企業水資源管理新指標—水足跡

周嫦娥*、李繼宇**、林惠芬***、阮香蘭****

摘　要

水是維持人類生命與社會經濟發展的重要自然資源。然而，可利用的淡水資源十分稀少，近年來經濟、人口成長帶動用水需求快速增加，加上環境破壞與氣候變遷等因素，使得水資源供給問題日趨惡化。近期發展出來的水足跡是淡水資源使用的一種指標，可衡量消費者或生產者對淡水資源的直接和間接使用。水足跡包括藍水足跡、綠水足跡及灰水足跡。藍水足跡爲地面水和地下水之使用量，綠水足跡爲土壤中雨水的用量,灰水足跡指將廢污水稀釋至符合周邊水質標準所需的淡水水量。由此可知，水足跡衡量水資源耗用和水污染狀況，係從生態觀點描述消費者或生產者淡水資源之使用訊息。水足跡被認爲是提供國家和企業水資源管理資訊的有效工具，在國際社會上漸受重視。本文簡介水足跡的發展沿革與基本概念，繼而整國際組織推動水足跡的現況，以及國際大型企業推展和應用水足跡的案例，並介紹水足跡的評估步驟，最後說明國內水足跡的推動概況。

【關鍵字】水足跡、生態足跡、碳足跡、虛擬水資源、用水風險管理

*財團法人台灣經濟研究院　顧問

**美國密西根州立大學農業經濟所　博士生

***經濟部水利署　正工程司

****經濟部水利署　科長

一、前言

水資源對人類生存和發展以及地球整體生態的重要性不言可喻，然而水資源雖覆蓋了約七成的地球表面，卻因淡水資源稀少，用水量快速成長以及氣候變遷等因素，有越來越多的地區或國家正面臨日益惡化的長期性缺水問題，聯合國甚至預言部分地區將因爲搶水而導致戰爭。

水資源是經濟發展的重要關鍵，也是生產所需的基本生產要素。然而，氣候變遷改變了水文條件，使水量和水質成爲全球性亟待解決的重要議題。此種壓力直接衝擊企業的生產活動外，亦影響企業的獲利能力，因此，投資者、股東、環保團體等利益關係人對於企業如何管理其水資源風險等資訊的需求隨之增加。

爲因應此一問題，許多國際組織強調水資源資訊對企業與利益關係人的重要性[1,2]。例如，經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)和世界企業永續發展委員會（World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)等組織公佈多種用水統計指標或工具供企業參考運用。針對淡水資源部分，Hosketra 和 Hung 於 2002 年所發展的水足跡概念成爲近年來日益重要之用水指標。水足跡可呈現消費和生產商品所需要的水資源量以及污染水資源的程度，且可提供水資源管理者用水時間和空間資訊，已然成爲企業積極發展的重要指標。除了聯合國等多個重要國際組織皆在積極推動外，更有許多跨國性大型企業完成估算水足跡的案例，並有多家跨國企業運用水足跡做爲產品供應鏈風險管理或生產區位決策，甚至投入水足跡估算方法的研發。

由於企業水足跡的計算往往涉及上游供應鏈，以外銷爲導向的我國企業自不能忽視此一風潮。本文主要目的在於介紹水足跡的重要概念和估算原則，另由於水足跡對國內各界來說相對陌生，故本文以較大篇幅說明國際組織推動水足跡發展的現況，以及國際企業估算和應用水足跡的案例經驗，以提供國內企業此重要發展趨勢的訊息。

二、由生態足跡至水足跡

有鑑於人類開採與消耗自然資源造成的環境污染與資源耗竭問題，聯合國世界環境與發展委員會[3]發表「Our Common Future」一書，強調人類對自然資源的使用不應超過環境負荷的「永續發展」觀念。其後爲衡量人類活動的永續性，多種指標相繼被提出，其中 1997 年時 Wackernagel 與 Rees 等人首先提出「生態足跡」指標，以量化方式衡量人類對自然環境的依賴程度[4]。

生態足跡的基本概念乃是將人類對自然環境的各種消費轉換成共通的土地與水域面積，生態足跡愈大表示人類活動對生態的壓力愈大。人類對自然資源的使用一旦超過特定時間點自然資本（natural capital）之孳息，則表示超限利用自然環境[4,5,6]。

生態足跡強調提供服務之土地的利用方式須有永續性，所計算者乃是永續利用下所需的面積當量，而非單純的土地利用面積。Wackernagel 等人所建議的生態足跡基本計算概念爲[6]：滿足特定產品或服務的生態足跡，等於該產品或服務的消費量乘上生產一單位該產品所需之土地面積。滿足前述需求的土地需以具有永續性之方式生產或利用，否則即需以相關參數進行調整[5,6,7,8]。由此可知，前述「用地面積」並非以「實際的使用面積」爲限，而是一種虛擬化的土地使用。以糧食用地爲例，爲滿足現有人類糧食消費量，若所有糧食生產皆在永續方式下進行，其所需的面積即爲全球之糧食生態足跡。

由於生態足跡概念簡單易懂，同時能具體呈現環境負荷與環境涵容能力的差距，此觀念提出後廣泛被討論，更衍生出如「碳足跡（carbon footprint）」與「水足跡」等概念相似的指標。

碳足跡的概念雖衍生自生態足跡中有關能源消耗之計算，但當前此一名詞的概念已與原本生態足跡的概念不同[9]。目前，碳足跡一詞多指計算產品、生產活動或社經活動排放的溫室氣體之二氧化碳當量。然而在生態足跡當中，其處理二氧化碳問題乃是推算以永續方式吸納碳排放所需用地（例如，森林用地）面積。換言之，計算生態足跡中之碳排放相關足跡時，需進一步考慮如何以永續方式將碳排放加以處理，並以永續利用土地面積作爲計算單位。與生態足跡相較，碳足跡的計算僅能

觀察溫室氣體排放本身對環境造成的壓力，亦即僅計算環境負荷之實體物理當量，未能進一步將之轉換爲生態生產力土地面積，以觀察對環境永續性造成的壓力。

碳足跡所考慮的範疇與生態足跡也有所差異。Wackernagel & Rees[4]所提出的生態足跡架構中，大多只能計算產品生產活動當下的環境負荷，較少著墨構成該產品之各項中間投入的生態足跡計算。而 Bicknell 等人[10]及 Ferng[7]等人所提出的 top-down 計算方法，雖然向上考慮了中間投入的環境負荷，卻無法向下考慮產品使用時與使用後所造成的環境負荷。相較下，現行碳足跡的計算方法強調「從搖籃到墳墓」的生命週期概念，其考量範圍較之先前生態足跡的計算架構更爲完整。

水足跡的概念與生態足跡和碳足跡的概念相似，旨在衡量人類用水需求對環境造成的負荷。水足跡一詞是由 Arjen Y. Hoekstra 於 2002 年提出，其概念近似於 Anthony Allan 在 1993[11]年所提出的「虛擬水資源（virtual water）」，而「虛擬水資源」則是由「具涵水資源（embedded water）」衍生而來[11,12]。Allan 與 Fishelson 都曾在 1990 年代初期使用「具涵水資源」一詞。Fishelson 所稱之具涵水資源乃指隱含在出口商品中之水資源[12]，Allan 則延伸其意涵，定義虛擬水資源爲：用於生產國際貿易產品的水資源。Allan 並認爲一個國家或地區往往可藉由國際貿易輸入虛擬水量解決國內水資源不足的問題。

水足跡於 2002 年被提出之後，旋即受到國際社會的重視，預計水足跡將和碳足跡一樣成爲產品的重要環境資訊標示。然而，水足跡發展較晚，各界對其概念較爲陌生，因此，本文將於下一節介紹水足跡之基本概念。

三、水足跡之基本概念

根據水足跡網絡（Water Footprint Network, WFN）2009 年公佈的「水足跡手冊」（Water Footprint Manual）[13]，水足跡是淡水資源使用的一種指標，指的是消費者或生產者對淡水資源的直接和間接使用，其所衡量者爲消耗性用水量（consumptive water use）而不是傳統的取水量（water withdrawal）。

以棉質襯衫爲例，棉質襯衫生產階段之直接用水不多，而其間接用水乃指由棉花種植、採收、紡織至染整等製成棉布之生產步驟的水資源使用。和直接用水相較，

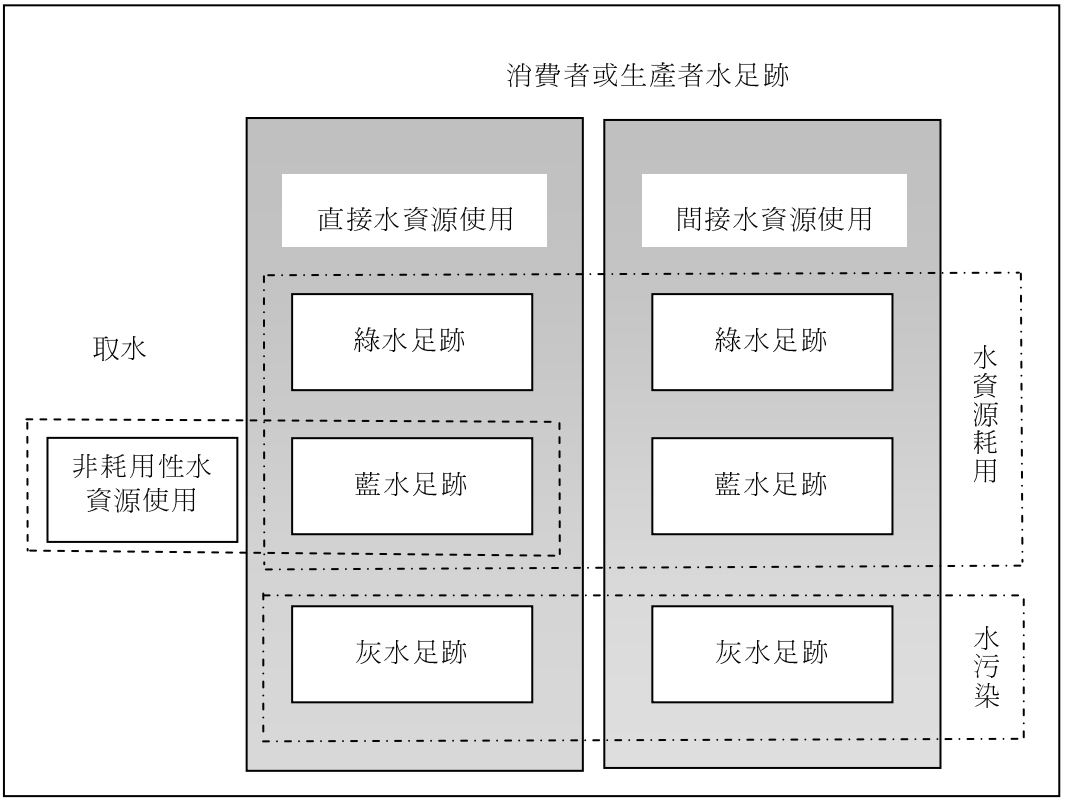
棉質襯衫的間接用水量大出甚多。棉質襯衫的生產有不同階段，各生產階段和最終消費可能發生在不同地點，對水資源使用有不同影響。例如，台灣並不生產棉花，可能從中國、印度等地進口原棉，製成棉質襯衫，再出口至歐美等地。而不同地區的水資源供需壓力又各不相同，因此，棉質襯衫的消費對全球水資源的影響必須由供應鏈追溯至原產地才能進行完整之評估。簡言之，水足跡即由最終消費者、流通、製造和貿易等歷程估計直接和間接用水者的用水量。

水足跡和碳足跡不同的是，碳足跡僅衡量產品生命週期的二氧化碳排放當量，水足跡衡量水資源的使用狀況外，也考慮將水污染稀釋到適當水質標準的用水需求。因此，碳足跡僅單純涉及污染問題，水足跡則同時考慮污染和資源使用雙重問題。

WFN 的水足跡手冊將水資源分爲藍水、綠水和灰水三類。藍水是指地面水和地下水；綠水爲蘊藏在土壤中的雨水；灰水爲使用過後被污染的廢污水。因此，水足跡包括藍水足跡、綠水足跡及灰水足跡。藍水足跡爲地面水和地下水之使用量，綠水足跡爲土壤中雨水的用量（主要存在於農林產品中），灰水足跡指在現有水質標準下，吸收污染物所需的淡水水量，或將污水稀釋至符合周邊水質標準所需的淡水水量。由此可知，水足跡衡量水資源耗用和水污染狀況，係從生態觀點描述消費者或生產者淡水資源之使用訊息。前述水足跡範疇與藍水、綠水、灰水概念架構可參見圖 1。

由於包含間接用水，透過水足跡衡量某一產品之消費或生產活動所得的用水量比一般認知高出許多，例如，沖泡一杯 250cc 的咖啡之直接用水略高於 250cc，但若加上由咖啡樹至咖啡豆烘焙的完整供應鏈所需的間接用水，則一杯咖啡的水足跡可高達 280 公升。

如以衡量的對象區分，水足跡可分爲製程水足跡（water footprint of a process step）、產品水足跡（water footprint of a product）、消費者水足跡（water footprint of a consumer）、社區水足跡（water footprint of a community）、企業水足跡（water footprint of a business）、國家或區域水足跡（water footprint of a nation/region）等。對企業來說，製程水足跡、產品水足跡和企業水足跡可提供其用水量和用水區位等重要訊息，乃是其水資源管理的重要參考依據。



資料來源：Water Footprint Manual, 2009。

圖 1　水足跡組成圖

四、國際組織對水足跡之推動概況

由於環境保護的迫切需要，加上綠色競爭力乃企業致勝關鍵，國際組織和國際企業對供應商環境保護要求愈來愈嚴格。國際上已有大企業同時要求供應商提供產品碳足跡和水足跡相關訊息，在參與的企業日益增加情況下，預計產品水足跡標籤將和碳足跡標籤一樣成爲重要環境資訊揭露項目。相對於碳足跡估算和碳足跡標示已在國際社會上推動數年，各界對水足跡相對陌生，國際上對水足跡之估算也欠缺共同的準則。因此，本節將說明國際組織對水足跡之推動概況，下一節探討跨國企業對水資源管理和產品水足跡的發展概況。

1.聯合國總裁水資源指令（The CEO Water Mandate）

聯合國全球協定（The UN Global Compact）是由全球 110 個國際大企業的總裁所認可和背書的領袖平台。在其運作下，透過各種計畫協助參與者設計先進的永續企業模式和市場，期能造就更永續的全球經濟體系。

聯合國全球協定推動的「總裁水資源指令」之主要目的為增加私部門更瞭解其對水資源的影響，進而採行更合適的水資源管理方式。總裁水資源指令是由聯合國秘書長和國際企業領袖於 2007 年 7 月所啓動，參與的國際企業領袖認知到企業必須以更永續方式營運，且有責任和義務將水資源列為管理的第一順位，與政府、非政府組織，以及其他利益關係人共同合作，面對全球性水資源挑戰。

參與總裁水資源指令的企業中，有不少企業以水足跡做為其水資源管理的分析工具，例如以製造啤酒出名的 SABMiller 即以水足跡分析其在南非製造的產品。由此可知，產品水足跡已被國際大企業採用，做為水資源管理的分析工具。另外有些企業如 TSMC 雖未使用水足跡進行分析，卻以生命週期分析其水資源投入。生命週期分析和水足跡分析事實上僅有一線之隔，相信在國際組織推動下，未來水足跡分析和水足跡估算將是企業水資源管理的一項重要工作。

2.水足跡網絡（WFN）

為推廣水足跡概念並確切落實產品水足跡的估算，WFN 成立於 2008 年 10 月[14]。WFN 成立之主要目標是建立估算水足跡的全球性標準，藉此使企業以更透明方式減少水資源的使用。WFN 為建構水足跡估算方法與標準的重要單位，提出水足跡的 Hoekstra 教授為 WFN 的主要領導者之一，包括 ISO 等國際組織多與之合作推動水足跡概念，企業與之合作評估水足跡的案例更不在少數。

為提供各界水足跡評估的完整方法，WFN 在 2009 年完成了「水足跡手冊」做為估算指引。該手冊提供整套個別製程和產品水足跡的計算方法，同時也提供消費者、企業和國家等不同層次水足跡之計算方法。由於水足跡衡量不管在學術界或實務界皆是持續發展中的議題，WFN 預計以一種滾動式的方式持續更新該手冊。

在 2009「水足跡手冊」發表之後，WFN 即廣邀其成員提供意見，並成立兩個工作小組，其中一工作小組探討灰水足跡相關議題，另一工作小組則探討水

足跡永續性評估相關議題。2011 年時，WFN 進一步出版了更新的手冊「水足跡評估手冊—全球標準之制訂」（The Water Footprint Assessment Manual – Setting the Global Standard）[15]。雖然第二版的水足跡手冊才發表不久，WFN 即公開邀請成員和非成員的專家提供相關意見，期未來能更進一步提升水足跡估算的方法論。

3.世界企業永續發展委員會（WBCSD）

WBCSD 是長期關注企業用水問題與風險的國際組織之一，對於氣候變遷造成企業用水風險的問題尤其關注。目前 WBCSD 常態性的設置水資源計畫（Water Project）探討企業與水資源相關議題，在該計畫下曾推出 Global Water Tool 做爲用水管理工具，使企業瞭解旗下工廠、員工與供應商之用水需求狀況與區域用供水風險問題[16]。有鑑於永續水資源管理需要明確的計算準則與工具，WBCSD 積極與各界合作研發更有效的管理工具，除了成爲 WFN 的創始會員之外，也積極在網站上推廣水足跡[17]。

4.國際標準化組織（International Organization for Standardization，ISO）

ISO 是重要的國際標準組織，其發佈的各種標準大多爲各國政府與企業所遵行。有鑑於水資源乃是重要卻日漸稀少的自然資源，加上當前缺乏國際一致的用水統計與管理工具，目前 ISO 正探討設置水足跡之計算與報告標準 14046，預定 2011 年時將會達成具體結論[18]。

ISO 工作人員 Raimbault 與 Humbert[18]指出，ISO 14046 水足跡標準乃是以生命週期評估概念，探討產品、製程與組織（products, processes and organizations）水足跡的衡量原則、需求與指引（principles, requirements and guidelines），界定須納入水足跡估算的水源（water sources）與排水（water release）類型，以及不同區域環境（例如乾燥與潮濕地區）或不同社經條件下的水足跡處理方式。另外，14046 的水足跡標準也將與 ISO 14000 系列配合，例如 ISO 14020 的環保標籤與揭露準則也將是 14046 探討的重點。

參與 ISO 14046 水足跡標準計畫的國家共有 20 國，其中水足跡的倡議組織 WFN 與 WBCSD 亦密切與 ISO 合作提供意見[19]。

5.聯合國環境規劃署 (United Nations Environment Programme，UNEP)

UNEP 自 30 多年前成立以來，即將永續水資源管理列爲重點工作[20]。UNEP 下的 IETC (International Environmental Technology Centre)、Sustainable Consumption and Production Branch 與 UNEP Finance Initiative 正合作推動一項水足跡計畫，希望透過加強與改善現有的水足跡估算方法，促進用水效率並改善水資源管理問題[21,22]。

UNEP 此項水足跡計畫之目標尚包括提升公、私部門（包括財務人員與投資人）對水足跡的瞭解，以增加水足跡概念被採用的範圍；此外，以「水中和（water neutrality）」解決水足跡過大問題也是此項計畫的重要目標[21]。由此可見，UNEP 的水足跡計畫除了對水足跡的推廣與計算方法的研發之外，更進一步強調應用水足跡概念改善因水資源使用造成的環境問題。UNEP 的此項計畫同樣與 WFN 進行合作，探討如何改善水足跡的計算，以及開發水足跡在地理空間上的應用工具。

6.飲料產業環境圓桌會議（Beverage Industry Environmental Roundtable，BIER）

BIER 是飲料產業的聯合組織，成員包括多家國際性飲料集團，其宗旨爲加強飲料產業的水資源管理。考慮到水足跡的重要性，2010 年時 BIER 成立工作小組，專責探討與評估既有的水足跡方法，以及飲料產業部門的水足跡應用案例[23]。目前 BIER 已完成飲料產業的水足跡估算準則草案，正在徵詢旗下會員與 ISO、WFN 與 UNEP 等國際組織的意見，正式的定稿預計於 2011 年底前發佈[24]。

從 BIER 的行動可看出，目前國際組織除針對水足跡進行通則性的研發外，亦開始針對特定產業部門擬議專屬的水足跡準則。

7.其他國際組織

AWS (Alliance for Water Stewardship) 認爲水足跡是推動水資源管理的重要資訊[25]，因此，正與 WFN 合作並支持 WFN 對水足跡的研發，未來 WFN 的水足跡估算方法亦將被 AWS 用在水資源管理方案中作爲衡量方法[26]。

部分國際組織推動的用水指標雖未冠上水足跡名稱，卻被企業用以估算水足跡的方法，例如，Global Reporting Initiative (GRI) 的水資源議定書（Water Protocol）即被 AT＆T 認爲是最適於該公司估算水足跡的方法[27]。另外，也有用水指標內涵與水足跡相近，例如，SCP(Sustainable Corporate Performance

Project)強調企業活動對經濟、社會與環境之影響，而 Gerbens-Leenes 等人在 SCP 的延伸計畫中所擬定的企業用水指標即涵蓋了淡水的直接與間接使用（即供應商淡水使用）[1]，此與水足跡的基本概念是相同的。

五、國際大型企業對水足跡之推動概況

Hoekstra 等人提出水足跡名詞之前，已經陸續有企業因環境永續性問題注意到企業內部用水統計資訊的重要性，2000 年時 OECD、WBSCD 與永續企業績效計畫（Sustainable Corporate Performance Project）等組織，提出企業用水統計指標、工具和標準[1]。然而，企業的用水資訊通常只針對自身直接取用水量統計，缺乏上游供應鏈用水狀況，此種用水資訊對企業風險管理的幫助有限。

隨著水足跡概念的逐漸推展，企業開始認識到過去用水統計資訊的不足，以及水足跡資訊的應用潛力，近年來不少大型國際企業紛紛投入水足跡的估算。在財星全球 500 大企業（Fortune Global 500）當中，已有 Royal Dutch Shell、ConocoPhillips、AT&T、Nestlé、CVS Caremark 等多家企業相繼公布企業或產品水足跡。

國際大型企業估算水足跡的方式有兩種：與 WFN 合作估算，另以其他方式估算。前者如 Nestlé 等多家企業與 WFN 合作，已有計算企業全體、單一分公司或某項產品水足跡等多種案例；後者如 AT&T 採用 Global Reporting Initiative 估算水足跡。另有些企業如 CISCO，雖公布企業水足跡數據或設定企業水足跡目標，卻未說明水足跡的計算。

1.與 WFN 合作之國際大型企業

與 WFN 合作的企業包括 Nestlé、SABMiller、Coca Cola 等。Nestlé在 2008 年即呼籲建立國際性的產品水足跡評估方式[28]，之後在 WFN 協助下，以 Bitesize Shredded Wheat 爲案例計算產品水足跡[29]。Nestlé 亦在 CEO Water Mandate 的架構下與 International Water Management Institute 合作研究印度地區牛奶、小麥與稻米的水足跡[30]。Nestlé 於企業目標中納入水足跡概念，以「在生產優質食品的同時減少水足跡」爲企業目標[31]。

飲料大廠 SABMiller 則在 WFN 協助下，分別於 2008-2009 年間以其南非子

公司爲案例估算該公司價值鏈 (從穀物種植到啤酒運銷)相關的水足跡；並於 2009-2010 年間進一步估算捷克子公司的水足跡，未來將繼續針對 South Africa, Tanzania, Peru 和 Ukraine 等地集水區計算水足跡，SABMiller 同時宣布於 2015 年時將水與啤酒比值減少至 3.5 的目標[32,33]。

Unilever 也是 WFN 的合作夥伴，該公司已以 2008 年度爲基期，計算旗下遍佈 14 國之 1,600 項產品的水足跡，並設定於 2020 年時將水足跡減半的目標。Unilever 估算水足跡的範疇（或邊界）包含消費端使用該產品時所需的用水[34]。估算範疇包含消費端水足跡的案例尚有財星全球 500 大企業的 AkzoNobel，其計算方法以 WFN 手冊爲原則，水足跡評估範疇爲產品的整個生命週期[35]。

飲料公司 Coca Cola 屬於耗水產業，故特別重視水資源的管理。可口可樂公司不僅在 2007 年加入聯合國全球協定所主導的總裁水資源指令成爲一員，亦在 2010 年 9 月和自然資源保護協會（The Nature Conservancy）公布了一份該公司產品水足跡評估報告。報告發現很大比例的水足跡是來自於提供原料的土地，而非工廠本身。雖然 Coca Cola 並非直接由 WFN 協助計算水足跡，但其早在 WFN 前身 Water Footprint Working Group 成立時就參與其中，是 WFN 的長期合作夥伴之一[36,37]。可口可樂表示水足跡代表的是對水資源使用的影響，估算水足跡只是一個起步，它將協助提供水資源管理資訊，尤其是在何處生產，從何處取得原料，將是水足跡所能提供的重要決策資訊。換言之，水足跡可提供可口可樂全球水資源管理的重要資訊。

Coca Cola 的主要對手 Pepsi 母企業產品雖尚未有水足跡的估算成果，但已評估旗下 Tropicana 果汁之水足跡，發現該產品有 99.74%的水足跡是導因於位於巴西的柳橙種植過程[38]。Pepsi 亦在其水資源報告書「Water Stewardship」中提及，將會計算水資源用量並持續與 WFN 等組織合作估算水足跡[39]。另外，財星全球 500 大企業的酒精飲料大公司 Anheuser-Busch InBev 旗下的子公司 Ambev 同是 WFN 的合作夥伴，並已宣佈將建構水足跡以做爲因應未來缺水危機的分析工具[40]。

曾列 Fortune 全球 500 大企業的英國零售商 Marks & Spencer 因與 WWF(World Wildlife Fund)合作一項五年環保計畫（Plan A）而估算水足跡，目

前已估算旗下系列服裝與包括草莓、蕃茄、萵苣、馬鈴薯和玫瑰等五項重要農產品的水足跡，並以水足跡資訊做爲企業採購與自產的決策依據[41]。Marks & Spencer 並未揭露其水足跡的計算範疇與方法，但由於 WWF 乃是 WFN 的合作夥伴，故其估算方法應是採自 WFN 手冊。

2.以其他方法估算水足跡之國際大型企業

除了前述直接與 WFN 合作，或以 WFN 方法爲基礎估算水足跡的企業外，也有企業採取不同估算準則。例如，AT&T 爲了估算水足跡曾分析各種水足跡計算方案（water footprint protocol），最後認爲 Global Reporting Initiative 的 Water Protocol 是衡量該公司用水的最適方法[27]。

另外，2009 年時 Intel 即進行水足跡的估算，結果發現該公司 65%的水足跡用於直接生產操作，其次是用於能源方面。運用此一資訊，Intel 進行水資源管理並有效提升其用水效率[42]。其估算方式與前述企業不同，乃參照 Intel 本身已推行的碳足跡架構，將水足跡分爲直接生產用水（direct manufacturing water use）的 Scope 1，發電用水（electricity production water use）的 Scope 2，以及一階供應商用水（first tier suppliers' water use）的 Scope 3。Intel 認爲既有的企業水足跡案例大多與農產或飲料相關，其中的供應鏈容易界定與釐清，上游供應商也較願配合。但 Intel 生產供應環節複雜，智慧財產問題也影響供應商的配合意願，加上其碳足跡估算架構業已完備[43]，故水足跡估算架構才參照碳足跡架構分爲三大類計算。由於水足跡估算架構仍未底定，Intel 表示將會持續投入水足跡估算方法的研發[44]。然而，碳足跡和水足跡畢竟有概念上的差異，直接以碳足跡方法估算水足跡實有不足之處，欲參照 Intel 作法的廠商應注意此一問題的處理。

3.水足跡估算方法或範疇不明的企業

由前面的探討可知，在水足跡估算方式與範疇尚無一致認定的情況下，企業對於水足跡概念的解讀也不盡相同。而觀察宣稱已估算或運用水足跡概念的企業，也可發現有些企業並未說明其方法或範疇，少數企業對水足跡的定義甚至可能與 Hoekstra 等首倡者的概念有所出入。例如，Royal Dutch Shell 宣稱與 Petroleum Development Oman 於 2005 年起合作在阿曼的工廠減少水足跡與廢水足跡[45]。Shell 於 2011 年發表的 Protecting Water Resource 文件中也提及其水足

跡持續減少[46]，然而文中所舉案例卻是該公司 2008-2009 年間「操作用淡水（freshwater used for operations）」減量 13%，缺少了 Hoekstra 之水足跡所強調的供應鏈用水與非直接用水的相關資訊。

財星全球第 45 大企業 CVS Caremark，在其企業社會責任報告中指出，該公司持續提升用水效率的努力，將不因該企業有較低的水足跡而受影響[47]，但並未公佈該公司估算水足跡的方式或具體估算數據。其他財星五百大企業如 Dow Chemical 於今（2011）年度的世界水資源日(World Water Day)宣布其水足跡持續減少[48]；Cisco 在其環境衝擊報告中提到，該公司全球水足跡於 2010 年會計年度爲 1,492,927 立方公尺[49]；大型國際企業如酒精飲料大廠 Diageo 則宣稱完成旗下 2009 年時 Tusker 啤酒公司的水足跡估算，使該公司得以瞭解在南非供水壓力較大地區的供應鏈的水資源消耗情形[50]。前述企業皆提及水足跡的計算或應用，但未進一步提供相關計算方式與範疇等相關資訊。

5.小結

部分企業雖尚未進行水足跡的估算，卻保持對水足跡的高度關注。2010 年財星排名 17 的石油公司 ConocoPhillips 曾指出，石油生產會造成大量廢污水，故於 2008 年開始瞭解水足跡，作爲長期永續發展承諾的指標概念[51,52]。全球規模最大零售商 Wal-Mart 則在其供應商標準指南（standards for suppliers manual）中，要求供應商必須維護其用水資料[53]。由其所發佈的供應商永續性指標問卷可知，Wal-Mart 對是否建立用水資訊給予極高的權重以評鑑供應商，Wal-Mart 更是具體建議供應商以水足跡做爲建立用水資訊的相關工具[54]。

此外，碳揭露計畫組織有鑑於水資源與碳排放問題的相關性[55]，已經進一步推出「水資源揭露（water disclosure）」計畫，並積極與包括 WFN 在內之發佈用水統計指標的組織密切合作，目前業已有 300 多家企業簽署加入該計畫。

由數十家財星全球 500 大企業的案例來看，可以發現水足跡因尚未有國際統一認定的估算準則與方法，各企業估算時所涵蓋的範疇與方法常有差異，以致不易進行企業間的橫向比較分析，部分企業對水足跡的概念甚至可能有所偏誤。儘管如此，國際各大企業未曾卻步，近年來投入水足跡估算的情況十分熱絡，所涵蓋的產業從飲料、零售到化學、電子、電機等。有些企業更是積極參

與水足跡估算準則的研發與改進，或是與 WFN 積極合作試圖在水足跡準則的訂定過程中發揮影響力。

在諸多已計算水足跡的企業中，可發現多數企業並不單單將水足跡做爲與消費者及利益關係人溝通的資訊，更積極應用水足跡資訊在成本管理、企業風險管理、供應商管理、區域發展策略研擬與永續發展策略等諸多層面的決策上。

六、水足跡之評估與應用

根據 WFN 水足跡手冊[13]，水足跡評估有四個不同階段，但實務上並非所有階段的工作都需執行。四階段之評估步驟爲：

1.設定目標和範圍

水足跡評估首先需設定明確的目標和範圍，水足跡評估有不同目的，在不同目的下所界定出的範圍（或邊界）不同，評估時所要處理的細節亦不同。

2.水足跡計算

依前一階段設定之目的即可決定水足跡計算的範圍和所涉及資料精細的程度，此階段以蒐集資料和建立計算方法爲主。

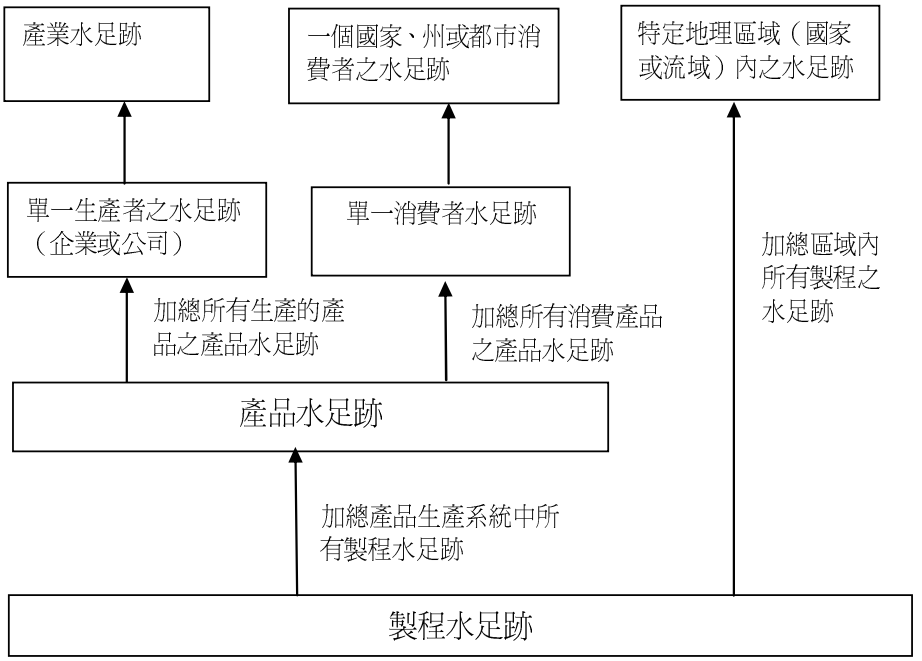
3.水足跡永續評估

水足跡的永續性亦由評估目的決定，若指的是一般的永續性，即可由環境、社會或經濟等面向來評估；若目的爲評估對流域的影響，則需由流域的永續性來進行評估，餘類推。

4.水足跡政策回應

此階段即根據水足跡評估結果來擬定因應的策略和措施。

前已提及，水足跡包括製程水足跡、產品水足跡、消費者水足跡、社區水足跡、企業水足跡、國家水足跡。單一製程水足跡爲衡量所有類型水足跡的基礎，其關係如圖 2 所示。另外，由目前國際大型企業的水足跡估算情形來看，企業水足跡和產品水足跡是估算重點，加上產品水足跡爲未來企業產品標示的對象，故以下本文根據 WFN 水足跡手冊[13]，特別針對製程水足跡、產品水足跡和企業水足跡之估算進行說明：



資料來源：Water Footprint Manual, 2009。

圖 2　由製程水足跡建構其他各類水足跡之關係圖

1.單一製程水足跡估算

(1)藍水足跡

藍水足跡是地面水和地下水消耗性使用（consumptive use）的指標。水資源消耗性使用包括水資源蒸發散、成爲產品一部份、水資源汲取後未回歸至相同集水區（即回到大海或不同集水區）、水資源汲取後未在同一時期回歸（例如在乾旱時取水在豐水期回歸）等。水資源消耗性使用並不意味著水資源的消失，因爲地球水資源多是保留在水循環之中。

製程藍水足跡可以下式衡量：

$$WF_{proc,blue} = BlueWaterEvaporation + BlueWaterIncorporation + LostReturnFlow$$

其中 $WF_{proc,blue}$ 爲製程藍水足跡，BlueWaterEvaporation 爲藍水蒸發散量，BlueWaterIncorporation 爲成爲產品之一部分的藍水量，LostReturnFlow 爲未在同一時間內回歸到同一集水區之水量。

藍水足跡的衡量單位爲單位時間水量，若再除以製程所生產產品的產量，則某製程藍水足跡的單位爲產品單位水量。

(2)綠水足跡

綠水指的是降到地上的雨水，未成爲逕流也未補注地下水的部分，此部分雨水藏於土壤中、暫時停留於土壤表面或植被，此部分雨水最終會自行蒸發或透過植物蒸散。綠水是農作物和森林成長過程中被吸收的雨量。流程(綠水通常是農林產品生長時所使用的水量，故此處不稱爲「製程」，而以「流程」取代)之綠水足跡可以下式計算：

$$WF_{proc,green} = GreenWaterEvaporation + GreenWaterIncorporation$$

其中 $WF_{proc,green}$ 爲流程綠水足跡，GreenWaterEvaporation 爲藉由作物蒸散或地表蒸發的綠水蒸發散量，GreenWaterIncorporation 爲成爲農林產品之一部分的綠水量。

(3)灰水足跡

灰水足跡爲和製程有關的淡水資源受到污染程度的指標。前已述及，灰水足跡爲在現有水質標準下，吸收污染物所需的淡水水量。灰水足跡可以下式估算：

$$WF_{proc,grey} = \frac{L}{c_{\max} - c_{nat}}$$

其中 $WF_{proc,grey}$ 爲灰水足跡，L 爲污染物負荷，C_{max} 爲最大可接受濃度（代表鄰近污染物水質標準），C_{nat} 爲承受水體之自然濃度。自然濃度是當集水區沒有人類活動干擾下水體的濃度，以自然濃度做爲計算灰水足跡基準的主要原因是，灰水足跡是用來做爲生態體系吸收能力的指標。

2.產品水足跡估算

WFN 水足跡手冊將產品水足跡定義爲製造產品過程中所有直接和間接的淡水用水量。產品水足跡是估算產品生產鏈所有步驟的耗水量和污染量，各種產品（可能由農業、工業和服務業等不同產業生產）計算水足跡的步驟皆類似。產品水足跡亦包括藍水足跡、綠水足跡和灰水足跡，產品水足跡有時又稱虛擬

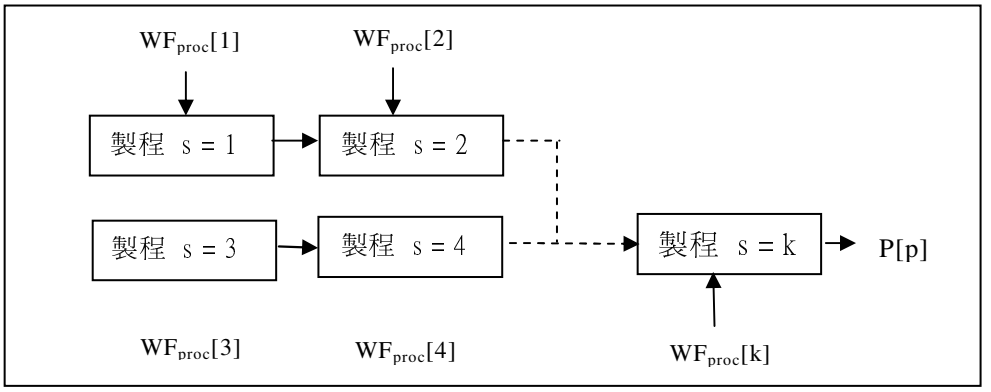
水內涵（virtual-water content），唯後者之定義較為狹隘。

估算產品水足跡必須先瞭解生產該產品的方法，亦即必須先瞭解生產系統。生產系統包含連續的生產步驟，以棉質襯衫為例，生產系統由種植棉花（cotton growth）、採收（harvesting）、軋棉（ginning）、梳整（carding）、紡織（knitting）、漂白（bleaching）、染色（dying）、印花（printing）、修整（finishing）等步驟構成。

計算產品水足跡有(1)鏈加總法（the chain-summation approach）與(2)階段累積法（the step-wise accumulative approach）兩種方法，以下分別說明：

(1)鏈加總法

此種方法較簡單卻僅能用於單一產品的生產系統（見圖 3），圖 3 中的流程步驟皆可連結至最終產品，故水足跡和生產系統中之不同流程步驟皆有關，加總各流程的水足跡即可得到產品水足跡。但實務上單一生產系統僅生產單一產品的例子很少，故需有其他方式將生產系統中的用水量分配到不同產品。



資料來源：Water Footprint Manual, 2009。

圖 3　生產系統流程步驟解構圖

(2)階段累積法

此法為計算某產品水足跡的一般方法，為生產某產品前一階段所需的投入產品（有時可稱為中間投入）之水足跡和該產品本身生產階段水足跡之和。應用此法有幾種情況：

a.假設生產一種產品有多個投入產品，則計算產品水足跡可加總所有投入產品

的水足跡，再加上該產品本身製程的用水量。

b.假設一種投入產品生產不同產品，則需將投入產品的水足跡分配到不同產品。分配時可以產值比例，或產品重量比例分配，但後者可能較無意義。

c.假設以 y 種投入產品生產 z 種產品，且在生產 p 產品階段也需用水（p 產品爲 z 種產品中的一種產品），則產品 p 生產流程的水足跡必須計算所有投入產品水足跡之和後，再將總水足跡分配到 p 產品和其他不同產品。

3.企業水足跡

企業水足跡又稱爲公司水足跡（corporate water footprint）或組織水足跡（organizational water footprint），乃指經營和支撐一個企業運作直接和間接使用的淡水水量。企業水足跡含有兩個主要部分：企業營運水足跡和企業供應鏈水足跡。企業營運水足跡爲直接水足跡，指企業本身營運所消耗或污染的淡水水量；企業供應鏈水足跡爲間接水足跡，係生產企業所需投入的產品和服務所消耗或污染的淡水水量。計算企業水足跡時需同時考量企業營運水足跡和企業供應鏈水足跡。

由目前已完成水足跡估算的企業來看，大部分企業不是以水足跡作爲企業用水量減量的衡量標準，即是以水足跡決定生產基地和原料進口的區位，或因應缺水危機的決策工具。可見計算水足跡不是企業的最終目的，以水足跡資訊作爲用水管理、經營管理、危機管理的依據，才是水足跡的真正功能。

尤其是估算產品水足跡需由完整的生產系統（包含供應鏈）著手，故可利用生產流程的水足跡資訊推動製程節約用水或廢水回收再利用等措施。在供應鏈部分，可依供應商的區位和其水資源狀況進行用水風險評估。廠商更可將水足跡、碳足跡等資訊結合物質流、生命週期評估、甚至環境會計等概念，進行全面性的經營管理、環境管理和財務管理分析工作。除提高能資源的使用效率和綠色競爭力，更可提高經營效率和企業獲利能力。

七、國內水足跡之推動概況

對國內各界人士來說，水足跡爲較陌生的名詞與概念。然而，有鑑於國際組織和大型企業紛紛投入相關的推動工作，以及國內企業界的需求，經濟部水利署和工業局相繼開始推動相關工作。水利署於 2010 年首先捐助「台灣虛擬用水量推估與產品水足跡衡量之先期規劃」相關研究工作[56]。爲進一步推廣水足跡概念並瞭解民間反應 ，水利署於 2011 年陸續於台中、台北及高雄舉辦三場「水足跡宣導會」，說明水足跡的概念與國際發展狀況，並邀請已完成水足跡估算的國內業者分享經驗。此外，水利署亦委託「水足跡概念推廣與先期研究」計畫，除檢視我國水足跡的估算環境之外，並選定數項產品研擬產品水足跡估算原則，期能作爲未來擬定我國產品水足跡估算指引的基礎。除水利署外，經濟部工業局亦以廠商輔導的角度於 2011 年甄選五家廠商進行水足跡估算的輔導工作。

在產業部門，目前我國已有包括奇美、聯電和台灣凸版等數家廠商完成水足跡的估算工作。前述企業皆以 WFN 2009 年水足跡手冊爲依據進行估算，其中奇美和聯電由挪威商立恩威驗證公司（DNV）查證，台灣凸版則由台灣檢驗科技公司（SGS）查證。

雖然我國廠商應用水足跡的案例還不多，但台灣是以出口爲導向的國家，一旦下游廠商要求水足跡相關資訊，台灣廠商將無法避免估算水足跡的工作。事實上，已有部分廠商表示其國外下游廠商相繼詢問其產品水足跡資訊，亦可預見未來台灣廠商將有配合國外下游廠商估算水足跡的壓力。而值得注意的是，目前國際上並無估算水足跡一致認定的標準，唯一爲各界廣泛使用的是爲 WFN 的水足跡手冊。台灣廠商雖亦以該手冊爲估算水足跡的依據，惟不同廠商對手冊內容的解讀不甚一致。參照環保署在碳足跡方面所研擬的「產品與服務碳足跡計算指引」，水利署研擬相關產品水足跡計算指引應是當務之急。

八、結　　語

水足跡與生態足跡和碳足跡等指標相似，旨在觀察人類活動對自然環境永續性造成的壓力。目前包括聯合國等多個重要國際組織都已經指出用水指標與水資源管理的重要性，並認爲水足跡是因應未來供水問題時不可忽略的工具。因此，WBCSD 與 CDP 等組織所推動的企業用水資訊揭露或管理方案中，水足跡都是被考慮的主要資訊。

另外，水足跡也是企業積極採用的永續發展指標，國際上許多大型跨國企業除了已有水足跡的計算案例外，更有多家企業以水足跡所得資訊作爲供應商管理、缺水風險因應或生產區位決策等經營活動的依據。事實上，ISO 已與 WFN 等單位合作研商制訂水足跡標準，一旦標準定案公布，國際間進行水足跡估算的企業勢必大幅增加。在水足跡計算往往涉及供應商資訊的情況下，未來我國產品若要銷售至國外市場，很可能需要配合標示或提供產品之水足跡。對此趨勢，我國廠商實應對水足跡之估算預作瞭解和準備，以免屆時誒誤寶貴商機。

九、參考資料

1.Gerbens-Leenes, P.W. and A.Y. Hoekstra, Business Water Footprint Accounting, Value of Water Research Report Series No. 27, Water Footprint Network, 2008.

2.Barton, B., Murky Waters Corporate Reporting on Water Risk: A Benchmarking Study of 100 Companies, Ceres, 2010.

3.Our Common Future, World Commission on the Environment and Development, Oxford University Press, 1987.

4.Wackernagel, M., and W. E. Rees, Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics from an Ecological Footprint Perspective, Ecological Economics, 20: 3-24, 1997.

5.Monfreda, C., M. Wackernagel, D. Deumling, Establishing National Natural Capital Accounts Based on Detailed Ecological Footprint and Biological Capacity

Assessments, Land Use Policy 21: 231–246, 2004.

6.Wackernagel, M., C. Monfreda, D. Moran, P. Wermer, S. Goldfinger, D. Deumling, and M. Murray, National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The Underlying Calculation Method, Global Foot Print Network, 2005.

7.Ferng, J. J., Using Composition of Land Multiplier to Estimate Ecological Footprints Associated with Production Activity, Ecological Economics, 37: 159–172, 2001.

8.Ferng, J. J., Toward a Scenario Analysis Framework for Energy Footprints, Ecological Economics, 40: 53–69, 2002.

9.Global Footprint Network, Carbon Footprint, http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon_footprint/, 2011.

10.Bicknell, K. B., R. J. Ball, R. Cullen, and H. R. Bigsby, New Methodology for the Ecological Footprint with an Application to the New Zealand Economy, Ecological Economics, 27: 149–160, 1998.

11.Allan, J. A., Virtual Water - the Water, Food, and Trade Nexus: Useful Concept or Misleading Metaphor?, Water International, 28(1): 4-11, 2003.

12.Guan, D. and K. Hubacek, Assessment of Regional Trade and Virtual Water Flows in China, Ecological Economics, 61: 159-170, 2007.

13.Hoekstra, A.Y., A.K.Chapagain, M.M. Aldaya, and M.M. Mekonnen, Water Footprint Manual: State of the Art 2009, Water Footprint Network, 2009.

14.Water Footprint Network, Global Forces Combine into Water Footprint Network, Press Release, 2008.

15.Hoekstra, A.Y., A.K.Chapagain, M.M. Aldaya, and M.M. Mekonnen, The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard, Water Footprint Network, 2011.

16.World Business Council for Sustainable Development, The Global Water Tool, http://www.wbcsd.org/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?type=p&MenuId=MTc1Mg&doOpen=1&ClickMenu=LeftMenu, 2011.

17.World Business Council for Sustainable Development, Business Takes Lead on Water by Joining the Water Footprint Network, http://www.wbcsd.org/Plugins/DocSearch/details.asp?DocTypeId=33&ObjectId=MzIwMDI, 2011.

18.Raimbault, M. and S. Humbert, ISO Considers Potential Standard on Water Footprint, http://www.iso.org/iso/iso-magazines/iso-focus-plus_index/iso-focusplus_online-bonus-articles/isofocusplus_bonus_water-footprint.htm, 2011.

19.World Business Council for Sustainable Development, Water for Business: Initiatives Guiding Sustainable Water Management in the Private Sector, Version 2, 2010.

20.United Nations Environment Programme, About UNEP, http://www.unep.org/Themes/Freshwater/About/index.asp, 2011.

21.United Nations Environment Programme, Water Footprint, Neutrality and Efficiency, http://www.unep.or.jp/ietc/ws/activities/activity_water-footprint.asp, 2011.

22.United Nations Environment Programme, Water and Sanitation, http://www.unep.or.jp/ietc/ws/index.asp, 2011.

23.Beverage Industry Environmental Roundtable, Water Stewardship, http://bieroundtable.com/water_stewardship.html, 2011.

24.Beverage Industry Environmental Roundtable, A Practical Perspective on Water Footprinting Undergoing Review by Select External Stakeholders, http://bieroundtable.com/water-footprinting.html, 2011.

25.Alliance for Water Stewardship, Standards Workshop, http://www.allianceforwaterstewardship.org/about_pdfs/AWS_StandardsWorkshop.pdf, 2011.

26.AWS: Year in Review/Year Ahead, Alliance for Water Stewardship, 2011.

27.AT&T, Progress towards Goals,

http://www.att.com/Common/about_us/files/csr_2011/progress_towards_goals_2011.pdf, 2011.

28.Nestlé, Nestlé Calls for International Water Footprint Measure, http://www.foodmanufacture.co.uk/Business-News/Nestle-calls-for-international-water-footprint-measure, 2011.

29.Chapagain, A. K. and S. Orr, Water Footprint of Nestlé's 'Bitesize Shredded Wheat', World Wildlife Fund, 2010.

30.Nestlé Creating Shared Value Report 2009, Nestlé, 2009.

31.Nestlé, The Nestlé Corporation on Water Conservation, http://www.waterwideweb.org/the-nestle-corporation-on-water-conservation.html, 2011.

32.Sustainable Development Report 2009, SABMiller, 2009.

33.Sustainable Development Report 2010, SABMiller, 2010.

34.Unilever, Our Water Footprint, http://www.unilever.com/sustainability/environment/water/footprint/index.aspx, 2011.

35.Triantou, A.-D., Carbon, Energy and Water Footprint of Three Akzonobel Internal Sizing Chemicals: A Cradle to Gate LCA Related Study, Master of Science Thesis, Royal Institute of Technology, 2009.

36.Product Water Footprint Assessments: Practical Application in Corporate Water Stewardship, The Coca-Cola Company and the Nature Conservancy, 2010.

37.2009/2010 Sustainability Review, The Coca-Cola Company, 2011.

38.Water in Our Supply Chain, 2008 Environment Report, PepsiCo, 2008.

39.Water Stewardship, PepsiCo, 2011.

40.Carbon Disclosure Project 2010 Global 500 Report, Carbon Disclosure Project, 2010.

41.Lawrence, F., Revealed: The Massive Scale of UK's Water Consumption, The Guardian, August 20, 2008.

42.2010 Corporate Responsibility Report, Intel, 2010.

43.Cooper, T. and J. Pafumi, Performing a Water Footprint Assessment for a Semiconductor Industry, Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2010 IEEE International Symposium, on May 17-19, 2010.

44.Intel, Intel Water Policy, http://www.intel.com/Assets/PDF/Policy/Intel_Water_Policy.pdf, 2011.

45.World Business Council for Sustainable Development, Reducing Water and Wastewater Footprints: Royal Dutch/Shell, http://www.wbcsd.org/includes/getTarget.asp?type=d&id=MTc4MTg, 2011.

46.Shell, Protecting Water Resource, http://www-static.shell.com/static/zaf/downloads/aboutshell/upstream/karoo_factsheet_water.pdf, 2011.

47.2010 Corporate Social Responsibility Report, CVS Caremark, 2010.

48.Dow, Dow Celebrates World Water Day, Showcases Sustainable Chemistry Solutions, http://www.dow.com/news/corporate/2011/20110322a.htm, 2011.

49.Cisco, Operational Impact - Water, http://www.cisco.com/web/about/ac227/csr2010/environment/operational-impacts/water.html, 2011.

50.Diageo, Communications on Progress, http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/4103/original/COP.pdf?1262614947, 2011.

51.WorldExpro, Solving the Water Problem, World Expro 2008, Issue 1: 77-80, 2008.

52.ConocoPhillips, Sustainable Development Commitments, http://www.conocophillips.com/en/susdev/commitments/pages/index.aspx, 2011.

53.Wal-Mart, Standards for Suppliers Manual, http://walmartstores.com/AboutUs/279.aspx, 2011.

54.Wal-Mart, Supplier Sustainability Assessment, http://walmartstores.com/download/4055.pdf, 2011.

55.Carbon Disclosure Project, CDP Water Disclosure, https://www.cdproject.net/water-disclosure, 2011.

56.周嫦娥、李繼宇、朱美琴，台灣虛擬用水量推估與產品水足跡衡量之先期規劃，經濟部水利署出版，台灣農業與資源經濟學會執行，2010。