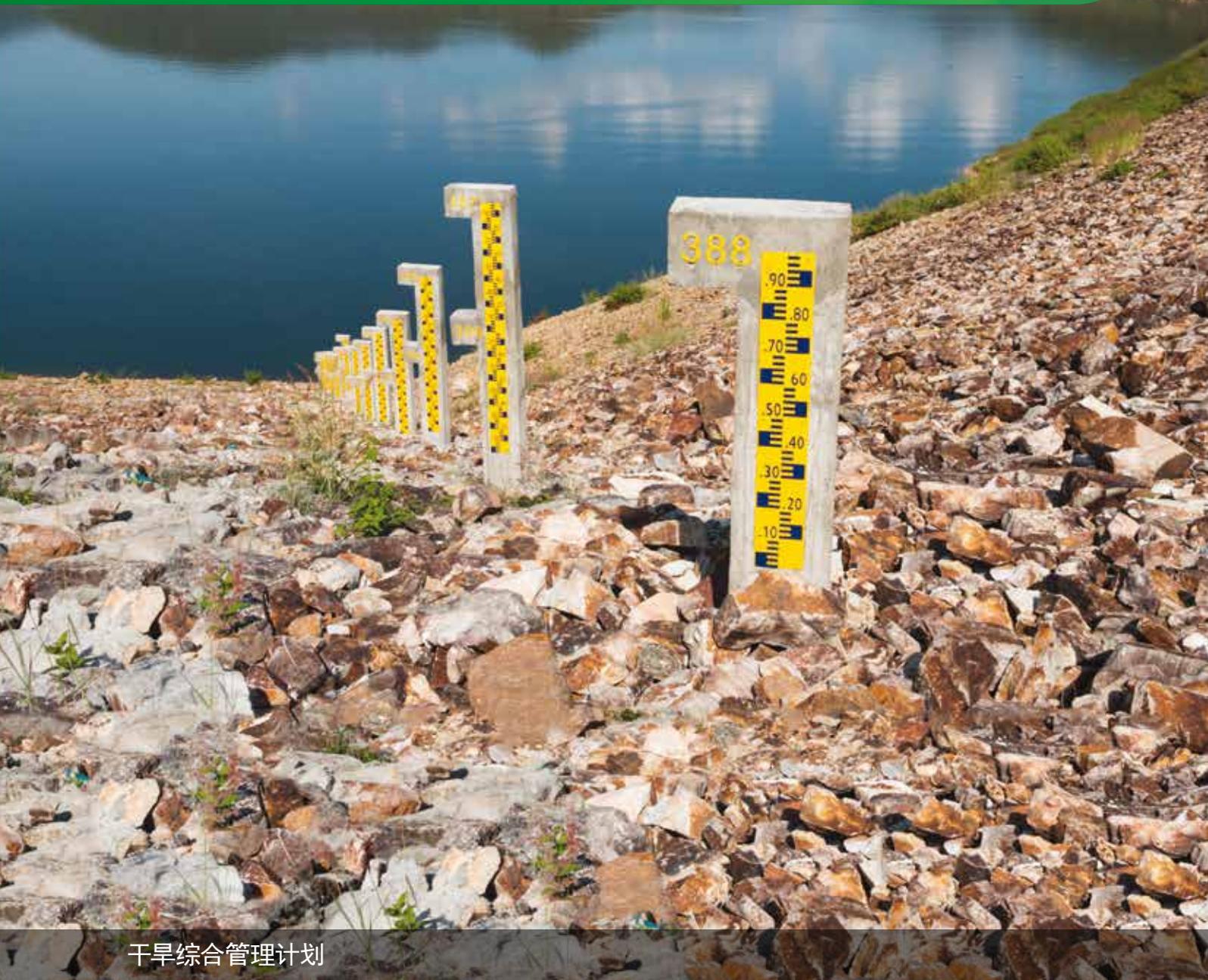


# 干旱指标与指数手册



干旱综合管理计划



世界气象组织  
WMO-No. 1173

天气 气候 水



Global Water  
Partnership

Towards a water secure world



世界气象组织（WMO）是联合国的一个专门机构。它是联合国系统中有关地球大气状态和变化规律及其与陆地和海洋的相互作用、大气产生的天气和气候、以及由此产生的水资源分布等方面的权威声音。WMO有191个国家会员和地区会员。

[www.wmo.int](http://www.wmo.int)



全球水伙伴组织（GWP）是一个国际网络，其愿景是建立一个水安全的世界。GWP的使命是为可持续和公平的发展促进水资源的治理和管理。GWP网络向所有认可本网络所认同的水资源综合管理原则的组织开放。

[www.gwp.org](http://www.gwp.org)



国家干旱减灾中心（NDMC）于1995年在内布拉斯加大学林肯分校建立，该中心可帮助人们和机构制定和采取措施，减轻社会对于干旱的脆弱性，强调备灾和风险管理，而不是危机管理。NDMC可与许多联邦机构、州立机构以及国际机构开展合作。

[www.drought.unl.edu](http://www.drought.unl.edu)

干旱综合管理计划（IDMP）是2013年3月WMO和GWP在国家干旱政策高级别会议期间启动的。IDMP与广泛的伙伴合作，旨在支持各级利益攸关方。IDMP可通过全球协调制作科学信息、共享干旱综合管理的最佳做法及知识，为其伙伴提供政策和管理指导。IDMP可推动全球气候服务框架（GFCS），特别是关于减轻灾害风险、水、农业和粮食安全、能源和健康等GFCS优先重点领域。它尤其力求支持各地区和国家制定更积极的干旱政策以及建立更有预见性的机制。本手册有助于实现这一目标。

[www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info)

# 干旱指标与指数手册

干旱指标与指数手册 (IDMP)



世界气象组织  
WMO-No. 1173



Global Water  
Partnership

Towards a water secure world

2016

**致读者：**

本出版物是‘干旱综合管理工具与指南系列’之一，由干旱综合管理计划（IDMP）汇编完成。本《干旱指标与指数手册》是根据现有的文献，并尽可能借鉴相关工作的成果。本手册可满足从业人员和决策者的需求。本出版物可作为从业人员的参考指南/材料，而不是学术论文。

本出版物是“动态文件”，将根据其读者的经验进行更新。本手册第7章介绍的指标和指数也可在线获取：[www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info)。IDMP鼓励全球从事干旱管理的水资源管理者和相关专家共同为本出版物提供素材。为此，敬请提出宝贵意见和建议。撰稿和投稿将得到适当感谢。请将您的意见发送至：[idmp@wmo.int](mailto:idmp@wmo.int)，邮件主题：‘Handbook of Drought Indicators and Indices’。

**引用方式：**

世界气象组织（WMO）和全球水伙伴组织（GWP），2016：干旱指标与指数手册（M.Svoboda和B.A. Fuchs）。干旱综合管理计划（IDMP）、干旱综合管理工具和指南系列2。日内瓦。

干旱综合管理工具和指南系列2

© 2016 世界气象组织和全球水伙伴组织

ISBN 978-92-63-51173-7

ISBN 978-91-87823-30-5

**免责声明：**

本出版物中使用的称呼和材料表示方法并不代表世界气象组织秘书处对各国、领土、城市或地区、或其当局的法律地位、或对其边界划分的观点立场。

可授权将文字用于教育或非商业用途，无须经全球水伙伴事先许可，但须适当引用并准确使用材料且不会产生误导。本出版物中所述观点并不代表已得到GWP的认同。

署名作者的WMO及GWP出版物中所示的结果、解释和结论只是作者的观点，并不一定反映WMO和GWP或其会员的观点。

# 目录

	页
鸣谢.....	iv
1. 引言.....	1
2. 定义: 指标与指数.....	3
3. 干旱监测方法和早期预警及评估指导方法.....	4
4. 选择指标和指数.....	5
5. 指标和指数摘要.....	6
6. 指数和指标资源.....	10
7. 指标和指数.....	11
7.1 气象学.....	11
7.2 土壤水分.....	25
7.3 水文学.....	27
7.4 遥感.....	32
7.5 综合或模拟.....	38
附件: 调查结果.....	42
参考书目.....	44

## 鸣谢

《干旱指标与指数手册》是干旱综合管理计划（IDMP）的一项倡议，并由内布拉斯加大学林肯分校国家干旱减灾中心Mark Svoboda和Brian Fuchs编写。

投稿和各项意见来自（按姓氏字母顺序排列）：

Kevin Anderson, 加拿大环境部气候资料与分析室  
Chandrashekhara Biradar, 国际干旱地区农业研究中心（ICARDA）  
Siegfried Demuth, 联合国教育、科学与文化组织（UNESCO）  
Maxx Dilley, 世界气象组织（WMO）  
Allan Howard, 加拿大农业和农业食品部  
Rajeev Issar、Yuko Kurauchi和Francis Opiyo, 联合国开发计划署（UNDP）  
Dasarath Jayasuriya和Gary Allan, 澳大利亚气象局  
Oluf Zeilund Jessen, DHI  
Azmat Hayat Khan, 巴基斯坦气象局  
Alexander Kleshchenko, 俄罗斯国家农业气象研究所  
Mario López Pérez, 墨西哥全国水委员会（CONAGUA）  
Bradfield Lyon, 哥伦比亚大学气候与社会国际研究所（IRI）  
Sayed Masoud Mostafavi Darani和Masoud Haghghat, 伊朗伊斯兰共和国气象局  
Masahiko Murase, 日本土木研究所（PWRI）水灾害与风险管理国际中心（ICHARM）  
Gabriele Quinti, 意大利CERFE  
Vadlamudi U.M. Rao, 印度农业研究理事会中央旱地农业研究所（ICAR-CRIDA）全印度农业气象协调研究项目（AICRPAM）  
Vladimir Smakhtin, 国际水管理研究所（IWMI）  
Yanling Song, 中国气象局  
Roger C. Stone和Anthony Clark, 南昆士兰大学  
Marcus Wijnjen和Natalia Limones Rodriguez, 世界银行  
Donald Wilhite, 内布拉斯加大学林肯分校

WMO/GWP IDMP技术支持组Robert Stefanski和Frederik Pischke负责总体协调。

## 1. 引言

监测干旱的重要性何在？干旱是气候的一个正常部分，会在世界各地任何气候状况下发生，即使在沙漠和雨林。干旱是每年代价较为高昂的自然灾害之一；其影响大范围广，无时无刻不在影响着许多经济行业和人们。干旱（受灾地区）的灾害足迹通常大于其它灾害的足迹，因其他灾害通常局限于洪泛平原、海岸地区、风暴路径或断层带。干旱或许是最适合监测的，因为干旱的缓发使我们能够有时间观测某地区的降水、温度变化以及地表水和地下水供给整体状况的变化。干旱指标或指数通常用于帮助跟踪旱情，这些工具因地区和季节不同而各异。

如同其它灾害一样，干旱可从其强度、地点、持续时间和特定时间等方面来描述。干旱可源于各类抑制降水和/或限制地表水量或地下水量的水文气象过程，产生各种明显比正常更干燥或水分量限制到可能造成损害程度的条件。在本《干旱指标和指数手册》中所讨论的指标和指数可为确定此类条件的强度、地点以及开始至结束的持续时间提供方案。重要的是应注意到，干旱的影响因干旱的原因而不同。干旱会对农业和粮食安全、水力发电和工业、人类健康和动物健康、生计安全、人身安全（例如，女性远距离徒步取水）以及接受教育（例如，女孩因花费更多时间取水而未能入学）产生不利影响。根据易受干旱冲击的人或物以及易受冲击实体的具体脆弱性，此类影响取决于干旱发生的社会经济背景。因此，在特定干旱监测和早期预警背景下，相关影响的类型通常是确定选择干旱指标的重要考虑因素。

干旱影响是在某个具体时间段可观测到的干旱造成的损失或变化。干旱风险管理包括灾害、暴露度、脆弱性和影响评估、干旱早期预警系统(DEWS) (监测和预报，参见文框1) 以及防灾减灾(WMO、UNCCD和FAO, 2013)。重要的是，干旱指标或指数可准确反映和表示干旱期间形成的影响。随着干旱的发展，其影响也是因地区和季节而不同。

对水文循环不同方面的监测需要各种指标和指数。这些指标和指数及其描述最好是针对新出现的状况对地表的影响以及不同个人、团体和组织所做的管理决策，并将两者对应起来。尽管DEWS最终涉及到影响，但目前全球所使用的许多DEWS中，干旱影响评估存在着巨大差距。对影响的评估十分复杂，因为是社会经济因素影响着与干旱暴露度和脆弱性相关的影响程度和类型，而不是干旱的物理性质。了解干旱如何影响人类、社会、企业或经济行业是采取措施减缓未来干旱影响的关键。

### 干旱早期预警系统

干旱早期预警系统通常旨在跟踪、评估和提供有关气候、水文和供水条件及趋势的相关信息。理想上，它们既有监测（含影响）部分，也有预报部分。其目的是在干旱发生前、期间及伊始及时提供信息，以在干旱风险管理计划内促进采取行动（通过临界触发值）作为降低潜在影响的方法。坚持不懈的综合性方法对于监测此类缓发灾害至关重要。



商业图片 / Eddie Hernandez

政府间气候变化专门委员会关于极端事件报告（IPCC，2012）发布后，量化干旱等极端气候事件造成的损失和损害等问题对于政策的落实变得非常重要，尤其是落实《联合国气候变化框架公约》的议程。此外，由于相关灾害损失的严重程度，因此，改进干旱监测和管理对于实施《2015–2030年仙台减轻灾害风险框架》和可持续发展目标至关重要。有效和准确监测水文气象指标对于风险确定、DEWS以及管理部门影响均是一种重要的支持。有鉴于此，2015年6月召开的第17次世界气象大会通过了决议9：极端天气、水和气候事件编目标识符。这启动了天气、水、气候、空间天气及其它相关环境灾害和风险信息标准化进程，确定了制定极端天气、水和气候事件编目标识符的优先次序。本手册将对这些努力做出重大贡献。

本手册旨在涵盖适用于干旱易发区域最常用的干旱指标/指数，目的是促进监测、早期预警和信息提供系统，以支持基于风险的干旱管理政策和备灾计划。这些概念和指标/指数将在下文进行介绍，它是一份动态文件，随着新指标和指数出现及在未来的适用性加以更新及整合。本手册面向那些希望制作其自身指标和指数的机构以及针对那些只愿意获取和使用为其它地区所制作的产品的机构。本手册适用于一般干旱从业人员使用（例如，气象/水文部门、资源管理者及其它各级决策者），并旨在作为一个起点，表明哪个指标/指数可用，并在全球投入实际使用。此外，本手册的制定考虑到了干旱风险管理过程。然而，本出版物并非旨在推荐一套“最佳”指标和指数。对指标/指数的选择是根据与利益攸关方关注的影响最密切关联的干旱具体特点。

本手册并非试图涵盖各种影响的所有复杂性以及所有社会经济干旱指标和指数。列出的指标和指数描述干旱的水文气象特点，并不涵盖社会经济和环境因素，例如评估和预计干旱相关影响和结果所需的那些因素。本手册旨在作为参考，为更多信息渠道提供综述和指南。干旱综合管理计划（IDMP）正在建立关于干旱综合管理的补充咨询台。

## 2. 定义: 指标与指数

定义干旱指标和指数的含义非常重要。

**指标**是用于描述旱情的变量或参数。例如降水、温度、河道流量、地下水水位和水库水位、土壤水分和积雪。

**指数**通常是计算的干旱强度的数值表示，利用包括上述指标在内的气候或水文气象输入加以评估。指数旨在衡量某个时段内地面干旱的定性状况。技术上而言，指数也是指标。监测不同时间尺度的气候可确定长期干旱内的短期湿润期或长期湿润期内的短期早期。指数能够简化复杂的关系，并为各类受众和用户（包括公众）提供有效的沟通工具。指数可用于提供关于干旱事件强度、地点、特定时间和持续时间的定量评估。强度是指与指数正常值的偏离度。可设定强度阈值来确定干旱何时开始、何时结束以及受影响的地理区域。地点是指发生旱情的地理区域。特定时间和持续时间是以起始和结束的大概日期确定。灾害事件和受影响要素（人、农业区、水库和供水）的相互作用以及这些要素对干旱的脆弱性，可确定影响。之前的干旱会加剧脆弱性，例如，这会引发出售生产资产以满足眼前需求。干旱的时间与强度在确定影响和结果方面同样重要。如果在作物稳定生长的水分敏感期发生短期强度较低的季节内干旱，其对作物产量的破坏性影响会高于农业周期非主要阶段发生的时间更长的更严重干旱。因此，干旱指数 - 与关于易受影响资产及其脆弱性特点的其它信息相结合 - 对于跟踪和预计干旱相关影响及结果至关重要。指数也可发挥另一种重要作用，根据指数的不同，它们可为规划者或决策者提供历史参考资料。这可为用户提供不同强度干旱的发生或再发生概率。然而，重要的是，气候变化将开始改变历史模式。

如果了解干旱发生地的气候状况和干旱气候，则根据指标和指数得出的信息有助于规划和



设计应用（例如风险评估、DEWS和干旱受灾部门的风险管理决策支持工具）。此外，不同的指标和指数可用于验证模拟、同化或遥感的干旱指标。

### 3. 干旱监测方法和早期预警及评估指导方法

目前有三种主要方法用于监测干旱和指导早期预警及评估：

1. 使用单一指标或指数
2. 使用多个指标或指数
3. 使用综合或混合指标

以往，决策者和科学家使用一个指标或指数，因为这是他们可用的唯一测量法，或他们没有足够的时间获取资料及计算导数指数或其它可提供指数。在过去20年左右，全球一直强烈关注和不断以适用于不同用途和时空尺度的各指标为基础开发新指数。这些新工具使决策者和政策制定者有了更多的选择，但直到最近，他们仍缺乏明确的方法将各种结果合并为可传达给公众的简单信息。地理信息系统的出现以及日益提升的计算和显示能力，提升了叠加、绘制和比较不同指标或指数的能力。欲了解更多关于干旱指数和指标绘制的讨论，可参见《标准化降水指数用户指南》第9章（WMO，2012）。

在试图确定使用哪个指标或指数时，特别是如果它们涉及到全面干旱计划并用作干旱管理行动的触发值时，会引起混乱。这需要时间以及试错系统来确定哪个方案最适合于任何给定的地点、区域、流域或地区。在过去十年左右，新型综合（有时称为混合）指标已成为合并不同指标和指数的方法，无论加权与否还是模拟与否。该理念旨在利用各类输入的优势，而又为决策者、政策制定者或公众保持单一、简单的信息渠道。鉴于根据某个区域或地区的水可用量相关的多个指标可最有效估算出干旱强度，因而综合或混合方法可使更多



要素被纳入评估过程。

尽管本手册并非旨在准确阐明哪些指标或指数可整合或用于干旱管理指导，但重要的是要指出在总体干旱风险管理战略中，指数和指标在DEWS中的作用。它们可提供有效的触发值，可帮助指导决策者和政策制定者开展积极的风险管理。

触发值是指标或指数的具体值，它可启动和/或终止各层次的干旱计划和相关减缓及应急管理响应。换言之，它们可触发行动，并考虑分工分班问责制。这最终应与全面的干旱管理计划或政策（WMO和GWP，2014）相联系。重要的是拥有一个完整的指标或指数触发值一览表，而且也应与行动计划相一致，以指导个别机构或部委开展一系列协调的行动。没有这种一致性，就有可能造成在地区或区域干旱伊始时，采取的行动显著滞后。

#### 4. 选择指标和指数

正如没有‘普遍适用’的干旱定义一样，也没有能够计算及适用于所有类型干旱、气候状况和干旱受灾部门的单一指数或指标。本手册并非旨在作为规范，告知读者哪些指数或指标可最佳使用及何时使用；实际上，许多因素均可确定哪个指标、指数或触发值（或相结合）可最适用于某个特殊需求或用途。下列问题可帮助用户决定哪些指标和指数最适合于其现状：

- 指标/指数是否有利于及时探测干旱以便促发对干旱响应或减缓行动的适时沟通和协调？
- 指数/指标是否对气候、空间和时间敏感以便确定干旱开始和结束？
- 指标/指数和各种强度水平是否能够响应和反映某给定地点或地区的地面所发生的影响？
- 对于干旱的发生及结束，所选指标、指数和触发值是否相同或存在差异？阐明这两种情况至关重要。
- 是否使用综合（混合）指标以便将考虑许多因素和输入？
- 数据及合成指数/指标是否可用和可靠？换言之，是否有可为规划者和决策者提供有力的历史和统计标示的长期数据源记录？
- 指数/指标是否易于实施？用户是否有资源（时间和人力）投入此类工作且在未发生旱情时它们是否也能毫不松懈？如果建立监测水文循环或气候循环的所有方面，而不仅是监测干旱，则理由更为充分。

要使用的最简单指标/指数通常是已在业务制作并免费提供的指标/指数，但这不一定意味着

它是最好的或最适用的。最终还是要由区域、国家或地方层面的用户做出选择。对用户而言，首选和推荐的方法是采用多个或综合/混合指标/指数方法作为在全面干旱减缓计划背景下DEWS的一部分。理想情况下，这需要进行彻底的分析以及研究方法来确定哪个指标最适合于特定气候状况、地区、流域和地点。此外还需要研究确定各项指标与哪些季节最契合，可体现出地面产生的影响。一经确定，则可在DEWS中推荐或使用这些指标/指数，作为与干旱计划中应急响应或减缓行动相关联的潜在触发值。

## 5. 指标和指数摘要

如前所述，鉴于受影响行业的数量和类型，因而使用单一的指标或指数无法确定针对各类干旱的适当行动。首选方法是使用含不同输入值组合的不同阈值。理想情况下，这将包括前期研究，以确定哪些指标/指数最适合于气候和干旱发生的时间、区域和类型。这要花费时间，因为它需要试错方法。基于定量指数值的决策对于适当和准确的干旱强度评估至关重要，并输入业务DEWS或全面的干旱计划。

表1所列的指标和指数摘自IDMP和伙伴的文献及在线搜索。按类型和易用性对它们进行编目，并分为以下类别：（a）气象学，（b）土壤水分，（c）水文学，（d）遥感，（e）综合或模拟。尽管按‘易用性’列出，但根据用户知识、需求、数据有效性和可用于实施它们的电脑资源，仍有可能出现任何指标、所有指标或没有指标适合于特定用途。资源需求从绿色到黄色到红色增加，如下所述。此外，最简单的指数/指标未必是最好用的。

‘易用性’分类对各指标/指数采用‘红绿灯’方法，如下：

**绿色：** 果下列一个以上的标准适用，则指数被视为绿色：

- 运行指数的编码或程序便捷和免费提供
- 无需每日数据
- 允许数据缺失
- 指数输出已在业务制作，并可在线提供

注：鉴于绿色‘易用性’分类可能意味着指标/指数或许是最易于获取或使用，但这并不意味着它是最适合于某个区域或地点。关于使用哪个指标/指数的决定需由用户做出，并取决于给定的用途。

**黄色：** 如果下列一个以上的标准适用，则指数将被视为黄色：

- 需要多个变量或输入用于计算
- 在公共域中没有运行指数的代码或程序
- 仅需要单一输入或变量，但没有代码
- 制作指数所需的计算复杂度最低

**红色：** 如果下列一个以上的标准适用，则指数将被视为红色：

- 需要制定代码，根据文献所述的方法计算指数
- 指数或衍生产品不易得到
- 该指数是模糊指数，且未广泛使用，但或许适用
- 指数包括模拟输入或是计算的一部分

表1. 本手册所列的指标和指数

气象学	页码	易用性	输入参数	补充信息
干燥距平指数 (AAI)	11	绿色	P, T, PET, ET	可供印度业务使用
十分位数	11	绿色	P	易于计算; 澳大利亚提供的示例有用
Keetch–Byram干旱指数 (KBDI)	12	绿色	P, T	计算是基于所关注区域的气候
正常降水百分比	12	绿色	P	计算简单
标准化降水指数 (SPI)	13	绿色	P	世界气象组织强调作为气象干旱监测的起点
加权距平标准化降水 (WASP)	15	绿色	P, T	利用网格资料监测热带地区的干旱
干燥指数 (AI)	15	黄色	P, T	还可用于气候分类
中国Z指数 (CZI)	16	黄色	P	拟对SPI资料加以改进
作物水分指数 (CMI)	16	黄色	P, T	需每周数值
干旱面积指数 (DAI)	17	黄色	P	给出季风季节状况指标
干旱侦测指数 (DRI)	17	黄色	P, T	需每月温度和降水
有效干旱指数 (EDI)	18	黄色	P	通过直接与创始人联络提供程序
Selyaninov水热系数 (HTC)	19	黄色	P, T	易于计算以及俄罗斯的一些实例
NOAA干旱指数 (NDI)	19	黄色	P	最佳用于农业用途
帕尔默干旱强度指数 (PDSI)	20	黄色	P, T, AWC	由于计算复杂以及需要连续完整资料, 因而不是绿色
帕尔默Z指数	20	黄色	P, T, AWC	PDSI计算的许多输出之一
降雨距平指数 (RAI)	21	黄色	P	需要连续完整的资料
自标定帕尔默干旱强度指数 (sc-PDSI)	22	黄色	P, T, AWC	由于计算复杂以及需要连续完整资料, 因而不是绿色
标准化距平指数 (SAI)	22	黄色	P	用于描述区域状况的点资料
标准化降水蒸散指数 (SPEI)	23	黄色	P, T	需要连续完整的资料; 输出类似于SPI, 但含有温度部分
农业干旱参考指数 (ARID)	23	红色	P, T, Mod	在美国东南部制作, 在该地区以外未经广泛测试
具体作物干旱指数 (CSDI)	24	红色	P, T, Td, W, Rad, AWC, Mod, CD	需要许多变量的质量数据, 使其难以使用
垦区干旱指数 (RDI)	25	红色	P, T, S, RD, SF	类似于地表供水指数, 但包含温度部分

土壤水分	页码	易用性	输入参数	补充信息
土壤水分距平 (SMA)	25	黄色	P, T, AWC	意在改进PDSI的水平衡
蒸散亏缺指数 (ETDI)	26	红色	Mod	需要多个输入值的复杂计算
土壤水分亏缺指数 (SMDI)	26	红色	Mod	不同土壤深度每周计算; 计算复杂
土壤蓄水量 (SWS)	27	红色	AWC, RD, ST, SWD	土壤和作物类型的变化, 大面积插值有困难

水文学	页码	易用性	输入参数	补充信息
帕尔默水文干旱强度指数 (PHDI)	27	黄色	P, T, AWC	需要连续完整的资料
标准化水库供水指数 (SRSI)	28	黄色	RD	利用水库数据, 进行类似SPI的计算
标准化河道流量指数SSFI)	29	黄色	SF	利用SPI程序及河道流量资料
标准化水位指数 (SWI)	29	黄色	GW	类似SPI的计算, 但利用地下水或井水水位资料, 而不是降水资料
河道流量干旱指数 (SDI)	30	黄色	SF	类似SPI的计算, 但利用河道流量资料, 而不是降水资料
地表水供应指数 (SWSI)	30	黄色	P, RD, SF, S	许多方法和衍生产品均可用, 但各流域之间的比较取决于所选择的方法
总干燥度指数 (ADI)	31	红色	P, ET, SF, RD, AWC, S	无代码, 但文献中阐释了数学运算
标准化融雪和降雨指数 (SMRI)	32	红色	P, T, SF, Mod	有无积雪信息均可使用

遥感	页码	易用性	输入参数	补充信息
增强植被指数 (EVI)	32	绿色	Sat	未将干旱胁迫和其它胁迫分开
蒸发胁迫指数 (ESI)	33	绿色	Sat, PET	没有作为业务产品的长期历史
归一化差分植被指数NDVI)	33	绿色	Sat	针对大部分地点的计算
温度条件指数 (TCI)	34	绿色	Sat	通常与NDVI计算一同得出
植被条件指数 (VCI)	34	绿色	Sat	通常与NDVI计算一同得出
植被干旱响应指数VegDRI)	35	绿色	Sat, P, T, AWC, LC, ER	考虑许多变量, 以将干旱胁迫与其它植被胁迫分开

植被健康指数 (VHI)	35	绿色	Sat	利用遥感资料监测干旱的初步尝试之一
需水量满意度指数 (WRSI)和地球空间WRSI)	36	绿色	Sat, Mod, CC	在许多地点投入业务
归一化差分水指数 (NDWI)和地表水指数 (LSWI)	37	绿色	Sat	利用中分辨率成像分光辐射计资料进行业务制作
土壤调整植被指数 (SAVI)	37	红色	Sat	未业务制作

综合或模拟	页码	易用性	输入参数	补充信息
综合干旱指标 (CDI)	38	绿色	Mod, P, Sat	利用地面和遥感资料
全球综合干旱监测和预测系统 (GIDMaPS)	38	绿色	Multiple, Mod	三个干旱指数全球输出的业务产品: 标准化土壤水分指数、SPI和多元标准化干旱指数
全球陆地资料同化系统 (GLDAS)	39	绿色	Multiple, Mod, Sat	由于是全球范围, 因此有益于资料匮乏地区
多元标准化干旱指数MSDI)	40	绿色	Multiple, Mod	可用, 但需加以判读
美国干旱监测公报 (USDM)	41	绿色	Multiple	可用, 但需加以判读

注: 指标和指数以‘易用性’加以分类, 而后在每个‘易用性’类别内按字母顺序排列。

#### 变量的关键:

AWC = 有效含水量,

CC = 作物系数,

CD = 作物数据,

ER = 生态区域,

ET = 蒸散,

GW = 地下水,

LC = 土地覆盖,

Mod = 模拟,

多指标 = 使用的多个指标,

P = 降水,

PET = 潜在蒸散,

Rad = 太阳辐射,

RD = 水库,

S = 积雪,

Sat = 卫星,

SF = 河道流量,

ST = 土壤类型,

SWD = 土壤水分亏缺,

T = 温度,

Td = 露点温度,

W = 风资料。

## 6. 指数和指标资源

目前全球在用的许多指数和指标都有一些不同的信息源。美国内布拉斯加大学林肯分校国家抗旱中心 (NDMC) 记录并阐释了其中一些更为通用的指数, 保留了专用干旱指数资源部分, <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.

2009年世界气象组织 (WMO) /NDMC在内布拉斯加大学林肯分校举办了区域间干旱指数和早期预警系统研讨会。其成果之一是支持将通过‘干旱指数林肯宣言’出台的标准化降水指数 (SPI) 作为确定气象干旱存在的标准 (Hayes等, 2011)。WMO制定了SPI用户指南, 参见[http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_en\\_2012.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf).

作为后续行动, WMO和联合国减轻灾害风险办公室与塞古拉水文联盟及西班牙气象局 (国家气象局) 于2010年在西班牙穆尔西亚合作, 组织了农业干旱指数专家组会议 (Sivakumar等, 2011)。来自世界各地的一批科学家代表WMO的各个区域, 审议了用于评估干旱对农业影响的34个指数, 并强调了其优缺点。会议文集《农业干旱指数: 专家会议记录》以17篇论文的形式进行了记录, 查询可登录<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm11/agm11.pdf>.

还可参阅本出版物最后所列的参考资料, 例如Heim (2002), Keyantash and Dracup (2002) and Zargar et al. (2011), 它评审了过去及目前使用的干旱指数。

就指标和指数的选择、阐述和应用等方面需要更多帮助, 可通过<http://www.droughtmanagement.info/> 或通过电子邮件idmp@wmo.int. 与IDMP联络。



## 7. 指标和指数

### 7.1 气象学

**指数名称：**干燥距平指数（AAI）。

**易用性：**绿色。

**来源：**由印度气象局开发。

**特点：**实时干旱指数，其中考虑到了水分平衡。干燥指数（AI）每周或每两周计算一次。对于每个计算周期，其实际干燥度可与该周期正常干燥度相比。负值表明水分过剩，而正值表示缺水。

**输入参数：**实际蒸散和计算的潜在蒸散，这需要温度、风和太阳辐射值。

**应用：**干旱的农业影响，尤其是在热带地区，定义的湿润季节和干燥季节为气候状况的一部分。可利用该方法评估冬季和夏季耕作季节。

**优点：**针对农业，计算简单，且对干旱的描述（轻度、中度或重度）是基于与正常值的偏离度。每周一个时步地快速响应。

**缺点：**不适用于长期或多季节事件。

**资源：**<http://imd pune.gov.in/hydrology/methodology.html>。

**参考文献：**[http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP\\_Chap06.pdf](http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP_Chap06.pdf)。

**指数名称：**十分位数。

**易用性：**绿色。

**来源：**1967年，Gibbs和Maher通过在澳大利亚气象局的工作阐述的一种简单数学方法。

**特点：**利用某地点整个周期降水资料记录，对降水频率和分布进行排列。第一个十分位数包括10%的最低值以内的降雨量，第五个十分位数是中位数。湿尺度同样可用。鉴于在将当前资料与任何给定时期的历史记录相比时所具有的灵活性，因此，该方法中可全面考虑每日、每周、每月、季节和年度数值。

**输入参数：**仅为降水，所考虑的时间尺度灵活。

**应用：**借助着眼于不同时间尺度和时间步长的能力，十分位数可用于气象、农业和水文旱情。

**优点：**由于只考虑单一变量，因而该方法对许多情况而言简单、灵活。利用明确定义的阈值，将当前资料置于历史背景，从而判别旱情。在干燥和潮湿情况下均可用。

**缺点：**与仅使用降水的其它指标一样，在干旱发展期间，没有考虑温度及其它变量的影响。长期记录可提供最佳结果，因为许多潮湿和干燥周期将被列入分布范围。

**资源：**目前没有十分位数的具体软件代码，而一些在线工具能够提供输出。因此，重要的是，要阐明基础方法，因为有许多统计方法可利用气象资料计算十分位数，<http://drinc.ewra.net/>。

**参考文献：**Gibbs, W.J. and J.V. Maher, 1967: Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia。

**指数名称：**Keetch-Byram干旱指数（KBDI）。

**易用性：**绿色。

**来源：**美国农业部森林管理处Keetch和Byram在20世纪60年代末所做工作的一部分。主要是火险指数。

**特点：**开发此指数旨在利用针对该地区气候的统一方法，确定早期阶段的干旱。这是在引起土壤上层水分亏缺过程中蒸散和降水的净效应，同时也标示出土壤饱和以及消除干旱胁迫需要多少降水。

**输入参数：**每日最高温度和每日降水。计算出各表格，以便根据当地气候将KBDI与各降水情况相联系。

**应用：**拟作为干旱火险监测方法，由于土壤水分测量直接涉及对作物的干旱胁迫，因而认为KBDI适用于农业环境。

**优点：**表示某区域的水分亏缺，并可换算显示各特定地点的特征。计算简单且方法易于使用。

**缺点：**假定有效水分是有限的并假定某些气候条件对干旱发展是必要的，而这并不适用于每个地点。

**资源：**文献详细介绍了该方法和计算。不同地点的许多地图可在线查询，<http://www.wfas.net/index.php/keetch-byram-index-moisture--drought-49>。

**参考文献：**Keetch, J.J. and G.M. Byram, 1968: A Drought Index for Forest Fire Control. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper SE-38, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC。

**指数名称：**正常降水百分比。

**易用性：**绿色。

**来源：**任何量的百分率都是一个简单的统计公式。尚不了解描述降水距平的确切来源或首次使用。

**特点：**计算简单，可用于比较任何地点的任何时间段。可按每日、每周、每月、季节和年度时间尺度进行计算，适合许多用户需求。计算是用所考虑时段的正常降水除以实际降水再乘以100。

**输入参数：**适用于所计算时间尺度的降水值。最好是有至少**30**年的资料用于正常期的计算。

**应用：**可用于确定和监测干旱的各类影响。

**优点：**可快速便捷利用基础数学进行计算的一种通用方法。

**缺点：**建立某地区常值的这种计算会使有些用户将其与平均降水量相混淆。很难将不同的气候状况相互比较，尤其是那些定义了干-湿季节的气候状况相互比较。

**参考文献：** Hayes, M.J., 2006: Drought Indices. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, John Wiley & Sons, Inc., doi:10.1002/0471743984.vse8593, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471743984.vse8593/abstract;jsessionid=CA39E5A4F67AA81580F505CBB07D2424.f01t04>。

**指数名称：**标准化降水指数（**SPI**）。

**易用性：**绿色。

**来源：**McKee等人1992年在美国科罗拉多州立大学所做研究和工作的结果。其工作成果首先在1993年1月举行的第8次应用气候学大会上介绍。该指数的基础是依靠干旱与频率、持续时间和时间尺度的关系。

2009年，WMO推荐SPI作为主要的气象干旱指数，各国可将其用于监测和跟踪旱情（Hayes, 2011）。通过将SPI确定为广泛使用的指数，WMO为那些力图建立干旱早期预警水平的国家提供了指导。

**特点：**利用任何地点的历史降水记录得出可在任何数量时间尺度（1个月至48个月或更长）计算的降水概率。与其它气候指标一样，用于计算SPI的资料时间序列并不需要具体长度。Guttman（1998, 1999）指出，如果长期时间序列中有更多资料，则由于纳入了更多极端潮湿和极端干燥事件实例，使概率分布的结果将更加完善。用20年的资料便可计算出SPI，但理想情况是，时间序列应当最少有30年的资料，即使计及缺失的资料。

SPI有强度标尺，其中可计算出正负值，它与潮湿和干燥事件有直接关系。对干旱而言，特别关注的是降水分布的‘尾部’，尤其是极端干燥事件，根据所调研的地区气候，这些都是罕见的事件。

无论所调研的时间尺度，只要SPI的结果连续出现负值并达到-1值，则可表示干旱事件。干旱事件可被认为持续至SPI值达到0。McKee等人（1993）指出，干旱在SPI值为-1或更低时开始，但尚未设定标准，因为有些研究人员将选择小于0的阈值，但不完全到-1，而其他研究人员将初始干旱类别定级在小于-1的值上。

由于SPI的效用和灵活性，因此，它可利用某地点记录周期中缺失的资料加以计算。理想情况下，时间序列应尽可能完整，但如果缺少足够资料计算某个值，则SPI的计算结果将出现‘零’值，而当资料可用时，SPI将再次开始计算输出。通常可计算24个月时间尺度的SPI，该指数的灵活性可供多种用途，涉及影响农业、水资源及其它行业的事件。

**输入参数：**降水。大多数用户是用每月数据集来使用SPI，但在使用每日和每周数值时，电脑程序具有产生结果的灵活性。SPI的方法并没有在使用每日、每周或每月资料的基础上改变。

**应用：**在不同时间尺度上计算SPI的能力有利于多种用途。根据上述的干旱影响，3个月以下的SPI值或许可用于基本干旱监测，而6个月以下的SPI值可用于监测农业影响，12个月以上的SPI值适用于水文影响。还可依据网格降水资料集计算SPI，这有利于使用户的范围大于那些仅依据台站资料工作的用户。

**优点：**仅利用降水资料是SPI的最大优点，因为这可使它极易于使用和计算。SPI可适用于所有气候状况，且可对气候迥异的SPI值加以比较。对包括缺失资料在内的短期记录进行SPI计算的能力对那些资料稀缺或缺少长期一致性资料集的地区也极为宝贵。用于计算SPI的程序易于使用且便于提供。NDMC可为分布在全球200多个国家的个人电脑上的使用提供程序。多时间尺度的计算能力还可使SPI拥有广泛的应用。科学文献上刊载了许多与SPI有关的文章，为新用户带来了大量可以借助的资源。

**缺点：**鉴于降水是唯一输入，因此，当计算温度部分时，SPI存在不足，温度对于一个地区的总体水分平衡和用水非常重要。这一缺点使其更难以与SPI值类似、但温度情景不同的事件进行比较。SPI短期记录计算或有许多缺失值资料计算的灵活性还可导致误用输出，因为程序会对任何给出的输入提供输出。SPI采用先验分布，这或许并不适合于所有环境，尤其是在检验短持续时间事件或干旱的输入或输出之时。现有的SPI版本很多，是在各计算软件包内实施，而不是在NDMC所分配的源代码中。重要的是检查这些算法的完整性以及输出与已发布版本的一致性。

**资源：**SPI程序可在Windows个人电脑上运行，<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>。

#### 参考文献：

Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34:113–121, doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.

Guttman, N.B., 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35:311–322, doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.

Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall and M. Widhalm, 2011: The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4):485–488.

McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17–22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.

World Meteorological Organization, 2012: Standardized Precipitation Index User Guide

(WMO-No. 1090), Geneva。

Wu, H., M.J. Hayes, D.A. Wilhite and M.D. Svoboda, 2005: The effect of the length of record on the Standardized Precipitation Index calculation. *International Journal of Climatology*, 25(4):505–520。

指数名称：加权距平标准化降水指数（**WASP**）。

易用性：**绿色**。

来源：由Lyon开发，用于监测赤道30°以内热带地区降水。

特点：利用0.5°×0.5°分辨率的网格每月降水资料，并基于加权标准化月降水距平的12个月叠加总和。

输入参数：每月降水和年度降水值。

应用：主要用于潮湿的热带地区，以监测干旱的发展，并考虑气候状况中确定的潮湿和干燥期。可用于监测影响农业及其它行业的干旱。

优点：利用降水作为单一输入有利于计算更简单。

缺点：不十分适用于沙漠地区。很难在业务中获取网格降水资料。

资源：文献中提供和解释了各种方法和计算，[http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/WASP\\_Indices.html](http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/WASP_Indices.html)。

参考文献：Lyon, B., 2004: The strength of El Niño and the spatial extent of tropical drought. *Geophysical Research Letters*, 31:L21204, doi:10.1029/2004GL020901。

指数名称：干燥指数（**AI**）。

易用性：**黄色**。

来源：1925年，De Martonne通过所完成的工作开发；干燥度被定义为降水与平均温度之比。

特点：可用于对不同地区的气候进行分类，因为降水与温度之比可为确定某区域的气候状况提供方法。AI的月计算可用于确定干旱的开始，因为该指数考虑到了温度的影响以及降水。

输入参数：月平均温度和降水。对气候分类而言，使用年度值。

应用：主要用于确定较短时间尺度干旱的发展，这有助于确定和监测农业及气象影响。

优点：仅有两个输入值，易于计算。具有灵活性，可分析不同时间步长。

缺点：未考虑到每年干燥的延续效应。可能在某些气候下响应缓慢。

参考资料:

Baltas, E., 2007: Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*, 14:69–78。

De Martonne, E., 1925: *Traité de Géographie Physique*. 11. Paris, Colin。

指数名称: 中国Z指数 (CZI)。

易用性: 黄色。

来源: 中国开发, CZI是基于SPI所提供的计算便捷性, 并对其加以改进, 使用户更易于计算。统计Z-评分可用于确定和监测干旱周期。该指数由中国国家气候中心1995年首先使用和开发。

特点: CZI类似于SPI, 因为将降水用于确定潮湿和干燥周期, 同时假定降水按照皮尔森三型分布。它利用从1到72个月的月时间步长, 使其能够确定不同持续时间的干旱。

输入参数: 月降水。

应用: 类似于SPI, 可多个时间尺度监测潮湿和干燥事件。

优点: 计算简单, 可做若干时间步长计算。可用于潮湿和干燥事件。允许有缺失资料, 类似于SPI。

缺点: Z-评分资料无需通过使其适合于伽玛分布或皮尔森二型分布加以调整, 据推测, 因此, 与SPI相比, 较短时间尺度代表性不够充分。

资源: CZI的所有计算和说明可参见: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.658/pdf>。

参考文献:

Edwards, D.C. and T.B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science*, 634:1–30。

Wu, H., M.J. Hayes, A. Weiss and Q. Hu, 2001: An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21:745–758。

指数名称: 作物水分指数 (CMI)。

易用性: 黄色。

来源: 作为20世纪60年代初期帕尔默所完成原著的一部分, CMI通常是与帕尔默干旱强度指数 (PDSI) 输出一起每周计算一次, 作为短期干旱部分, 其中考虑了对农业的影响。

特点: 鉴于明显有一些与PDSI有关的缺点, 因此, 帕尔默开发CMI对其做出响应。它意在作为尤其适用于干旱对农业影响的干旱指数, 因为它可迅速响应快速变化的条件。它的计

算是减去潜在蒸散与水分之间的差值，以确定任何亏缺。

**输入参数：**每周降水、周平均温度和前一周的CMI值。

**应用：**用于监测干旱，其中农业影响为主要关切。

**优点：**对输出值加权，从而有可能比较不同的气候状况。迅速响应快速变化的条件。

**缺点：**由于它是专为美国谷物产区而开发，因此，CMI可能显示出从长期干旱事件中恢复的错觉，因为短期的改善或许不足以抵消长期的问题。

**资源：**<https://www.drought.gov/drought/content/products-current-drought-and-monitoring-drought-indicators/crop-moisture-index>。

**参考文献：**Palmer, W.C., 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21:156–161。

**指数名称：**干旱面积指数（DAI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**印度热带气象研究所Bhalme和Mooley在20世纪70年代末开发。

**特点：**开发作为促进了解印度季风降雨的方法，利用月降水确定洪水和干旱事件。通过对比重要季风期内的月降水量，可获取潮湿期和干燥期的强度，并可根据每个月降水量对整个季风季的贡献，得出干燥的显著性。

**输入参数：**季风季节的月降水量。

**应用：**用于确定季风季何时降水充分或干燥，或可能发生洪水。干旱预测是对饥荒发展可能性的良好早期预警。

**优点：**极为关注热带地区的印度季风季。

**缺点：**对其它区域或气候状况缺乏适用性。

**资源：**该指数的数学计算及相关说明见原文，<http://moeseprints.incois.gov.in/1351/1/large%20scale.pdf>。

**参考文献：**Bhalme, H.N. and D.A. Mooley, 1980: Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108:1197–1211。

**指数名称：**干旱侦测指数（DRI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**希腊雅典国家技术大学Tsakiris和Vangelis启动了该项工作。

**特点：**由一个干旱指数组成，该干旱指数包括考虑了降水和潜在蒸散的简化水分平衡方程。DRI有三个输出值：初始值、归一化值和标准化值。标准化DRI值实质上类似于SPI，

且可与其直接比较。然而，DRI比SPI更具代表性，因为它考虑了全水分平衡，而不是只考虑降水。

**输入参数：**月温度和降水值。

**应用：**影响农业或水资源的情况是主要关切。

**优点：**使用潜在蒸散可使该地区全水分平衡的代表性优于SPI提供的代表性，这将能够更好地表明干旱强度。与SPI一样，可进行许多时间步长的计算。文献中有所有必要的数学计算。

**缺点：**当仅使用温度得出估值，潜在蒸散计算易产生误差。月时间尺度或许不会对快速发展的干旱做出充分迅速的反应。

**资源：**DRI软件可参见<http://drinc.ewra.net/>。

**参考文献：**Tsakiris, G. and H. Vangelis, 2005: Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10:3–11。

**指数名称：**有效干旱指数（EDI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**Byun和Wilhite以及NDMC职员共同在工作中开发的。

**特点：**利用每日降水资料开发和计算一些参数：有效降水（EP）、每日平均EP、EP偏差（DEP）和标准化DEP值。这些参数可确定水分亏缺期的开始和结束。使用这些输入参数，可对全球任何地点进行EDI计算，其结果是标准化的，可用于比较，同时得出干旱开始、结束和持续时间的明确界定。在EDI开发时，大部分干旱指数是利用每月资料加以计算，因此，变为每日资料对于指数的效用是独特且重要的。

**输入参数：**每日降水量。

**应用：**由于计算是每日更新，因此是业务监测气象和农业旱情的一个良好指数。

**优点：**利用计算所需的单一输入，有可能计算记录降水的任何地点的EDI。阐述过程的支持文件可用于该程序。EDI是标准化的，因此可对所有气候状况的输出值进行比较。这对确定干旱事件的开始和结束及持续时间非常有效。

**缺点：**仅计算降水量，并未直接整合温度对旱情的影响。使用每日资料使其难以在业务中使用EDI，因为不可能每日更新输入资料。

**资源：**作者表示，要获取代码可与其直接联系。下面参考文献的原文中有计算结果并做了描述。EDI计算属于所计算的一套指数的一部分，后者是空间和时间序列信息模拟（SPAT-SIM）软件包的一部分，[http://www.preventionweb.net/files/1869\\_VL102136.pdf](http://www.preventionweb.net/files/1869_VL102136.pdf)。

**参考文献：**Byun, H.R. and D.A. Wilhite, 1996: Daily quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 5:1181–1201。

指数名称：**Selyaninov的水热系数（HTC）**。

易用性：**黄色**。

来源：俄罗斯Selyaninov基于俄罗斯的气候而开发。

特点：使用温度和降水值，且对干燥条件敏感，特别是针对正在监测的气候状况。在每月和年代用途中有足够的灵活性。

输入参数：每月温度和降水值。

应用：适用于监测农业干旱条件，也用于气候分类。

优点：计算简单，数值可适用于生长季的农业条件。

缺点：计算未考虑到土壤水分。

资源：查询信息可登录俄罗斯国家农业气象研究所网站，<http://cxm.obninsk.ru/index.php?id=154>，以及俄罗斯及邻国交互农业生态图集网站，[http://www.agroatlas.ru/en/content/Climatic\\_maps/GTK/GTK/index.html](http://www.agroatlas.ru/en/content/Climatic_maps/GTK/GTK/index.html)。

参考文献：Selyaninov, G.T., 1928: About climate agricultural estimation. Proceedings on Agricultural Meteorology, 20:165–177。

指数名称：**NOAA干旱指数（NDI）**。

易用性：**黄色**。

来源：20世纪80年代初期在联合农业气象中心开发，作为美国农业部尝试将天气和气候资料用于全球作物产量估算的一部分。

特点：基于降水的指数，测得的实际降水可与生长季的正常值相比。可计算每周平均降水以及合计和比较实测平均降水的连续四周均值。如果实际降水量大于四周正常降水量的60%，则可认为当周很少有或没有缺水压力。如果测到缺水压力，则在实际降水量达到正常值60%或以上时消失。

输入参数：月降水量换算为周降水值。

应用：用作影响农业的旱情指标。

优点：唯一输入值是降水，单位为月时间步长。计算和使用说明简单。

缺点：需要至少30年的资料来计算归一化每月值，用以每周值的计算。它是涉及农业和作物发育及生长的非常具体的应用。

参考文献：Strommen, N.D. and R.P. Motha, 1987: An operational early warning agricultural weather system. In: Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability (D.A. Wilhite, W.E. Easterling and D.A. Wood, eds.). Boulder, CO, Westview Press。

指数名称：帕尔默干旱强度指数（PDSI）。

易用性：黄色。

来源：20世纪60年代开发，作为利用不局限于降水资料确定干旱的初步尝试之一。帕尔默负责制定将温度和降水资料与水分平衡信息相结合的方法，以确定美国作物产区的干旱。许多年来，PDSI是唯一的业务干旱指数，而且它仍在全球普遍使用。

特点：利用每月温度和降水资料以及土壤持水能力信息进行计算。它考虑到了土壤接收的水分（降水）以及存储的水分，同时阐明温度影响造成的潜在水分损失。

输入参数：每月温度和降水资料。可使用土壤持水能力信息，但也有默认值。需要温度和降水的连续完整记录。

应用：主要开发用于确定影响农业的干旱，它还用于确定和监测与其它类型影响相关的干旱。由于PDSI的长使用期，因而有大量多年使用的实例。

优点：全球使用，代码和输出可广泛提供。科学文献包含大量涉及PDSI的论文。土壤资料和总水分平衡方法的使用可使其能够非常确凿地确定干旱。

缺点：对连续完整资料的需求会导致出现问题。PDSI有近九个月的时间尺度，这会导致在计算中简化土壤水分部分的基础上延迟确定干旱条件。这种滞后可达数月，这在试图确定快速出现的旱情时是一个缺点。季节问题同样存在，因为PDSI无法很好地处理冻结降水或冻土。

资源：<http://hydrology.princeton.edu/data.pdsi.php>。

参考文献：

Alley, W.M., 1984: The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology*, 23:1100–1109。

Palmer, W.C., 1965: Meteorological Drought. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, DC。

指数名称：帕尔默Z指数。

易用性：黄色。

来源：帕尔默Z指数对短期干旱条件的响应优于PDSI，且通常可进行更短时间尺度的计算，使之能够快速确定不断发展的干旱条件。作为帕尔默在20世纪60年代初所作的原著一部分，帕尔默Z指数通常是每月计算以及以PDSI输出作为水分距平。

特点：有时称为‘水分距平指数’，在与某地点的整体记录相比时，导出值可为该地区相对距平提供干燥和潮湿的可比方法。

输入参数：帕尔默Z指数是PDSI的衍生，Z值是PDSI输出的一部分。

应用：可用于当前时期与其它已知干旱期的比较。当用于确定需多少水分才能达到近正常

范畴时，它还可用于确定早期的结束，参见帕尔默的定义。

**优点：**与PDSI相同。科学文献包含一系列相关论文。土壤资料和总水分平衡方法的使用可使帕尔默Z指数非常确凿地确定干旱。

**缺点：**与PDSI相同，连续完整资料的需求可能会导致出现问题。它有近九个月的时间尺度，这会导致在计算中简化土壤水分部分的基础上延迟确定干旱条件。这种滞后可达数月，这在试图确定快速出现的旱情时是一个缺点。季节问题同样存在，因为PDSI无法很好地处理冻结降水或冻土。

**资源：**与NDMC联系获取帕尔默套件代码，<http://drought.unl.edu/>。

**参考文献：**Palmer, W.C., 1965: Meteorological Drought. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, DC。

**指数名称：**降雨异常指数（RAI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**该项工作始于20世纪60年代，由van Rooy开展。

**特点：**使用基于特定地点台站历史的降水标准化值。与当前时期的比较可将结果纳入到历史性的角度。

**输入参数：**降水。

**应用：**涉及可影响农业、水资源和其他部门的干旱，因为RAI比较灵活，因此它可在不同时间尺度上进行分析。

**优点：**容易计算，单一的输入资料（降水）可在月、季和年时间尺度上进行分析。

**缺点：**需要一套完整的数据集，并对缺失值进行估算。与时间变化相比，一年之内的变化需要比较小。

**资源：**无可用资源。

**参考文献：**

Kraus, E.B., 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. Monthly Weather Review, 105(8):1009–1018。

van Rooy, M.P., 1965: A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. Notas, 14:43–48。

**指数名称：**自校准帕尔默旱度指数（sc-PDSI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**最初的工作是由Wells等人于21世纪初在内布拉斯加林肯大学开展的。

**特点：**包含PDSI中的所有常量，并且包括用于动态计算常数的方法，是基于每个台站位置的特点而进行的。sc-PDSI自校准的性质是针对每个台站的，并可根据该地点气候体系而变化。它有湿润和干旱两种尺度。

**输入参数：**月温度和降水。可以使用关于土壤含水量的信息，但还可提供默认信息。一套完整的温度和降水资料的记录是必需的。

**应用：**可用于气象、农业和水文干旱的情况。由于结果被直接连接到台站位置，极端事件非常罕见，因为它们直接关系到该台站的信息，而不是一个常数。

**优点：**由于sc-PDSI的计算可说明每个个体的位置，该指数可反映每个站点的情况并可促进更准确地对各区域进行比较。可以计算出不同的时间步。

**缺点：**由于这种方法与PDSI的差异不是很大，在时间滞后和冷冻降水及冻土方面也存在同样的问题。

**资源：**可从以下网站获取该代码：<http://drought.unl.edu/>和<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cru-sc-pdsi-self-calibrating-pdsi-over-europe-north-america>。

**参考文献：** Wells, N., S. Goddard and M.J. Hayes, 2004: A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate*, 17:2335–2351。

**指数名称：**标准化距平指数（SAI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**由Kraus在20世纪70年代中期推出，Katz和Glantz在20世纪80年代初在美国国家大气研究中心对其进行了详细的检查。SAI是根据RAI制定的，而RAI是SAI的一个组成部分。它们是近似的，但都是独一无二的。

**特点：**根据RAI的结果，制定RAI是为了帮助确定易感地区的干旱，诸如西非萨赫勒和巴西东北部。RAI可解释一个区域内基于台站的降水情况并可标准化年降水量。然后对该地区所有台站的偏差进行平均，从而获得单一的SAI值。

**输入参数：**在月、季节或年时间步上的降水。

**应用：**确定干旱事件，特别是频繁受到干旱影响的地区。

**优点：**单一输入，其可针对任何确定的周期来计算。

**缺点：**仅使用降水量资料，计算依赖于高质量的资料。

**资源：**有关计算所用的方程式在文献中提供。

**参考文献：**

Katz, R.W. and M.H. Glantz, 1986: Anatomy of a rainfall index. *Monthly Weather Review*, 114:764–771。

Kraus, E.B., 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Monthly*

Weather Review, 105(8):1009–1018。

**指数名称：**标准化降水蒸散指数（SPEI）。

**易用性：**黄色。

**来源：**由西班牙萨拉戈萨比利牛斯山生态研究所的Vicente-Serrano等人开发。

**特点：**作为一个相对较新的干旱指数，SPEI以SPI为基础，但增加了温度组成部分，使得该指数可通过基本的水平衡计算，来考虑温度对干旱发展的影响。SPEI有强度范围，按照这个范围来计算正负值，以确定干湿事件。它可以计算短至1个月长至48个月或更长的时间步。每月更新使其可用于业务，而且可用资料的时间序列越长，其产生的结果也就越可靠。

**输入参数：**月降水和温度资料。一套完整的资料记录是必需的，其中不能缺失数个月的资料。

**应用：**由于与SPI一样有多种功能，SPEI可被用来确定和监测与多种干旱影响相关的条件。

**优点：**纳入温度和降水资料使得SPEI可考虑温度对干旱发展的影响。输出适用于所有气候体系，其结果是类似的，因为它们都是标准化的。由于使用了温度资料，在审视不同未来情景下模式输出中的气候变化影响时，SPEI是一个较为理想的指数。

**缺点：**对于一套完整的温度和降水数据集的需求可能会限制其使用，因为可用的资料不足。作为一个月度指数，可能无法快速识别发展迅速的旱情。

**资源：**SPEI代码是免费提供的，文献中还描述了它的计算情况，<http://sac.csic.es/spei/>。

**参考文献：** Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23:1696–1718。

**指数名称：**农业干旱基准指数（ARID）。

**易用性：**红色。

**来源：**基于密西西比州立大学Woli所做的美国东南部研究以及2011年佛罗里达大学Jones等人的研究。

**特点：**预测土壤中水汽有效率的状况。它采用水分胁迫近似值和作物模式的结合，来确定水分胁迫对植物生长、发育和特定作物的产量的影响。

**输入参数：**逐日温度和降水资料。还使用了CERES-玉米模式，但也可使用其他的作物模拟模式。

**应用：**在农业影响是首要关注重点的情况下，用于确定和预测干旱。

**优点：**实践证明在预测土壤水分和随后对作物的胁迫方面，作物模式和水平衡方法是有效的。可以进行每日计算，因此干旱的反应时间也将会很快。

**缺点：**针对美国东南部的少数几种耕作系统而进行的设计和测试。不可轻易转移。

**资源：**所使用的方程式和方法在下述文献引用文章中有所解释。无公开可用的源代码。

**参考文献：**Woli, P., J.W. Jones, K.T. Ingram and C.W. Fraisse, 2012: Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104:287–300。

**指数名称：**具体作物干旱指数（CSDI）。

**易用性：**红色。

**来源：**由Meyer等人在20世纪90年代初期在内布拉斯加 - 林肯大学开发，以检查干旱对实际作物产量的影响。

**特点：**通过计算基本的土壤水平衡，它可考虑干旱的影响，但可确定在作物生长期间发生干旱胁迫的时候以及对最终产量的整体影响。PDSI和CMI可确定影响作物的干旱条件，但不能指明对产量的可能影响。

**输入参数：**日最高温度、日最低温度、降水量、露点温度、风速和全球太阳辐射是气候输入。对于模式开发还需要土壤剖面的特征。对于生长时期、作物生长和最终产量的适当相关性，需要产量和物候资料。

**应用：**主要是为了帮助确定美国粮食主产区干旱对作物产量的影响，而且针对非常具体的作物类型进行监测。

**优点：**专门针对特定的作物以及基于植物的生长。该模式考虑了作物生长期间发生干旱胁迫的时候以及估算对最终产量的整体影响。

**缺点：**输入相当复杂，而且许多地方缺少必要的仪器或缺少适当评估条件所需的记录周期。

**资源：**文献中均详细地描述了此方法和计算结果，参见下面的参考文献。

**参考文献：**

Meyer, S.J., K.G. Hubbard and D.A. Wilhite, 1993: A Crop-specific Drought Index for corn. I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, 85:388–395。

Meyer, S.J., K.G. Hubbard and D.A. Wilhite, 1993: A Crop-specific Drought Index for corn. II. Application in drought monitoring and assessment. *Agronomy Journal*, 85:396–399。

**指数名称：**开垦干旱指数（RDI）。

**易用性：**红色。

**来源：**20世纪90年代中期美国垦务局开发了 this 干旱指数，作为启动公地抗旱应急救灾资

金的方法。

**特点：**开发的目的是定义干旱严重程度以及持续时间，也可用来预测干旱期的开始和结束。它有湿润和干燥的范围，并在河流流域层面上进行计算，与地表水供应指数（SWSI）的方法类似。RDI有水需求和温度组成部分，这可促进将蒸散量纳入指数。

**输入参数：**月降水量、积雪、水库水位、水流和温度。

**应用：**主要用于监测流域供水。

**优点：**专门针对每个流域。与SWSI不同，它涉及了温度对气候的影响。湿润和干燥范围可有利于监测湿润和干旱条件。

**缺点：**针对单个流域进行计算，所以很难进行比较。将所有的输入放入一个业务设置中可能会造成资料制作的延迟。

**资源：**下面的参考文献中提供了特点和数学运算。

**参考文献：** Weghorst, K., 1996: The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications. Bureau of Reclamation, Denver, CO.

## 7.2 土壤水分

**数名称：**土壤水分距平（SMA）。

**易用性：**黄色。

**来源：**由Bergman等人于20世纪80年代中期在美国国家气象局开发，作为评估全球干旱条件的方法。

**特点：**可在简单的水量平衡方程中使用每周或每月降水量以及潜在蒸发量的数值。它旨在反映与正常条件相比土壤的干燥度或饱和度，并显示土壤水分胁迫如何影响全世界的作物生产。

**输入参数：**每周或每月温度和降水资料以及日期和纬度。可使用土壤水分持水量的数值和具体地点的资料，尽管已包括了默认值。

**应用：**开发并广泛用于监测世界各地干旱对农业和作物生产的影响。

**优点：**通过考虑温度和降水的影响，增加了使得PDSI非常受欢迎的水量平衡方面，其有能力随特定地点资料改变常数。它审查了不同土壤层的湿度，而且比PDSI更适用于不同的位置。

**缺点：**资料需求使得计算非常困难。潜在的蒸散量估算在不同区域差异可非常大。

**资源：**文献中详细描述了输入和计算。这时没有可提供计算的程序。

**参考文献：** Bergman, K.H., P. Sabol and D. Miskus, 1988: Experimental Indices for Monitoring Global Drought Conditions. Proceedings of 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, United States Department of Commerce, Cambridge, MA.

指数名称：蒸散量亏缺指数（ETDI）。

易用性：**红色**。

来源：2004年由Narasimhan和Srinivasan根据美国德克萨斯农业实验站的研究开发。

特点：周产品，对于确定作物的水分胁迫非常有帮助。ETDI与土壤水分亏缺指数（SMDI）一起计算，其中还计算了水分胁迫比率，以便比较实际蒸散量和基准作物蒸散量。然后将水分胁迫比率与计算的长期中位数进行比较。

输入参数：利用土壤和水评估工具（SWAT）模式并根据水文模式模拟的资料最初被用于计算每周根区的土壤水分。

应用：对于确定和监测影响农业的短期干旱非常有效。

优点：分析实际和潜在蒸散量并可确定干湿期。

缺点：计算是基于SWAT模式的输出结果，但如果有了合适的输入也可以进行计算。在蒸散量最大以及降水量变化较大的夏季月份，ETDI的空间变率会有所提高。

资源：下面的参考文献中提供并详细解释了计算的内容，还有其他干旱指数的相关性研究。有关SWAT模式的信息可查询：<http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>。

参考文献：Narasimhan, B. and R. Srinivasan, 2005: Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1):69–88。

指数名称：土壤水分亏缺指数（SMDI）。

易用性：**红色**。

来源：2004年由Narasimhan和Srinivasan根据美国德克萨斯农业实验站的研究开发。

特点：在四个不同土壤深度（包括总土柱、0.61米、1.23米和1.83米）计算周土壤水分产品，其可用作短期干旱指标，特别是使用0.61米土壤层的结果。

输入参数：利用土壤和水评估工具（SWAT）模式并根据水文模式模拟的资料最初被用于计算每周根区的土壤水分。

应用：对于确定和监测影响农业的干旱非常有效。

优点：可考虑完整廓线以及不同的深度，这使其适用于不同的作物类型。

缺点：计算SMDI所需的信息是基于SWAT模式的输出结果。如果使用了所有的深度，那么会有自相关的问题。

资源：下面的参考文献中提供并详细解释了计算的内容。有关SWAT模式的信息可查询：<http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>。

参考文献：Narasimhan, B. and R. Srinivasan, 2005: Development and evaluation of Soil

Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1):69–88.

指数名称：土壤贮水量（**SWS**）。

易用性：**红色**。

来源：自农业开始以来，未知的生产商一直在试图精确地测量土壤水分。

特点：确定植物根区可用的水量，这取决于植物的类型和土壤的类型。降水量和灌溉都可影响结果。

输入参数：根系深度、土壤类型的可用蓄水能力以及最大土壤水分亏缺。

应用：主要用于监测农业环境下的干旱，但也是影响供水的干旱条件的组成部分。

优点：计算是众所周知的而且简单易懂，即使是使用默认值。一直采用这种方法来分析许多土壤和作物。

缺点：在土壤不均匀的区域，相隔较小的距离也可能发生较大的变化。

资源：下面的参考资料中提供了计算和范例。

参考文献： British Columbia Ministry of Agriculture, 2015: Soil Water Storage Capacity and Available Soil Moisture. Water Conservation Fact Sheet, [http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/agricultural-land-and-environment/soil-nutrients/600-series/619000-1\\_soil\\_water\\_storage\\_capacity.pdf](http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/agricultural-land-and-environment/soil-nutrients/600-series/619000-1_soil_water_storage_capacity.pdf).

### 7.3 水文学

指数名称：帕尔默水文干旱指数（**PHDI**）。

易用性：**黄色**。

来源：20世纪60年代帕尔默与美国气象局开发了这套指数中的部分指数。

特点：基于原始的PDSI，并进行修改以考虑长期的干燥条件，这将影响蓄水、流量和地下水。利用接收到的水分与结束干旱所需水分的比率，根据所需的降水量PHDI有能力计算干旱何时结束。干旱有四类：接近正常，发生几率约为28%–50%；轻度至中度，几率为约11%–27%；严重，发生几率约为5%–10%；极端，几率约为4%。

输入参数：月温度和降水量。可使用土壤水分持水量的资料，但还可提供默认值。需要一套完整的温度和降水资料记录。

应用：对于考虑影响较长时间尺度水资源的干旱，最有用。

优点：其水平衡方法使其能够考虑总供水系统。

缺点：频率将按区域和时间发生变化，在一年中的若干月份中极端干旱并非罕见事件。计

算中并未考虑人类活动的影响，诸如管理决策和灌溉等。

资源：下面的文献中可查询到帕尔默原始论文中的代码，<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wrcr.20342/pdf>。

参考文献：Palmer, W.C., 1965: Meteorological Drought. Research Paper No. 45. United States Weather Bureau, Washington, DC。

指数名称：标准化水库供应指数（SRSI）。

易用性：黄色。

来源：由Gusyev等人在日本开发，作为分析干旱条件下水库资料的系统性方法。

特点：与SPI类似，月资料可用于计算水库蓄水概率分布函数，以提供-3（极端干燥）到+3（极端湿润）范围内一个区域或流域的供水信息。

输入参数：每月水库流入量和平均水库蓄水量。

应用：考虑与任何特定水库系统相关的总流入量和蓄水量，并可为市政供水管理者和地方灌溉供应商提供相关信息。

优点：容易计算，因为它可利用概率分布函数的标准伽马分布来模拟SPI。

缺点：没有考虑由于管理水库造成的变化以及蒸散量造成的损失。

资源：国际水灾害和风险管理中心已将SRSI方法用于若干亚洲河流流域，<http://www.ich-arm.pwri.go.jp/>。

参考文献：Gusyev, M.A., A. Hasegawa, J. Magome, D. Kuribayashi, H. Sawano and S. Lee, 2015: Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015), Broadbeach, Queensland, Australia。

指数名称：标准化流量指数（SSDI）。

易用性：黄色。

来源：Modarres于2007年推出SSFI，而2012年Telesca等人开展了进一步的调查。在原著中，Modarres描述了SSFI与SPI是何等相似，即给定期限内的SSFI被定义为从平均值到标准偏差的流量差异。

特点：利用月流量值以及与SPI相关的正常化方法开发的。可以针对观测到的和预测到的资料进行计算，为与干旱和洪水相关的较高和较低流量时段提供展望。

输入参数：每日或每月时间尺度上的流量资料。

应用：监测多个时间尺度上的水文条件。

优点：易于使用SPI程序进行计算。单个变量输入，能够允许丢失数据，使其容易使用。

缺点：仅可涉及监测干旱情况下的水流，没有调查其他的影响。

资源：文献中有所描述，并提供了数学和案例研究。SPI程序可查询：<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>。

参考文献：

Modarres, R., 2007: Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21:223–233。

Telesca, L., M. Lovallo, I. Lopez-Moreno and S. Vicente-Serrano, 2012: Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(4):1662–1678。

指数名称：标准化水位指数（SWI）。

易用性：黄色。

来源：由印度技术研究所的Bhuiyan开发，作为评估地下水补给亏缺的方法。

特点：作为基于水文的干旱指标，它使用水井的资料以调查干旱对地下水补给造成的影响。其结果可在点之间进行内插。

输入参数：地下水井的水位。

应用：针对主要河流和溪流频繁发生季节性低流量的区域。

优点：干旱对地下水的影响是农业和市政供水的重要组成部分。

缺点：仅考虑地下水，而点之间的内插值并不代表该地区或气候体系。

参考文献：Bhuiyan, C., 2004: Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India. *Proceedings of the XXth ISPRS Conference. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey*, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/243.pdf>。

指数名称：流量干旱指数（SDI）。

易用性：黄色。

来源：该指数由Nalbantis和Tsakiris开发，基于SPI的方法和计算。

特点：使用月流量值和与SPI相关的正常化方法，开发基于流量资料的干旱指数。有了与SPI类似的输出结果，可以调查干湿期，以及其发生时的严重性。

**输入参数：**月流量值和流量计的历史时间序列。

**应用：**用于监测和确定干旱事件，同时参照特定的流量计，而这可以或不可以代表规模较大的流域。

**优点：**该程序被广泛使用且易于使用。丢失数据是允许的，而流量记录越长，其结果的准确性则越高。有了SPI，就可以检查多个不同的时间尺度。

**缺点：**单个输入（流量）不能考虑管理决策，而无流量时期可以扭曲结果。

**资源：**文献中有相关的描述，还提供了数学范例。SPI代码可查询：<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>。有关SDI的信息请参见：<http://drinc.ewra.net/>。

**参考文献：** Nalbantis, I. and G. Tsakiris, 2008: Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5):881–897。

**指数名称：**地表供水指数（**SWSI**）。

**易用性：**黄色。

**来源：**1982年，由Shafer和Dezman开发，以直接解决PDSI确定的一些局限性。

**特点：**考虑Palmer有关PDSI的工作，但增加包括供水资料在内（积雪、融雪和径流、水库资料）的额外信息，并在流域层面进行计算。SWSI可确定轻度干旱的发生频率大约为26%–50%，中度干旱的发生频率大约为14%–26%，而严重干旱的发生频率大约为2%–14%。极端干旱的发生频率大约低于2%。

**输入参数：**水库蓄水、流量、积雪和降水。

**应用：**用于确定与水文波动有关的干旱情况。

**优点：**考虑一个流域的全部水资源可很好地说明特定流域或区域的整体水文健康情况。

**缺点：**由于资料来源变化或其他的资料都包括在内，整个指数必须经过重新计算以考虑这些输入的变化，这使其难以构建均匀的时间序列。由于各流域之间的计算可能有所不同，那么就很难比较各流域或具均匀性的区域。

**资源：**下面的参考文献中提供了对计算以及对方法的解释说明。

**参考文献：**

Doesken, N.J. and D. Garen, 1991: Drought Monitoring in the Western United States using a Surface Water Supply Index. Preprints, Seventh Conference on Applied Climatology, Salt Lake City, UT. American Meteorology Society, 266–269。

Doesken, N.J., T.B. McKee and J. Kleist, 1991: Development of a Surface Water Supply Index for the Western United States. Climatology Report 91-3, Colorado Climate Center,

[http://climate.colostate.edu/pdfs/climo\\_rpt\\_91-3.pdf](http://climate.colostate.edu/pdfs/climo_rpt_91-3.pdf)。

Shafer, B.A. and L.E. Dezman, 1982: Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas. Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, CO, 164–175.

指数名称：集合干燥指数（ADI）。

易用性：红色。

来源：美国加州州立大学、Keyantash、美国加州大学伯克利分校以及2003年Dracup的工作成果。

特点：这是一个多变量区域干旱指数，其着眼于多个时间尺度和多种影响的所有水资源。开发它的目的是为了适用于统一的气候体系。

输入参数：降水量、蒸散量、流量、水库蓄水，土壤墒情和积雪含水量。只有当被计算的该区域SDI包含该变量时，才能使用这些输入。

应用：可被用于多种类型的干旱影响的情况。着眼于气候体系内的总水量可以更好地了解水资源可利用量。

优点：考虑存储的水以及源自降水的水分。

缺点：未考虑温度或地下水，其在ADI的说明中有所解释。

资源：文献中解释了方法和数学，还提供了范例。本指数没有代码。

参考文献：Keyantash, J.A. and J.A. Dracup, 2004: An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. Water Resources Research, 40:W09304, doi:10.1029/2003WR002610, [http://www.geo.oregonstate.edu/classes/ecosys\\_info/readings/2003WR002610.pdf](http://www.geo.oregonstate.edu/classes/ecosys_info/readings/2003WR002610.pdf)。

指数名称：标准融雪和雨水指数（SMRI）。

易用性：红色。

来源：开发这个指数是为了解释冻结降水以及它如何促进径流进入河流成为融雪。这项工作是由Staudinger等人完成，并在瑞士的若干流域进行了测试。

特点：利用类似于SPI的方法，SMRI可同时考虑雨雪亏缺以及对河道流量的相关影响，包括存储为降雪的降水。它被广泛用作SPI的补充指数。

输入参数：河流流量资料、日降水量和日温度资料。网格化的资料被用于SMRI的初步研究中。

**应用：**侧重于冰冻降水的影响以及存储水量对未来河流流量的贡献，该指数与监测干旱情况有关联。

**优点：**解释了积雪以及对河流流量的未来贡献，它可将所有的输入纳入一个流域。由于有能力使用温度和降水来模拟降雪，所以不需要实际降雪量。

**缺点：**在采用点资料以及更长时期的记录来调查性能时，使用网格化资料以及使用的资料只可追溯至1971年的事实是一个缺点。不使用实际降雪深度和相关的雪水当量可导致径流预测出现误差。

**资源：**文献中提供了各种方法的背景和计算内容。

**参考文献：** Staudinger, M., K. Stahl and J. Seibert, 2014: A drought index accounting for snow. *Water Resources Research*, 50:7861–7872, doi:10.1002/2013WR015143。

## 7.4 遥感

**指数名称：**增强植被指数（EVI）。

**易用性：**绿色。

**来源：**最早源自Huete以及巴西和美国亚利桑那大学的一个团队的工作，他们开发了用于评估植被条件的以中分辨率成像光谱仪（MODIS）为基础的工具。

**特点：**利用先进甚高分辨率辐射仪（AVHRR）的卫星平台进行植被监测，以计算归一化植被指数（NDVI）是非常有用的。EVI采用了一些与NDVI一样的技术，但采用了基于MODIS的卫星输入资料。EVI和NDVI都是采用MODIS平台进行计算，并分析了它们相对于AVHRR平台是如何执行的。EVI是更加针对于冠层变化、冠层类型和构架以及植物地貌。EVI可以与有关干旱的胁迫和变化相关联。

**输入参数：**基于MODIS的卫星信息。

**应用：**用于确定不同环境下与干旱相关的胁迫。主要与影响农业的干旱发生有关。

**优点：**高分辨率和所有地形的较好空间覆盖。

**缺点：**对植物冠层的胁迫可以由除干旱之外的影响造成的，并且仅采用EVI很难辨别它们。卫星资料记录的周期较短，其气候研究较为困难。

**资源：**文献中提供了方法和计算，并存在产品的在线资源，[http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php)。

**参考文献：** Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira, 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):195–213。

指数名称：蒸发压力指数（**ESI**）。

易用性：**绿色**。

来源：由Anderson带领的小组开发，其中使用遥感资料来计算美国的蒸散量。该小组由美国农业部、阿拉巴马州亨茨维尔大学和内布拉斯加 - 林肯大学的科学家组成。

特点：作为一个新的干旱指数，其中采用地球同步卫星来比较蒸散量与潜在蒸散量。分析表明其表现类似于基于降水的短期指数，但其可在更多的分辨率上执行并且不需要降水资料。

输入参数：遥感潜在蒸散量。

应用：对于确定和监测有多种影响的干旱特别有用。

优点：非常高的分辨率，而且空间上可覆盖任何区域。

缺点：云层会污染并影响结果。没有较长时期的气候研究记录。

资源：文献中提供了对该指数的计算，<http://hrs1.arsusda.gov/drought/>。

参考文献：Anderson, M.C., C. Hain, B. Wardlow, A. Pimstein, J.R. Mecikalski and W.P. Kustas, 2011: Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8):2025–2044。

指数名称：归一化植被指数（**NDVI**）。

易用性：**绿色**。

来源：开发工作由美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的Tarpley等人和Kogan完成。

特点：使用全球植被指数资料，是通过区划每日4公里辐射而制作的。在可见光和近红外两个通道测量的辐射值被用来计算NDVI。它可测量7天时期内植被的绿色度和活力，作为降低云污染的方法，还可确定与干旱有关的植被压力。

输入参数：NOAA AVHRR卫星资料。

应用：用于确定和监测影响农业的干旱。

优点：创新使用卫星资料来监测与干旱事件有关的植被健康状况。非常高的分辨率和较大的空间覆盖。

缺点：资料加工对于NDVI是至关重要的，而这个步骤需要完善的系统。卫星资料没有很长的历史。

资源：文献中说明了方法和计算。NDVI产品可在线查询：[http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php)。

参考文献：

Kogan, F.N., 1995: Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA

polar-orbiting satellite data. Bulletin of the American Meteorology Society, 76(5):655–668。

Tarpley, J.D., S.R. Schneider and R.L. Money, 1984: Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23:491–494。

**指数名称：** 温度状态指数（TCI）。

**易用性：** 绿色。

**来源：** 根据美国NOAA的Kogan的工作开发。

**特点：** 利用AVHRR热波段，TCI被用于确定由温度和过剩湿度造成的植被胁迫。可估算相对于最大和最小温度的各种条件，并对其进行修改以反映不同植被对温度的反应。

**输入参数：** AVHRR卫星资料。

**应用：** 在农业影响是主要问题的条件下，与NDVI和植被状态指数（VCI）一同使用，开展植被的干旱评估。

**优点：** 高分辨率和良好的空间覆盖。

**缺点：** 潜在的云污染以及记录期较短。

**资源：** 文献中提供了方法和计算，并存在产品的在线资源，[http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php)。

**参考文献：** Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Advances in Space Research, 15(11):91–100。

**指数名称：** 植被状态指数（VCI）

**易用性：** 绿色。

**来源：** 根据美国NOAA的Kogan的工作开发。

**特点：** 利用AVHRR热波段，VCI被用于确定干旱状况并确定开始时间，特别是在干旱事件是局部并且不明确的地区。它侧重于干旱对植被的影响，并可通过指明植被变化以及与历史值进行比较，提供有关干旱开始、持续时间和严重程度的信息。

**输入参数：** AVHRR卫星资料。

**应用：** 在干旱条件影响农业的情况下，与NDVI和TCI一起使用，开展植被评估。

**优点：** 高分辨率和良好的空间覆盖。

**缺点：** 潜在的云污染以及记录期较短。

**资源：** 文献中提供了方法和计算，并存在产品的在线资源，[http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php)。

**参考文献:**

Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11):91–100。

Liu, W.T. and F.N. Kogan, 1996: Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*, 17(14):2761–2782。

**指数名称:** 植被干旱响应指数 (VegDRI)。

**易用性:** 绿色。

**来源:** 由NDMC、美国地质调查局的地球资源观测和科学中心、以及美国地质调查局弗拉格斯塔夫外场中心的一组科学家开发。

**特点:** 开发作为一个干旱指数，旨在结合利用遥感、基于气候的指标以及其他的生物物理信息和土地利用资料，监测干旱引发的植被胁迫。

**输入参数:** SPI、PDSI、年度季节性绿色百分比、季节距平的开始、土地覆盖、土壤有效含水量、农业灌溉和生态定义区域。由于一些输入是推导而得出的变量，因而还需要额外的输入。

**应用:** 主要用作针对农业应用的短期干旱指标。

**优点:** 一项创新和综合技术，利用地表和遥感资料以及技术进步进行数据挖掘。

**缺点:** 由于是遥感资料，故记录期较短。对于过季或植被较少或无植被的时期没有用。

**资源:** 下面的文献中提供了使用的方法以及有关计算内容的介绍。还可参见<http://vegdrv.unl.edu/>。

**参考文献:** Brown, J.F., B.D. Wardlow, T. Tadesse, M.J. Hayes and B.C. Reed, 2008: The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): a new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45:16–46。

**指数名称:** 植被健康指数 (VHI)。

**易用性:** 绿色。

**来源:** 根据美国NOAA的Kogan的工作开发。

**特点:** 其中的第一项尝试是利用遥感资料来监测和确定与干旱相关的农业影响。在可见光、红外线和近红外通道的AVHRR资料都可用来确定和分类由于干旱造成的植被胁迫。

**输入参数:** AVHRR卫星资料。

**应用:** 用于确定和监测影响全世界农业的干旱。

**优点:** 以高分辨率覆盖全球。

缺点：卫星资料的记录期较短。

资源：文献中提供了计算和案例研究。可在线查询VHI地图：[http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh\\_browse.php](http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php)。

参考文献：

Kogan, F.N., 1990: Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11:1405–1419。

Kogan, F.N., 1997: Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:621–636。

Kogan, F.N., 2001: Operational space technology for global vegetation assessments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9):1949–1964。

指数名称：需水满意度指数（**WRSI**）和地理空间**WRSI**。

易用性：绿色。

来源：由联合国粮食和农业组织开发，用于监测和调查世界上易发生饥荒地区的作物生产。其他的工作由饥荒预警系统网络完成。

特点：用于监测生长季节的作物状况并基于作物可用的水量。这是实际蒸散量与潜在蒸散量的比率。这些比率是针对具体的作物，并且基于作物生长和基于产量和干旱胁迫之间已知的关系。

输入参数：作物生长模式、作物系数和卫星资料。

应用：用于监测作物的生长进度以及与农业相关的胁迫。

优点：高分辨率而且在所有地形的空间覆盖都较好。

缺点：与除了可用水之外因素相关的胁迫可影响结果。基于卫星的降雨估算有一定程度的误差，这将影响所使用作物模式的结果以及蒸散量的平衡。

资源：

<http://chg.geog.ucsb.edu/tools/geowrsi/index.html>

[http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/usgs/adds/wrsi/WRSI\\_readme.pdf](http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/usgs/adds/wrsi/WRSI_readme.pdf)

参考文献：Verdin, J. and R. Klaver, 2002: Grid - cell - based crop water accounting for the famine early warning system. *Hydrological Processes*, 16(8):1617–1630。

指数名称：归一化水指数（**NDWI**）与地表水体指数（**SWI**）。

易用性：绿色。

来源：根据美国国家航空和航天局（NASA）戈达德航天中心Gao于90年代中期开展的工

作而开发。

**特点：**与NDVI方法非常类似，但其使用近红外通道来监测植被冠层的水含量。植被冠层的变化被用来确定干旱胁迫的期间。

**输入参数：**近红外光谱各个通道的卫星信息。

**应用：**用于监测影响农业的干旱，作为胁迫探测的方法。

**优点：**高分辨率而且在所有地形的空间覆盖都较好。与NDVI不同，因为两个指数侧重于不同的信号。

**缺点：**植被冠层的胁迫可以由除干旱之外的影响造成的，而且仅使用NDWI难以进行辨别。卫星资料的记录期较短，而气候研究也非常困难。

**资源：**文献中介绍了方法，而计算是基于所使用的MODIS资料，<http://www.eomf.ou.edu/modis/visualization/>。

**参考文献：**

Chandrasekar, K., M.V.R. Sessa Sai, P.S. Roy and R.S. Dwevedi, 2010: Land Surface Water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *International Journal of Remote Sensing*, 31:3987–4005。

Gao, B.C., 1996: NDWI—a Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3):257–266。

注：NDVI的概念和计算与地表水指数（LSWI）的非常相似。

**指数名称：**土壤调节植被指数（SAVI）。

**易用性：**红色。

**来源：**20世纪80年代末，由美国亚利桑那州大学的Huete开发。当时的想法是开发一个全球模式根据遥感资料来监测土壤和植被。

**特点：**SAVI与NDVI相似 – 土壤的变化是归一化的并且不影响植被冠层的测量，可能以这种方式来校准光谱指数。对NDVI的加强是有效的，因为SAVI可解释土壤的变化。

**输入参数：**遥感资料，然后将其与已知表面地块各种植被进行比较。

**应用：**对于监测土壤和植被是有用的。

**优点：**与遥感资料相关的高分辨率和高密度资料有利于非常好的空间覆盖。

**缺点：**计算是复杂的，获得资料进行业务运行也是如此。与卫星资料相关的较短记录期会阻碍气候分析。

**资源：**文献中很好地解释了方法和相关的计算。

**参考文献：** Huete, A.R., 1988: A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3):295–309。

## 7.5 综合或模拟

指数名称：综合干旱指标（**CDI**）。

易用性：**绿色**。

来源：由欧洲干旱观象台的Sepulcre-Canto等人开发，作为欧洲的干旱指数，其中结合了SPI、SMA和吸收光合有效辐射（fAPAR）函数作为影响农业的干旱指标。

特点：通过调查三个干旱指标：SPI、土壤水分和遥感植被资料，由三个预警级别组成（监视、预警和警报）。监视是指发生降水不足，当降水不足转化为土壤水分不足就达到了预警级别，而当降水和土壤水分亏缺转化为对植被的影响时就可发布预警。

输入参数：SPI是根据整个欧洲基于台站的降水资料计算而来，在这种情况下，使用了三个月的SPI。土壤水分资料是根据LISFLOOD模式获得的，而fAPAR来自欧洲航天局。

应用：作为具有农业影响的干旱指标。

优点：结合使用遥感资料和地表资料，其空间覆盖较好，而且分辨率很高。

缺点：在所有情况下都使用单一的SPI值可能不是最佳选择，而且不能代表不同季节的条件。很难复制，而且目前不适用于欧洲以外的地区。

资源：由欧洲委员会联合研究中心内的欧洲干旱观象台承办和维护，<http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>。

参考文献：Sepulcre-Canto, G., S. Horion, A. Singleton, H. Carrao and J. Vogt, 2012: Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 12:3519–3531。

指数名称：全球干旱综合监测和预报系统（**GIDMaPS**）。

易用性：**绿色**。

来源：由美国加州大学欧文分校的Hao等人开展的工作开发，作为监测和预测全球干旱的系统。

特点：为SPI、土壤水分和多元化标准干旱指数（MSDI）提供干旱信息。GIDMaPS还可使用卫星资料并结合资料同化工具。该产品是基于网格近实时制作的，并可结合监测和预测，作为监测、评估和预测具有多种影响干旱的方法。

输入参数：使用一种算法，其中结合了遥感资料和全球陆地资料同化系统（GLDAS）指数以制作三个干旱指数和季节预测的输出结果。

应用：通过制作SPI、MSDI和标准化土壤水分指数的数值，可用于监测和预测。可用于农业和其他行业。

优点：网格和全球资料可很好地代表所有地区。有了湿润和干旱范围，GIDMaPS可用于监测干旱及其它的要素。对于缺乏良好地表观测及较长记录期的地区，这非常好。不需要来

自用户的输入进行计算时，相对比较容易使用它。

**缺点：** 网格大小不能平等地代表所有区域和气候体系。当考虑气候应用时，可以追溯到1980年的记录期非常短。为了进行修改，需要获得代码和输入。

**资源：** 文献中很好地解释了这个过程，而且也有在线资源和地图，<http://drought.eng.uci.edu/>。

**参考文献：** Hao, Z., A. AghaKouchak, N. Nakhjiri and A. Farahmand, 2014: Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*, 1:1–10。

**指数名称：** 全球陆地资料同化系统（**GDAS**）。

**易用性：** 绿色。

**来源：** Rodell牵头开展了这项工作，其中美国NASA和NOAA的科学家也参与了。

**特点：** 使用地表和遥感资料的系统以及陆表模式和资料同化技术以提供有关陆地条件的资料。输出结果包括土壤水分特点，这是很好的干旱指标。

**输入参数：** 陆表模式、基于地表的气象观测、植被分类和卫星资料。

**应用：** 基于当前的条件，它对于确定河流和流量预估以及径流的组成部分有用；对于监测有多种影响的干旱非常理想。

**优点：** 因为它是全球性的本质以及分辨率很高，它可代表大部分地区。对于监测资料匮乏地区干旱的发展是很有效的。

**缺点：** 对于岛国来说，网格的尺度并不够精细。资料同化过程仅可代表那些缺乏近实时地表观测的地区。

**资源：** 文献中很好地介绍了方法和输入。输出结果可在线获取。

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nldas-north-american-land-data-assimilation-system-monthly-climatologies>

<http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas/>

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/services/grads-gds/gldas>

**参考文献：**

Mitchell, K., D. Lohman, P. Houser, E. Wood, J. Schaake, A. Robock, B. Cosgrove, J. Sheffield, Q. Duan, L. Luo, R. Higgins, R. Pinker, J. Tarpley, D. Lettenmaier, C. Marshall, J. Entin, M. Pan, W. Shi, V. Koren, J. Meng, B. Ramsay and A. Bailey, 2004: The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modelling system. *Journal of Geophysical Research*, 109:D07S90, doi:10.1029/2003JD003823。

Rodell, M., P. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. Entin, J. Walker, D. Lohmann and D. Toll, 2004: The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3):381–394。

Xia, Y., K. Mitchell, M. Ek, J. Sheffield, B. Cosgrove, E. Wood, L. Luo, C. Alonge, H. Wei, J. Meng, B. Livneh, D. Lettenmaier, V. Koren, Q. Duan, K. Mo, Y. Fan and D. Mocko, 2012: Continental-scale water and energy flux analysis and validation for the North American Land Data Assimilation System project phase 2 (NLDAS-2): 1. Intercomparison and application of model products. *Journal of Geophysical Research*, 117:D03109, doi:10.1029/2011JD016048。

指数名称：多元化标准干旱指数（MSDI）。

易用性：绿色。

来源：由美国加州大学欧文分校的Hao和AghaKouchak开发。

特点：使用降水和土壤水分信息，通过调查降水和土壤水分亏缺，以确定和分类干旱事件。这对于确定干旱事件非常有用，而典型的基于降水指数或基于土壤水分的指数可能不能指明干旱的存在。

输入参数：现代时代回顾性分析（MERRA）-陆地系统中需要月降水量和土壤水分资料。从20世纪80年代起可根据 $0.66^\circ \times 0.50^\circ$ 网格来制作MERRA-Land陆地系统。

应用：当降水量和土壤水分是重要的影响因素时，在这种情况下，这对于确定和监测干旱非常有用。

优点：网格和全球资料可很好地代表所有地区。有了湿润和干旱范围，它可用于监测干旱及其它的要素。对于缺乏良好地表观测及较长记录期的地区，这非常好。不需要来自用户的输入进行计算时，相对比较容易使用它。各个指标可以根据MSDI输出而获得。

缺点：网格大小不能平等地代表所有区域和气候体系。当考虑气候应用时，可以追溯到1980年的记录期非常短。为了进行修改，需要获得代码和输入。不是所有的时间尺度都是针对SPI和标准化土壤水分指数输出而制作的。

资源：文献中很好地解释了这个过程，而且也有在线资源和地图，<http://drought.eng.uci.edu/>。

参考文献：Hao, Z. and A. AghaKouchak, 2013: Multivariate Standardized Drought Index: a multi-index parametric approach for drought analysis. *Advances in Water Resources*, 57:12–18.

**指标名称：**美国干旱监测（**USDM**）。

**易用性：**绿色。

**来源：**20世纪90年代末，由Svoboda等人开发，利用多种指标和输入的结果并基于当前资料与历史条件的比较来分析干旱条件。这项工作是为了美国的首个业务“综合”方法。

**特点：**采用百分位排名的方法，其中可等效地比较多个记录时期的指数和指标。它有五个强度等级，从每三到五年将发生一次的特别干燥条件，到每50年可能发生一次的异常干旱条件。它很灵活，可使用任何数量的输入，而且它有一定水平的主观性使其能够将干旱相关的影响纳入分析中。

**输入参数：**灵活，因为没有设定指标的数量。最初，只使用了少数几个输入；目前，USDM的建设涉及对40-50个输入的分析。干旱指数、土壤水分、水文输入、气候输入、模拟输入和遥感投入都包含在分析中。随着新指标的开发，USDM非常灵活也可将它们纳入其中。

**应用：**对于监测有多种影响的干旱是理想的选择，特别是对所有气候系统在所有季节中农业和水资源有影响的干旱。它是每周一次的产品，但也可适于每月分析。

**优点：**使用多个指数和指标，这使得最终结果非常可靠。它很灵活，可满足各种用户的需求。在确定干旱和分类强度的方式方面是革命性的，而且它有能力利用百分位排名方法分析各种时间尺度上的资料。

**缺点：**需要业务资料，因为当完成分析时多数现有的输入将提供最好的结果。如果只有几个输入可用，USDM分析变弱，但它仍然适用。

**资源：**文献和在线都很好地解释该方法：<http://droughtmonitor.unl.edu/>。

**参考文献：**Svoboda, M., D. Lecomte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus and S. Stephens, 2002: The drought monitor. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8):1181–1190。

## 附件: 调查结果

每隔四年，WMO农业气象学委员会都会向国家气象水文部门（NMHS）发出一份请求，要求其填写国家农业气象进展报告的调查表。在最近的一次调查中（2010-2014年），其中的一个问题是要求NMHS列出该部门和/或国家/地区当前使用的干旱指数。表2提供了根据调查得出的干旱指标的初步清单。请注意，该表虽未包括所有的在用干旱指数，但它也很好地代表了目前正在使用和/或可用的干旱指数。调查的确切指导说明是：“请列出贵部门最常用的五个干旱指数”。

表2. 根据调查得出的干旱指数的初步清单

国家/地区	干旱指数
阿根廷	标准化降水指数；五分位数；土壤氢气平衡；发生概率；最长无降水日数
奥地利	标准化降水指数；降雨十分位数
白俄罗斯	农作物生产力模式；Shashko水分指数；Protserova水分测量；土壤水分储备量；每月相对湿度 $\leq 30\%$ 的日数
比利时	气象干旱；降水量不足
伯利兹	标准化降水指数
波斯尼亚和黑塞哥维那	标准化降水指数；水热系数（Selyaninov）；干燥指数；帕尔默旱度指数；正常降水率；基准蒸散量；土壤水分平衡
巴西	标准化降水指数；帕尔默旱度指数；标准化蒸散指数；作物水分指数；十分位数和五分位数；具体的作物干旱指数
保加利亚	土壤水分指数；干燥指数；Thorntwaite指数；标准化降水指数；帕尔默干旱指数；Selyaninov水热系数
加拿大	标准化降水指数；植被干旱响应指数；降水异常；帕尔默旱度指数；测试模式中使用的混合指数
智利	标准化降水指数；标定的差分植被指数；正常降水量的百分比
中国	作物水分亏缺指数；土壤水分指数；降水异常指数
科特迪瓦	水量要求满意度指数；水量平衡
克罗地亚	标准化降水指数；监测干/湿条件和提前7天预测；累计降雨量；Walter图；月温度和降水距平
塞浦路斯	标准化降水指数；Bhalme-Mooley干旱强度指数
捷克共和国	农业气象干旱；实际和潜在蒸散量以及利用业务水平衡模式进行土壤水分模拟；气候水平衡；相比正常值的降水量百分比；水文措施（例如，流量和水库水位）
刚果民主共和国	正常降水量的百分比
多米尼加共和国	标准化降水指数
德国	标准化降水指数；标准化温度指数；气候水平衡；用不同深度土壤田间持水量与植物可用水分关系表示的土壤水分
希腊	标准化降水指数；帕尔默旱度指数；开垦干旱指数；Palfai干旱指数

中国香港	标准化降水指数
伊朗伊斯兰共和国	按日计算：有效干旱指数、干燥指数、十分位数、正常降水百分比；按周计算：温度条件指数、植被条件指数、植被健康指数；按月计算：标准化降水指数、开垦干旱指数
以色列	标准化降水指数；平均降水量比率
牙买加	标准化降水指数；30年平均值在两个月的百分比
约旦	标准化降水指数；干燥指数
哈萨克斯坦	Selyaninov水热系数；标准化降水指数
利比亚	标准化降水指数
立陶宛	Selyaninov水热系数；标准化降水指数
新西兰	土壤水分不足的日数；标准化降水指数；潜在蒸散量不足的深度；降雨十分位数和距平；干旱空间评估
巴基斯坦	标准化降水指数；正常量百分比；距平百分率；标定的差分植被指数；地表温度
秘鲁	帕尔默旱度指数；标准化降水指数；标准化径流指数；标准化降水蒸散量指数
俄罗斯联邦	月降水量与温度总和的比例；降水量与年平均空气湿度不足的比例；一个时期内油水储量与同一时期空气水分不足总和的比例（乘以0.375）；相对湿度低于30%的天数；最高气温高于25 °C的天数；0-20、0-50 和0-100 厘米土壤层的土壤水分储存量；异常天气条件的总和；平均气温的偏差；降水量总和以及根据规范1米土壤层处的水储存量
斯洛文尼亚	降水距平；标准化降水指数；累计气象水平衡；十年干旱压力指数、连续干旱天数
西班牙	标准化降水指数；土壤水分含量（根据土壤水量平衡模式的土壤持水量百分比计算的可用水量）
斯里兰卡	标准化降水指数
瑞士	标准化降水指数；标准化降水蒸散量指数；降水距平；农业基准干旱指数
泰国	水汽可用指数；标准化降水指数
前南斯拉夫马其顿共和国	标准化降水指数；十分位数；帕尔默旱度指数；干燥指数；Lang指数
特立尼达和多巴哥	标准化降水指数；帕尔默旱度指数；
土耳其	标准化降水指数；正常指数的百分比；帕尔默旱度指数；
乌克兰	Selyaninov水热系数；Protserov湿度供应系数；Ped干燥指数；Bagrov气象生产力指数；标准化降水指数
坦桑尼亚联合共和国	标准化降水指数；正常降水量的百分比
美国	标准化降水指数；帕尔默旱度指数；作物水分指标；地表水供应指标；正常降水量的百分比
乌兹别克斯坦	温度高于40 °C的天数；干燥指数（年降水量，毫米/年）；生长季节（4月-9月）提供径流量；累计降雪量；土壤水分减少高达4毫米以下

## 参考书目

本节包含了第1-6章引用的所有出版物或是编写本手册框架所使用的所有出版物。针对每个指数/指标的具体出版物可在第7章指数/指标汇总的参考文献部分找到。

- Eriyagama, N., V. Smakhtin and N. Gamage, 2009: *Mapping Drought Patterns and Impacts: a Global Perspective*. IWMI Research Report No. 133. Colombo, International Water Management Institute, [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/PUB133/RR133.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB133/RR133.pdf).
- Hayes, M.J., 2011: *Comparison of Major Drought Indices: Introduction*. National Drought Mitigation Center, <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.
- Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall and M. Widhalm, 2011: The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92:485–488.
- Heim, R.R., 2002: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1149–1165.
- Hisdal, H. and L.M. Tallaksen (eds.), 2000: *Drought Event Definition*. Technical Report 6 of the ARIDE Project, Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, Department of Geophysics, University of Oslo, Norway.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Special Report of Working Groups I and II of the IPCC (C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor and P.M. Midgley, eds.). Cambridge and New York, Cambridge University Press.
- Keyantash, J. and J.A. Dracup, 2002: The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1167–1180.
- Lawrimore, J., R.R. Heim, M. Svoboda, V. Swail and P.J. Englehart, 2002: Beginning a new era of drought monitoring across North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1191–1192.
- Lloyd-Hughes, B., 2014: The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(3):607–611, doi:10.1007/s00704-013-1025-7.
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–23 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- Mishra, A.K. and V.P. Singh, 2010: A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391:202–216.
- Mishra, A.K. and V.P. Singh, 2011: Drought modeling. A review. *Journal of Hydrology*, 403:157–175.
- Pulwarty, R.S. and M. Sivakumar, 2014: Information systems in a changing climate: early warnings and drought risk management. *Weather and Climate Extremes*, 3:14–21.
- Sivakumar, M.V.K., R.P. Motha, D.A. Wilhite and D.A. Wood (eds.), 2011: *Agricultural Drought Indices*. Proceedings of a WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, Murcia, Spain, 2–4 June 2010 (AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011). Geneva, [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_agricultural\\_drought\\_indices\\_proceedings\\_2010.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_agricultural_drought_indices_proceedings_2010.pdf).
- Svoboda, M., B.A. Fuchs, C. Poulsen and J.R. Nothwehr, 2015: The drought risk atlas: enhancing decision support for drought risk management in the United States. *Journal of Hydrology*, 526:274–286, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.01.006.
- Svoboda, M., D. LeComte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus and S. Stephens, 2002: The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1181–1190.
- Wardlow, B.D., M.C. Anderson and J.P. Verdin (eds.), 2012: *Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Wilhite, D. and M. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10:111–120.
- World Meteorological Organization, 2006: *Drought Monitoring and Early Warning: Concepts, Progress and Future Challenges* (WMO-No. 1006), Geneva, [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_drought\\_monitoring\\_early\\_warning\\_2006.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_2006.pdf).
- , 2012: *Standardized Precipitation Index User Guide* (WMO-No.1090), Geneva, [http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO\\_standardized\\_precipitation\\_index\\_user\\_guide\\_en\\_2012.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf).
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2014: *National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action* (D.A. Wilhite). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, and GWP, Stockholm, [http://www.droughtmanagement.info/literature/IDMP\\_NDMPG\\_en.pdf](http://www.droughtmanagement.info/literature/IDMP_NDMPG_en.pdf).

World Meteorological Organization (WMO), United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013: *High Level Meeting on National Drought Policy*, Geneva, 11–15 March 2013. Policy Document: National Drought Management Policy. Geneva, [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/hmndp/documents/PolicyDocumentRev\\_12-2013\\_En.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/hmndp/documents/PolicyDocumentRev_12-2013_En.pdf).

Zargar, A., R. Sadiq, B. Naser and F.I. Khan, 2011: A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19:333–349.

在2013年3月的国家干旱政策高级别会议上，世界气象组织及全球水伙伴组织联合启动了干旱综合管理计划（IDMP）。IDMP与广泛的合作伙伴开展合作，旨在支持各个层面的利益攸关方。通过在全球范围内协调制作科学信息并共享综合干旱管理的最佳做法和知识，IDMP可为其合作伙伴提供政策和管理方面的指导。IDMP可促进全球气候服务框架（GFCS），特别是在减轻灾害风险、水、农业和粮食安全、能源和卫生等GFCS优先领域方面。IDMP特别致力于支持各地区和各国制定更加积极主动的干旱政策和更好的预测机制。这本手册有助于实现这一目标。

[www.droughtmanagement.info](http://www.droughtmanagement.info)



世界气象组织



Global Water  
Partnership

Towards a water secure world

欲了解更多信息请联系:

**世界气象组织**

宣传及公共事务办公室

电话: +41 (0) 22 730 83 14/15 – 传真: +41 (0) 22 730 80 27

电子邮件: [cpa@wmo.int](mailto:cpa@wmo.int)

干旱综合管理计划技术支持部门

由气候和水司转交

电话: +41 (0) 22 730 83 05 – 传真: +41 (0) 22 730 80 42

电子邮件: [idmp@wmo.int](mailto:idmp@wmo.int)

**public.wmo.int**

全球水伙伴组织全球秘书处

PO Box 24177, SE-104 51 Stockholm, Sweden

电话: +46 8 1213 86 00 – 电子邮件: [gwp@gwp.org](mailto:gwp@gwp.org)