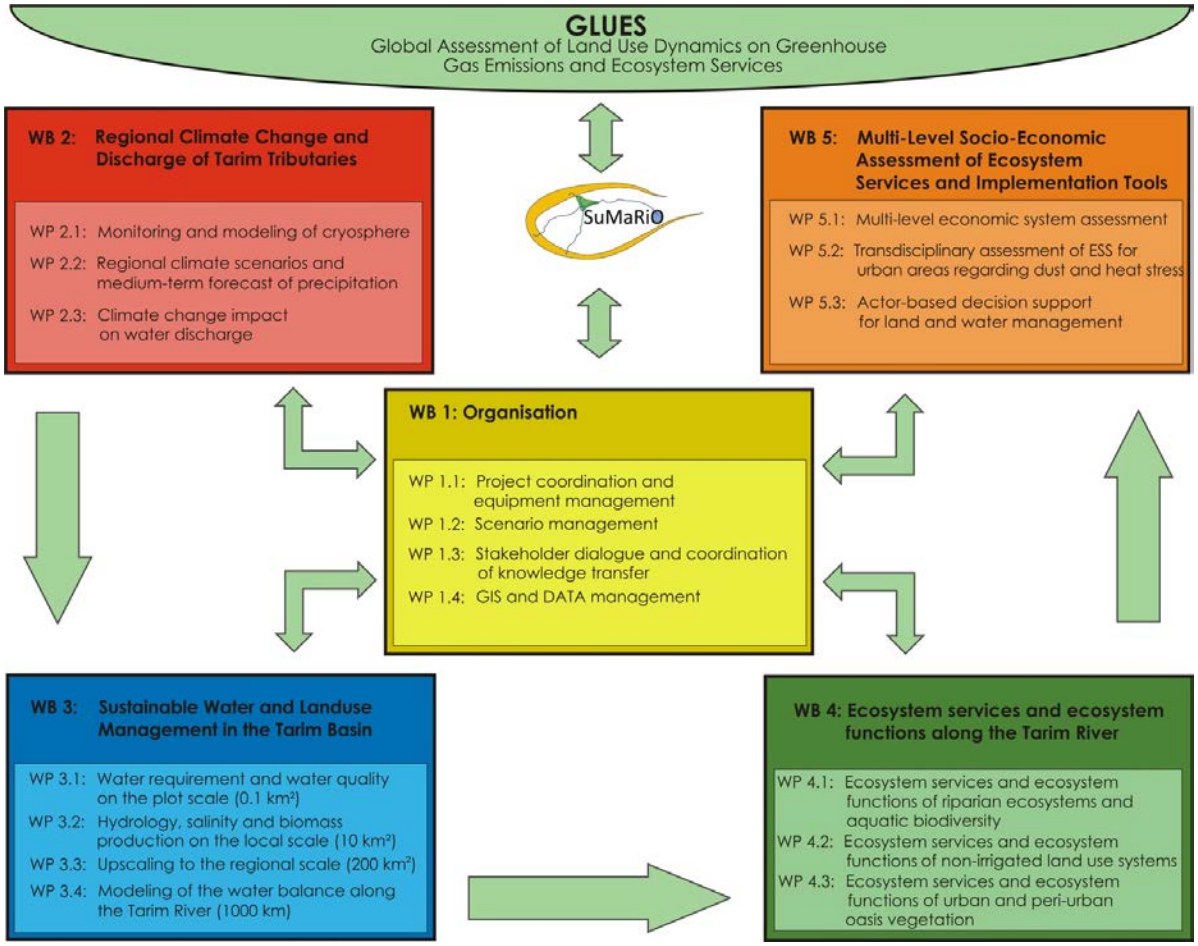

图 1：中国西北地区新疆维吾尔自治区研究区图

关键问题是如何管理土地的合理利用。全球气候变化改变其水的供应量，在这背景条件下，像塔里木河流域-一个非常缺水的地区，灌溉农业和自然生态系统的利用率和水的使用，使得生态系统服务和经济效益保持在一个可持续发展的最佳平衡。




图二：土地和水资源管理的研究领域

在 SuMaRiO 项目中，这些研究领域被细分为不同的几个工作模块（见图 3 和图 4）。




图三：SuMaRiO 项目结构

## 可持续发展

可持续发展应满足当代人的需求，又不损害后代人满足其需要的能力。这是塔里木盆地研究背后的总体思路。来自不同科学领域的中国和德国的科学家已经认识到塔里木河流域自然资源的利用率已经超过了该地区承载能力。河流绿洲自然资源的不可持续利用，尤其是河流地表和地下水的过度开发利用已经导致了荒漠河岸林的严重退化，“天然绿色带”的缩小。当地农业生产和居民生活也被受到影响。

可持续发展是有限资源的保护原则，并通过分析塔里木盆地可持续发展的各个组成部分 – 生态，社会以及经济 – 来自中国和德国的顶级科学家组针对不可持续发展情况提出相关的补救建议。

这些建议应该包括人类社会适合需求的居住条件，同时，自然资源的利用不应该影响其自然生态系统的完整性，稳定性和美观性。

**SuMaRiO 项目旨在：**

- 辨认现有的可持续管理结构以及自然和社会领域对生态学，社会学和经济学角度理解可持续发展
- 评估在河流绿洲和沿塔里木河流域可持续发展的可能性；
- 在考虑该区域承载能力的前提下，提出可持续发展的建议，包括对各管理机构的结构提出建议。

## SuMaRiO 项目的结论

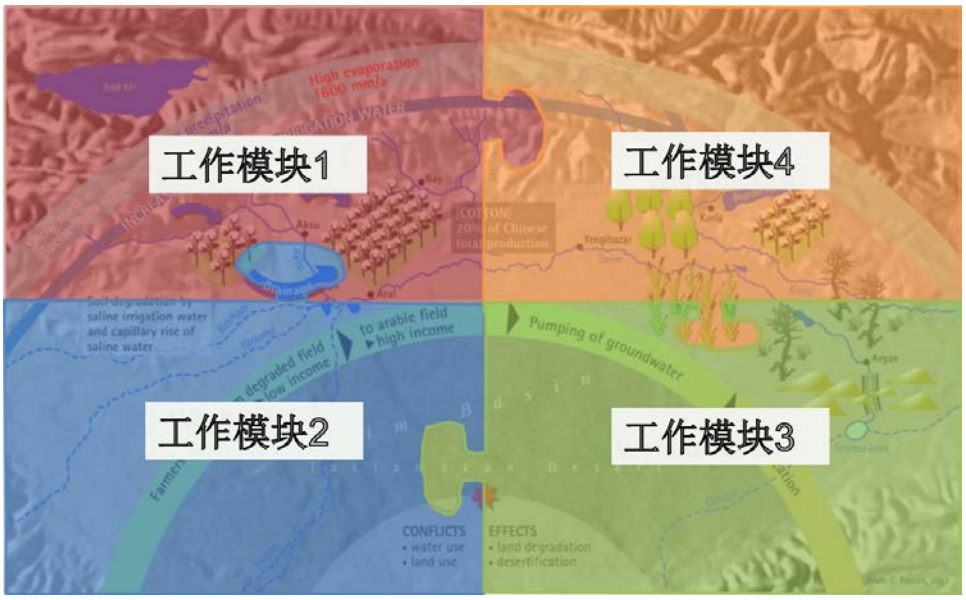



*图 4：该拼图是 sumario 项目研究领域的工作模块*

**工作模块 1** 的研究内容是区域气候变化趋势的预测，冰冻圈和塔里木河支流的模型模拟。这项工作模块提供未来区域气候变化情景，冰川的体积和质量，山川雪覆盖面积（冷冻水的体积）和向塔里木河流入的支流（阿克苏、叶尔羌河和田河）。

COSMO-气候有限区域模拟（CALM）和区域模型（REMO）的气候变化信号分别对三个源头汇水区和滩地（绿洲）部分进行了分析。区域气候模式 CCLM (IPCC AR5 RCP 2.6, 4.5 and 8.5)的 4 种气候情景和 REMO (IPCC SRES A1B)进行分析并应用到影响评估。结果显示，所有情景和时间段内，其温度和降水量显示增加的趋势。所有研究区温度的增长是较一致（1-4℃），而降水量的增加是不均匀，即和田和叶尔羌源头降水量的增加（高达 10-50％）比阿克苏源头更明显（10%）。

根据陆地卫星（射影冰川面积：12,300 km²）数据编制了整个和田和叶尔羌河流域 2010 年期间的冰川目录；除了 2010 年之外，整个阿克苏河流域 1975 年期间的冰川目录是据 Hexagon 和 Landsat MSS 数据进行编制（映射冰川面积：4100 km²）。整个射影冰川面积是占亚洲高山冰川面积的 14%。计算出阿克苏河，和田河和叶尔羌河流域的冰川厚度和体积。整个流域的冰川面积从 1975 年的 6607 km²降到到 2008 年的 6362 km²，即 3.7%的冰川覆盖面积已经减少。体积变化可以评估约 5,000 km² 冰川覆盖的区域。结果表明，每年大量损失--0.35±0.34 m 的水。

冰川面积观察数据和冰川厚度模拟数据输入到水文模型水土保持综合模型（SWIM）里，计算模拟冰川融化的水流量。通过观察的流域冰川区域和随海拔高度（测高法）冰川厚度分布及测量河流流量，对该模型进行校准和验证。流量变化归因于温度（和相关的冰川融化）和降水量增加。结果表明，不久的将来，阿克苏河水流量将会增大（2030 年），并在将来（2050 年）其水流量将会减少。不久的将来，其水流量的增大是可能与降水量的增加有关。温度的升高会加速冰川的融化速度，这会弥补冰川面积缩小而导致的冰川融化水量的减少。相反，在遥远的未来，冰川面积缩小而导致的冰川融化降低的影响将会更突出。在和田和叶尔羌河流域，灌溉可利用水量受来自山区的水资源的严格限制。因此，在水源头流入量和以上两个流域绿洲抽水量之间具有显著相关性。这说明，在这两个流域的人民用水没有最佳计划，想用多少就用多少。以上流入量和抽水量之间的关系，在阿克苏河流域 1984-2004 年期间没有出现，说明在这期间水不是改流域农业发展的限制因子。在这两种情况下，阿克苏河流域下游的排水量在不久的将来（约直到 2030 年）将会增大，然后在中间的未来（约直到 2070 年）将会减少，然后约到 2100 年（遥远的未来）其排水量降到比现在的水平还要低。这些变化表明，21 世纪末，在高温下，其冰川面积将退缩，水资源短缺将会变成阿克苏绿洲的严重问题。

**工作模块 2** 评估需水量和水质以及塔里木河流域不同尺度的生物量生产。在田间尺度上，这项工作提供棉花种植的需水量数据，它对小规模模型提供基础数据，同时在灌溉条件下棉花生产提供实际参考效果。

在农场的尺度上，不同的灌溉水源，地下水或河流水的影响，通过水文模型（MIKE SHE）对盐通量进行模型模拟。以环境政策影响计算模型（EPIC）用于生物量生产的农业潜力与土壤盐分和管理之间的关系及棉花需水量进行模拟。在区域尺度上，以 MIKE SHE 模型用于模拟地下水补给量。此外，叶面积指数（LAI），土壤和地形（SOTER）数字化测量用于模拟棉花产量与 EPIC，土壤和土地利用图是用于收集数据的区域化。在河流尺度上，水管理模型 MIKE HYDRO 用于模型模拟区域水资源的配置和提供节水方案。除了地下水模型(MODFLOW)之外，它是决策支持系统（DSS）的一个基础。

在田间规模上，选择了安装滴灌管和高流量排放装置的 4 个植物行，观察显示，植物根分布区的部分表层土壤非常干燥。土壤表层 30cm（0-30cm）含水率非常低，对植物幼苗期的生长有负面影响。与此相反，安装滴灌管和低流量排放装置(1.8 L/h)的 2 个植物行的结果显示，其植物根分布区比较湿润。用这种灌溉系统，对土壤表层（0-30cm）(植物根系分布土层)的灌溉效果最好。在灌溉过程中，其土壤盐渍化较明显。为验证低水质是导致土壤盐渍化主导因子的假设，滴灌管被塑料膜覆盖，这样就可以抑制了蒸腾速度（低蒸腾速度）。播种之前的淋洗是解决土壤盐渍化问题的常见做法。这种方法需要大量水来溶解土壤中的盐分并把它运输到根区。这方法确实有帮助降低土壤的盐渍化程度，但是这需要大量水。在区域尺度上，这种做法引起更多的蒸发和平衡更多的盐分进入水体。在小尺度上，可以观察到在田间水不会均匀地渗透，因此容易形成水坑。水坑干燥非常慢，产生高盐量，这种效应会导致产量损失。

在农场尺度上，区域生态洪水对盐分有冲洗效果。生态洪水是一个引水措施，是通过人工输水方式确保荒漠河岸林的生存。水文模型(MIKE SHE)模拟结果显示，河水灌溉把盐分输送到更深的土层。抽取地下水灌溉增加田间土壤盐分的积累。模拟结果显示盐分浓度随着河水灌溉到地下水灌溉呈逐渐增加。抽水过程吸引水和盐负荷，所以抽取的地下水含盐量比河水的高。由于蒸散量和缺乏排水系统，在田间，尤其是地下水灌溉的田间盐分积累较明显。因此，灌溉水源是盐渍化过程和土壤退化的决定性因素。为了分析土壤盐分和它对棉花产量的影响，用专业仪器对土壤水分平衡进行测量并土壤取样。几个土壤剖面进行详细分析并结果显示在土壤图。这些土壤数据输入到 SOTER 数据库和 EPIC 模型。这些模型用于模型模拟生物量生产的农业潜力与土壤盐分，管理之间的关系并棉花需水量。模型模拟结果显示，随着土壤盐分的增大，棉花产量而降低。在盐分含量高的土壤中棉花无法生长。为了实现最好的农业可持续管理，应该遵守土壤类型和含盐量的约束，对不同盐分水平的土壤应该找到最佳的灌溉和施肥量，并告知当地农民工减少农药的使用量。

在区域尺度上，可以计算英巴扎地区的水平衡。该区域的年均地下水补给量为 12 Mio. $m^3$，相当于 4.5 $l/(s*km^2)$速度或 139 mm/年。对英巴扎地区而言，总补给量的约 5/4 来自洪水。因此，地下水补给量直接跟该区域的年均洪水强度有关。SOTER 数字化数据库设置在阿克苏-阿拉尔和英巴扎地区。这种数字化数据库生成为 EPIC 模型的输入和输出数据。这模型估算塔里木河流域不同土地利用方案。方案 1 的条件下，整个区域的棉花总产量降低 11%，温度增加 +2°C，方案 2，与目前的灌溉用水 40%相比减少 27%。这两种情况下，土壤盐分是主要的限制因子。

在河流尺度上，水管理模型 MIKE HYDRO 用于模拟整个塔里木河流域水的分配。提出了 3 种水的分配方案：(i)塔里木河流域上，中游农业用地的减少方案；(ii)塔里木河下游农业用地的增加方案；(iii)改变作物类型的方案，即以罗布麻代替棉花，从而减少灌溉用水量。塔里木河上游耕地面积的减少将对中、下游的用水量有利。下游耕地面积的增加会更加严重其水资源的短缺，因此在此区不能在扩大灌溉面积。方案显示，以罗布麻代替棉花是解决塔里木河流域水资源短缺的最佳方法。另外，MIKE HYDRO 模型用于模拟土壤中有效水分减少的影响。土壤有效水分减少到 40%时，棉花产量比土壤有效水分 70%时的降低 6%。土壤有

效水分从 70%减少到 40%时，西红柿或甜瓜的产量减少 50%。在研究区，节水灌溉方式“膜下滴灌”的实施发展非常快。这种技术主要应用于棉花田，其地面主要是以透明聚乙烯薄膜作为覆盖物（约 80%）。沿着塔里木河流域 5 种情景用不同灌溉方法(10%，30%，50%和 100%农业区)进行模拟。以膜下滴灌代替喷灌时，喷雾损失和润湿分数降到 10%。这结果说明该技术的优势是节约灌溉用水。2006 年的模拟结果显示，整个区域膜下滴灌应用率为 50%和 100%时，其节水潜力分别达到 25%和 40%。

**工作模块 3** 研究的方向是生态系统功能（ESF）和生态系统服务（ESS）。研究重点是观察河岸生态系统（Tugai），也是塔里木河生态系统，非灌溉土地利用系统和地下水以及绿洲植被。

荒漠河岸淋生态系统的分析是通过卫星图像和区域水平衡模型来完成，此模型提供地下水情况包括含盐量。深入了解荒漠河岸林植被的生产力，水分利用和动态，同时荒漠河岸淋的保护功能和它的可持续利用。另外，调查了塔里木河生态系统的鱼多样性和无脊椎动物。对非灌溉土地水平衡方面进行最新的调查。同时，加深了对罗布麻的生态系统服务，生产力和生态方面的认识。以上研究均进行在河岸林区，不过研究模块 3 还调查城市和近郊附近绿洲植被的 ESS 和 ESF。主要研究结果以下。

分辨率非常高的两种（2005 年 Quick Bird 和 2011 年 WorldView2）卫星图像，用于量化退化荒漠河岸淋植被树冠的变化，结果表明树冠生长很好。

基于图像分析方法可应用到稀疏的荒漠河岸林植被并该方法非常适合评估对濒危生态系统的生态恢复。

为了解地下水的年变化情况建立了地下水模型。模拟结果建议，为恢复退化的荒漠河岸林植被，保持目前的地下水补给量（通过塔里木河河漫滩天然洪水来得到补充）。年均地下水的排出量应该控制在 200,000,000$m^3$。

在塔里木河流域中游区的沙雅和英巴扎研究基地，调查了修剪胡杨的生长及地下水位对胡杨生长的影响。在沙雅研究基地对胡杨树干的增长进行详细的测量分析，结果证实未修剪胡杨相比中度或过度修剪胡杨具有更大的树干增长量。修剪的胡杨树生长出大量的二次新枝。很显然，这是高强度修剪的效应。在英巴扎研究基地，河流年均径流量与胡杨树干增长量之间有相关性。与地下水距离较近的样地（约 2m），胡杨年轮宽度与前一年的河流径流量之间具有正相关关系。以上关系在与地下水距离较远（到 12m）的样地没有出现。在过去的 5 年里，与地下水距离较近地点生长的胡杨胸径相比与地下水距离较远地点生长的胡杨大。通过以上结果可以得到初步结论：无论是与地下水距离较近或与地下水较远地点，地下水位的降低会导致胡杨生产力的明显下降。

塔里木河下游河岸林植被提供各种生态系统服务（ESS），其中两种 ESS 进行调查：

- 保护 218 国道遭受风沙；
- 保护河岸淋植被，尤其是胡杨林的碳储存

结果显示，通过天然植被的保护，从 81 公里到 141 公里路段没有受到风沙的影响。政府应该每年投入 972,000 元/年铺设芦苇草方格来防止风沙的影响。胡杨林碳储存的年均价值达到 109,650,000 元/年。此外，结果表明，向塔里木河下游释放大量水会把这些价值更高。

为了找到部分能替代需水量高棉花的其他作物，罗布麻（Kendir）与红枣和陆地棉（棉花）进行比较。罗布麻的地上生物量相比其他草原和沙漠植物相对较少。三种作物在本研究测试中，Kendir 所需水量最少时一年约 220 毫米，红枣需水量约 340 毫米占第二位。棉花是最高需水量的经济作物需水量约 520 毫米，从而显示出 Kendir 是具有显著节水潜力的替代作物。至于经济问题而言，Kendir 耕作能有效应对固有的开放接入问题，并可能防止野生资源的枯竭。它是利用 Kendir 作为一种自然资源最有规则和可持续的方式。在这项研究中，Kendir 最高利润再生约 3,276 元/公顷，红枣约 1,275 元/公顷，棉花大约有 850 元/公顷。因此，研究比较显示棉花在所有主要经济作物中是利润最少的。

由于劳动力价格和其他生产成本的上涨，棉花预计将在未来几年中成为利润最低的作物。新疆政府帮助农民补贴种植棉花，这对市场需求而言是不可持续的，因此这不是一个长期战略。红枣是最受欢迎的果树之一，近年来，它在塔里木盆地代替其它作物。目前来说，红枣是能够替代棉花的最佳选择，但如果有政府的足够支持，罗布麻也能成为领先的代替作物，因为罗布麻生产的成本低而利润高。从罗布麻提取的高质量纤维也可以成为有价值的保健功能的纺织材料。除此之外，由于供大于求，红枣价格在下降。随着劳动力价格的上涨，红枣生产成本也在上升。因此，地区农业部门的多样化是长期可持续发展的关键。

在城市内外，城市绿化像 ESS（生态系统服务）防止沙尘暴和提供气候制冷效应。在植物种类的选择方面，道路边上和生产绿地的大多数树木和花盆品种主要是从中国东部引进的。外来物种的总数高于本地物种的数量。因此，城市景观没有充分反映地方特色和文化背景。目前的城市绿化树种的管理与维护是不合理的，在城市的不同地区的树木出现寄生虫感染和疾病。因此，在城市绿化中应优先考虑适合当地的，典型乡土物种。此外，城市绿化主要依靠灌溉，但这加剧了水资源短缺的问题。

阿克苏的城市绿化主要来源于地下水和自来水。对于城市绿地的灌溉应用于滴灌节水方法，每年的灌溉定额应控制在 6,750 $m^3$/公顷以下。然而，人工灌溉设施较差，不能完全满足节水灌溉的要求。因此，为了缓解城市绿化的灌溉问题，一方面，应加强灌溉基础设施建设和加强城市绿地供水管理。在另一方面，在城市绿化树种的选择应优先考虑抗旱，深层扎根的树种。

**工作块4**是评估社会经济（ESS），其中对生态系统服务（DSS）进行编程。这项工作模块提供水价数据和滴灌棉花生产的成本效益分析。至于替代植物-罗布麻的利用潜力进行分析。为预防沙尘天气，与各利益相关者一起建立贝叶斯网络，帮助选择合适的植物种类。

基于三种水政策手段（税，水定额，水的定价），对水资源保护的综合边际成本曲线的分析，表示容量水的定价竟然比水定额更有效。补贴滴灌和小麦生产，不明显减少农民的收入的前提下，节约水资源。为了容量水的定价和补贴的顺利实施，需要提高水利部门（水价政策）和农业部门（补贴）之间的合作。

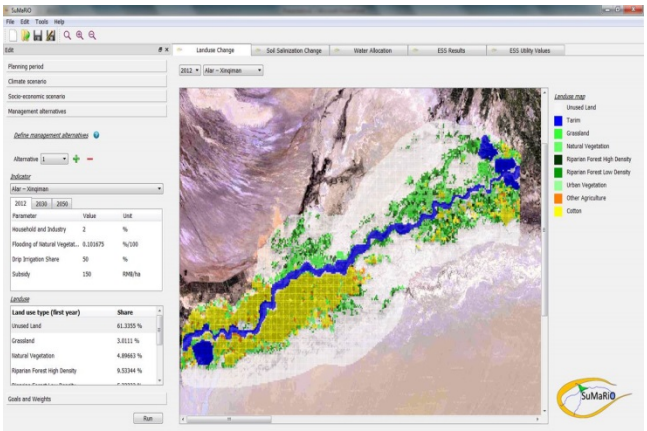
为评估塔里木盆地绿洲可持续管理的利益，对优化水资源分配的水价格和农业生产系统的社会经济效益进行**分析**。为了保证塔里木河流域土地和水资源的可持续利用，除了农业以外的其他收入来源，**以及一个更具生**产性的农业产品，a）增加产量的农业生产，b）转向劳动密集型的高价值作物是必要的。为了提高水资源利用效率和农业生产的产量，应从洪水灌溉向滴灌转变。为优化作物生产，向滴灌转变应采取综合措施。综合措施应结合与控制水的利用和技术咨询，提高环保意识和补贴节水灌溉技术，这些措施的效率比只专注规则

的好。

塔里木盆地绿洲可持续管理的评估的结果显示，不仅在塔里木盆地本地居民将从水和土地的可持续管理中受益，而且与研究区远距离地区的居民也从政策改变中受益。建议地方政策制定者应考虑其决定的“远距离”利益（或成本）。使用贝叶斯网络(BN)为防止沙尘天气的复合型管理提供了全面的概述。贝叶斯网络（BN）指出哪一种植物种类是适合防止沙尘天气而且满足遮荫和少灌溉的需求，对当地植物规划者提供重要信息。贝叶斯网络是在些利益相关者研讨会中共同创建的。因贝叶斯网络（BN）对当地植物规划者有利并促进他们对系统的理解，因此利益相关方对贝叶斯网络（BN）的适用性进行评估。在我们的跨学科研究过程中，BN模型作为一个交流和学习的工具。DSS 决策支持系统是基于指标的工具，旨在支持利益相关者和培养中国学生来评估自己的行为可能产生的后果。在2013年，2030年和2050年的气候情景假设，塔里木河流域的流入量和社会经济情景假设下，对计划的管理措施的影响以定量及半定量方式和以可持续系统服务指标来进行计算和评估。所有指标已经阐述了SuMaRiO研讨会和利益相关方对话。

在DSS四种不同类型的指标是如下：

| 输入指标 | 输出指标 |
|---|---|
| 气候指标 | ESS指标 |
| 社会经济指标 | |
| 管理指标 | |



基于气候变化情景，以 WASA 和 SWIM 模型计算出从支流流入到塔里木河的潜在流量。用户根据 4 种气候情景，可以从 8 种可能流入塔里木河之间进行选择。DSS 的计算是以塔里木河的流入为基础。社会经济指标的发展可以进入规划年。

下一步的输入部分 SuMaRiO 建议塔里木河流域管理的十大措施（如，5 年计划的管理措施），并基于土地利用图的调整网格对此直接进行调整。每个单元可以改变为任何种类的土地利用，例如棉花生产，森林，荒地等。在输入部分的目标和权重的最终步骤可以由用户输入。为了这个目的，DDS给每个子区域提供ESS的指标列表，这可以对管理措施进行评估。在每个规划年（第一，第二和第三规划年），每种管理措施对 ESS 指标的影响是以多元函数或模糊逻辑分析方法来进行计算，并在输出部分以表格，图标和地图形式进行说明。根据这些结果并用户分配给ESS指标的目标，计算0和1之间的效用价值，可以说明相应措施下达到的目标程度。

## SuMaRiO 对于利益相关者建议

从 2011 年到 2015 年，由德国和中国协作完成了对塔里木盆地土地和水资源管理的跨学科研究。基于此研究经验，SuMaRiO 研究人员对新疆决策者和科研资助机构提出了以下建议。

**1 对于政策制定者**

**我们建议：**

- 生态系统服务的综合评估是有了很大的提升，同时生态系统服务的概念被越来越广泛地融入到区域规划和环境管理。这促使了合理的发展战略，最大限度地提高了人类从生态系统中获得的利益，维护了自然资本。我们在 SuMaRiO 项目研究中发现，当货币估值方法仍然是困难的情况下，它有利于增进对多样化的生态系统服务供应的理解
- 对于区域规划和环境管理，新疆政府建立了的精心设计的参与式战略发展进程，实现了多部门行政机构自由交流和知识的成功整合。用 SuMaRiO 我们开发了一系列适合于在干旱区新疆的应用的知识集成方法。
- 决策者制定决策时继续以科研院所提供的科学证据为决策的基础，扩展和利用在 SuMaRiO 中开发出来的塔里木河流域的决策支持系统（DSS）。该 DSS 应用各种指标体系量化了生态系统服务功能，这对土地利用和水资源管理过程中对生态、社会和经济方面提供科学依据或参考。

### 1.1 城市和城郊植被

**我们建议：**

- 城市结构中城市和城郊绿地共享面积的增加，是城市应对气候变化更具弹性的一部分。这与健康、福利、娱乐等许多共同利益相关性是而易见的。城市森林有助于清洁空气中灰尘颗粒，它们提供了健身场所，并可作为环境教育的天然实验室。
- 在计划和管理城市和城郊的绿地时，应该重点考虑当地的生态、历史文化和土著风俗等方面。在 SuMaRiO 我们发现不同植物间的耗水量有巨大差异。一般来说，适应当地的物种用水量相对较少，可提供最关键的生态系统服务（如滞尘，缓解热岛效应）。至于文化方面，计划者可能模仿和进一步研发适应当地传统的城市建设发展的方法。
- 不同的利益相关者和当地居民都积极地参与到了城市和城郊绿化的规划和管理。我们发现，很多参与方法都在中国范围内都很适用（调查、访谈、团体方法等）。可以补充政府管理的绿色元素的制度安排包括租给城市居民的用于农业的邻里花园和小块地。参与性和以社区为基础的方式很可能通过形成归属感、所有权和责任感，以提高城市的生态、社会资本。

### 1.2 城市和城郊植被

**我们建议：**

- 想节水、控盐等农业生产技术与方法都有提升。通过 SuMaRiO 研究结果表明：适合灌溉可以显著增加水分利用效率。节约的水应用于增加生物多样性等生态用水领域。
- 从适应盐碱地和耗水量相对少的物种或作物生产得到了促进。SuMaRiO 研究显示，单作棉带来许多风险，当地居民不可能单靠其生存与社会发展。

- 农业水价显著增加，而且针对农民有目的的减少用水（即滴灌）后导致的收入损失得到了补偿。SuMaRiO 分析结果表明：1）当水价显著增加，对提高水分生产率有利。2）为维持农业生产力和提高水分利用效率补贴是必要途径。
- 农业推广得到了改善，这是农民能够有效地对水价格上涨作出反应必要条件。
- 农业用地面积不再扩大和用水量不增加的原因：1）非农收入的替代品的增加。2）对劳动密集型的高价值商品（如蔬菜）转移。根据 SuMaRio 项目研究，与 1998 年的相比 2010 年三个水源地（阿克苏、和田、莎车）的农业区减少了 50%，即使不改变水管理，将可实现“塔里木河流域综合治理规划报告”（GXUAR 和 MWRC 2002，中国水利水电出版社，北京）中所述的径流目标甚至。如果农业区维持在 2010 年的水平，在考虑本世纪末所有气候变化情景下，为了增加阿拉尔下游的河流水流量，还需要加强节水措施。

## 1.3 胡杨林和塔里木河流域生态系统

**我们建议：**

- 塔里木河大量漂移木和树叶可维护或恢复胡杨河岸带宽度 20-50 米 m。用 SuMaRiO 项目研究我们发现：低的水生生物多样性和缺少大量的水生动物，这与为无脊椎动物和鱼类提供栖息地和食物的漂流木材的缺乏有关，另外与水质与矿化度量差含盐等有关。
- 适度的木材采伐（修剪），能够使胡杨迅速以短距离生长至地下水（可达 2 米 m）。在这个问题上的讨论，利益相关者同意这样的措施。我们发现，胡杨具有适当砍伐后继续升高的再生潜能，几乎不会受到伤害除非遭受严重频繁的砍伐行为。
- 连续和足够的水供应，是胡杨森林在短距离到地下水成长（地下水位达 5-6 米 m）的保证，而不是长距离引水至地下水。当有洪水和高的地下水位时森林才有有性繁殖成长和长期保持。在地下水很深的情况下，胡杨是不能自我繁殖，一般而言，随着树龄的增加和地下水位的下降，失去了自我繁殖能力，最后死亡。
- 由于塔里木河水不断流入其终点 Tetema 湖，使塔里木河下游沿岸胡杨林重建得到了保持与恢复。如果在整个无霜期没有连续的径流，“生态应急输水”应该在胡杨种子成熟的 7/8 月的物候期效应最大。
- 控制洪水堤防是优化河岸生态系统健康的基础。塔里木河中游和下游不应该设有或维修额外的堤岸整顿。自由流动的条件已被证明对生态系统功能和生态系统服务是必要的。

## 1.4 水资源

**我们建议：**

- 为了确认降水量的增加趋势，在塔里木河的所有水源区域降水被频繁监测。在 SuMaRiO 研究冰川水文模型结果显示：气候模型预测降水量在增加，冰雪融化带来径流量在增加，尤其是在和田和叶尔羌河上游很有明显。然而，2050 年以后不能排除绿洲上游径流减少，尤其是阿克苏。
- 为理解执行冰川发育、监测和预测，应用的方法和模型在 SuMaRiO 项目中发达：
  - 从在选定的基准集水区综合研究高密度气候、水文（特别是供水量和放水量）和冰川（原位质量平衡辅以遥感派生大地质量平衡）测量。
  - 塔里木河的这些集水区，是为基于物理模型测量校正了冰厚。

- 基于遥感技术，监测了整个塔里木盆地的积雪和冰川。这包括了一代完整的冰川储量，大地质量平衡测量评估，以及测量 5 年左右的间隔的速度。雪应该每周进行监测，校准积雪覆盖变化物。
- 为基准集水区建立了一个完全耦合的基于物理方法的冰川水文模型，并利用测得的数据进行了校准；建立并定期优化了用于整个塔里木盆地的简化冰川水文模型。

SuMaRiO 研究结果证实冰川融化对塔里木河径流的重要性。所测定得到的塔里木河的最重要的支流阿克苏河下游径流量在增加，增加的重要原因是温度上升带来的冰川融化加剧的增加。基于模型的情景表明，如果没有降水补充，冰川体积会显著减少，大约 2050 年以后阿克苏河上游径流可能会更加减少。

## 2 对于研究资助机构

**我们建议：**

- 可持续发展的资助的研究项目中支持跨学科的社会生态的研究，自然与社会科学家以结构化形式合作，多领域的利益相关者结合的形式的学习专业知识。无论中国的科学家还是利益相关方都赞赏跨学科的研究，并在 SuMaRiO 做了综合的对话，并一致认为，这一研究模式增加可持续的土地和水资源管理在新疆已经应用了。
- 为确定沿岸胡杨林立树木生物量和林树木生物量增量沿岸杨树森林的景观水平的储备量，加强了生态系统生态学家，农林和遥感专家之间的研究合作。我们发现位于河岸林的树木可用于评估健康状况，并利用遥感技术来预测其未来树冠的形态和生物量增量之间的显著统计学关系。
- 跨学科研究对农业节水技术与方法、调控盐度和地下水位提供赞助。并更多的树木能够减少灰尘和风力的影响也应该成为一个研究的重点。在 SuMaRiO 我们发现，工程师、土壤科学家和农学家的合作能够适当优化作物生产很有必要。
- 以科学成就和实施策略质量两方面的研究成果对可持续发展为导向的项目进行了评估。
- 通过交叉学科和跨学科研究对高等院校学生和研究人员进行培训和知识转移得到了资助。

2015 年 12 月 15 日

## SuMaRiO

www.sumario.de

## 德国项目负责人:


慕尼黑工业大学
水文与流域管理负责人
**Markus Disse 教授**
Arcisstraße 21, 80333 慕尼黑
邮箱地址：markus.disse@tum.de

艾希斯特 - 因戈尔施塔特天主教大学
应用自然地理
**Bernd Cyffka 教授**
Ostenstraße 18，85072 艾希斯特
邮箱地址：bernd.cyffka@ku.de


**德国项目协调员:**


慕尼黑工业大学
水文与流域管理系
Christian Rumbaur 博士
Arcisstraße 21, 80333 慕尼黑
邮箱地址：christian.rumbaur@tum.de


**利益相关者协调员:**


中国林业科学院新疆分院
造林治沙研究研究所
伊丽米努尔 研究员
乌鲁木齐市水磨沟区安居南路 191 号，830063 乌鲁木齐，中国
邮箱地址：1045230278@qq.com


## 中国项目负责人和协调员


中国科学院新疆分院生态与地理研究所
赵成义 研究员
北京路 40 号，830011 乌鲁木齐，中国
邮箱地址：zcy@ms.xjb.ac.cn

中国气象局，国家气候中心
姜彤 研究员
北京市海淀区中关村南大街 46，100081 北京，中国
邮箱地址：jiangtong@cma.gov.cn



SPONSORED BY THE Federal Ministry of Education and Research
NACHHALTIGES LANDMANAGEMENT
FONA Research for Sustainable Development BMBF