

陆地生态系统碳-水耦合机制初探

赵风华^{1,2}, 于贵瑞¹

(1. 中国科学院生态系统网络观测与模拟重点实验室 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院 北京 100039)

摘 要 陆地生态系统的碳循环和水循环是当前全球变化研究的热点。大量的研究已经表明两者之间具有密切的耦合作用。但是目前对于两者的耦合关系和耦合机制还缺乏系统的分析和总结。本文在综合相关研究的基础上,对陆地生态系统碳-水耦合的基本过程和基本作用机制作了概括。我们认为陆地生态系统碳-水耦合过程共包括土壤-植被节点、植被-大气节点(气孔节点)、土壤-大气节点和生化节点 4 个碳-水耦合节点。碳-水间的生化反应、气孔对光合-蒸腾的共同控制和优化调控作用、生态系统对碳、水循环的同向驱动机制分别是陆地生态系统碳-水耦合的生物化学、生物物理学和生态学基础,共同构成了碳-水耦合的基本作用机制。我们还用水分利用效率(WUE)概念对碳-水耦合过程中的碳/水耦合比例关系作了探讨。

关 键 词 碳循环 水循环 水分利用效率 陆地生态系统 全球变化

1 引言

以大气中 CO₂ 浓度增加为主要特征的“碳问题”(carbon issue)和以淡水资源短缺为主要特征的“水问题”(water problem)引发了全世界陆地生态系统碳循环和水循环研究的热潮^[1,2]。陆地生态系统的碳循环与水循环并不是彼此孤立的,而是两个密切联系、相互耦合的生态学过程,两者间的耦合关系应该成为碳、水循环和生态系统碳、水管理研究的重点之一^[3,4]。当前,陆地生态系统的碳、水循环研究很多^[1-6],但是大多数是将碳、水循环分开研究的,对两者的耦合关系进行系统分析的还不多,或者只是局限于某一尺度,缺乏对多尺度碳-水耦合关系的全面分析^[3,7]。本文在对当前碳、水循环相关研究进行系统分析的基础上,对陆地生态系统碳-水耦合的基本过程、基本机制和基本数量特征进行了初步总结,以期为陆地生态系统碳-水耦合研究提供基本的理论支持。

2 陆地生态系统碳-水耦合基本过程

陆地生态系统碳循环和水循环是受植被、土

壤、大气多种生物与环境因子共同控制的生态学过程。根据碳和水在土壤-植被-大气连续体(SPAC)中的运动过程,我们可以将两者间的耦合作用划分为 4 个基本过程(图 1)。

1)土壤-植被间的碳-水耦合过程:该过程的主要耦合节点是根系和土壤,主要表现为根系对土壤水分的吸收与根系呼吸的同时发生、根系-土壤间 HCO₃⁻等含碳素离子交换对水分环境的要求、根系和地上凋落物对土壤碳库的补充及其分解过程对水分条件的依赖等。

2)植被-大气间的碳-水耦合过程:该过程以气孔为主要耦合节点,主要表现为植被-大气间 CO₂ 和水汽的交换过程即光合和蒸腾作用之间的密切联系和气孔主导下的耦合作用。

3)土壤-大气间的碳-水耦合过程:该过程以土壤-大气界面为耦合节点,主要表现为土壤的水分蒸发与土壤的 CO₂ 排放的同时发生、土壤水分条件对土壤蒸发和土壤呼吸的共同控制,还有降水事件对土壤中 CO₂ 气体的排出效应等。

4)植物体内的碳-水耦合过程:该过程以碳-水间的生化反应为耦合节点,主要表现为碳水间的化合反应和植物体内水分循环对碳水化合物的运输

收稿日期:2007-10;修订日期:2008-01.

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-432)资助。

作者简介:赵风华(1979-),男,博士生,主要从事陆地生态系统碳、水过程研究。E-mail: zhaofh.04b@gsnrr.ac.cn

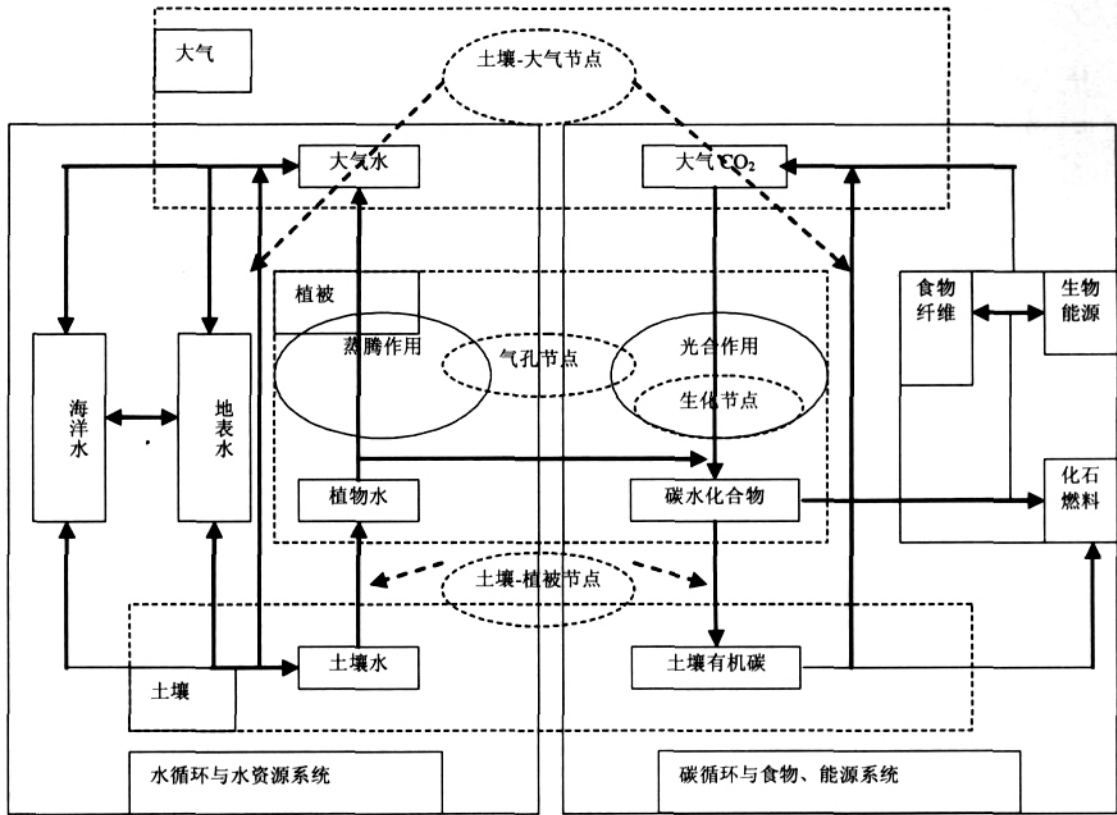


图 1 陆地生态系统碳-水耦合关系

Fig.1 The coupled carbon and water cycles in terrestrial ecosystem

作用。

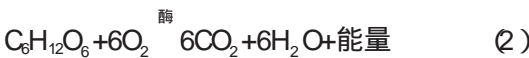
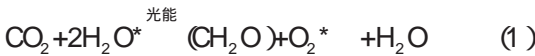
相应的,以上 4 个耦合过程的耦合节点可以分别称作土壤-植被节点、植被-大气节点(气孔节点)、土壤-大气节点和生化节点。在这 4 个耦合节点中,由于植被-大气间的 CO_2 和水汽交换是陆地生态系统碳、水通量的主要组分,而且两者都受到气孔的控制,因此气孔是陆地生态系统碳-水耦合的主要耦合节点^[3]。

2 陆地生态系统碳-水耦合基本机制

2.1 碳-水生化反应

在植物体内存在以光合作用为主的一系列的碳-水生化反应,这些生化反应形成了碳-水间最刚性的生化耦合。根据光合反应的总方程式(1),植物通过光合作用将 CO_2 和 H_2O 按照 1/1 的摩尔比例化合为 CH_2O 。植物的呼吸作用(2)可以看成是光合作用的“逆反应”,并不改变在整个生化反应中碳/水间 1/1 的摩尔比例关系。根据 Zhao 等人的报道^[4],华

北平原冬小麦返青到收获期间总初级生产力与蒸散量比值为 $4.67\sim 6.12\text{gC kg}^{-1}\text{H}_2\text{O}$,按照生化耦合中 1/1 的碳/水摩尔比例关系可以推算出生化耦合的水量占总蒸散量的比例为 $0.7\%\sim 0.9\%$ 。虽然生化耦合的水量很少,但是耦合的碳量却是生态系统初级生产力的全部。生化耦合是陆地生态系统中最基本也是最刚性的碳-水耦合,它可以被看成是整个陆地生态系统碳-水耦合的根本动力来源和碳-水耦合机制的生物化学基础。



2.2 气孔作用

大量的观测试验证明,植物叶片的光合和蒸腾是两个相互协调的过程,两者对许多环境因子的变化具有趋向一致的变化特性。在一个日变化过程中,光照、温度、水气压饱和和差等环境因子都发生较大的变化,植物叶片的光合和蒸腾也表现出明显的日变化。但一般情况下两者的日变化特征是一致

的,而且不会因为水肥等环境条件的变化而有明显改变^[9-11]。这主要是光合和蒸腾同时受到气孔调控的原因。植物-大气间的气体交换符合 Fick 定律 (Fick's law), 光合速率 (A_n) 和蒸腾速率 (T_r) 可以用下式来计算^[12-14]:

$$A_n = C \cdot g \quad (3)$$

$$T_r = W \cdot g \quad (4)$$

式中, C 和 W 分别是叶片内外的 CO_2 和水汽浓度差, g 和 g 分别是叶片对水汽和 CO_2 的导度。气孔作为 CO_2 和水汽进出叶片的共同通道, 它的开合运动控制着 g 和 g 的变化, 对 A_n 和 T_r 具有趋向一致的调控作用。这是一种物理性的耦合作用。

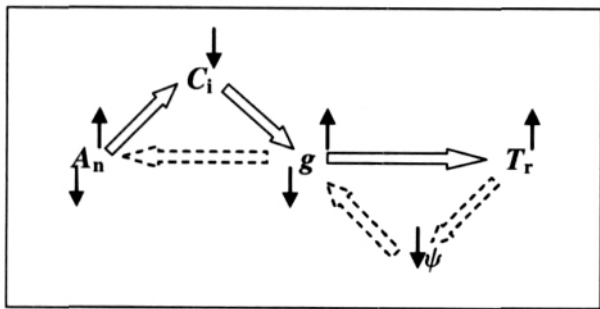


图 2 光合升高对蒸腾的影响过程和蒸腾对光合的反馈过程 (A_n 是光合速率, T_r 是蒸腾速率, C_i 是气孔内的 CO_2 浓度, g 是气孔导度, ψ 是叶水势; 由左向右的实线箭头表示影响过程, 由右向左的虚线箭头表示反馈过程, “↑”表示增大, “↓”表示减小)

Fig.2 The courses of rising A_n affects on T_r and the feedback of T_r to A_n

(The real arrows indicate affecting course and the dashed arrows indicate the feedback course; “↑” indicates increase; “↓” indicates decrease. Symbols: A_n , assimilation rate; T_r , transpiration rate; C_i , leaf intercellular CO_2 concentration; g , stomatal conductance; ψ , leaf water potential)

此外 A_n 和 T_r 之间还存在着密切的生理性的影响与反馈作用。例如 A_n 升高加大了对 CO_2 的消耗, 气孔内的 CO_2 浓度 (C_i) 就会降低, C_i 的降低会促进气孔开放 g 增大, 从而提高 A_n ; 而 T_r 升高到一定程度后会使得叶水势 (ψ) 降低, 引起气孔闭合 g 减小, 进而 A_n 下降 (图 2)。在 A_n 和 T_r 间的影响与反馈调控机制中气孔起着关键性的作用。气孔似乎具有某种优化调控机制 (optimal stomatal function), 可使得植物能在适当的水分“损失”水平上获得最大量的 CO_2 同化^[12,14]。目前对气孔优化调控机制的生理生化过程还不是很清楚, 但是大量的观测试验已经表明

了这种机制的存在^[12,14,15]。叶片尺度上的碳-水耦合作用是更大尺度上碳-水耦合的基础。气孔对光合-蒸腾过程的共同调控作用和气孔的优化调控机制是陆地生态系统碳-水耦合机制的生物物理学基础。

2.3 生态系统碳、水循环的同向驱动机制

在冠层尺度上, 碳-水之间具有明显的耦合作用, 主要表现有: 冠层碳、水通量之间具有明显的线性正相关关系^[8]; 一致的日变化特征^[16,17]; 一致的季节变化特征^[8,18]; 季节内累积碳同化量与累积蒸散量具有稳定的线性关系^[19]等。冠层碳-水耦合关系的作用机制除了来自叶片光合-蒸腾间的耦合作用外, 还有生态系统对碳、水循环的同向驱动作用。首先, 生态系统碳、水循环的驱动能源具有严格的同步变化特点。驱动冠层碳同化过程的冠层截获光合有效辐射与驱动生态系统蒸散的太阳辐射有较为稳定的比例关系, 因此生态系统碳、水通量都表现出与太阳辐射相似的正相关关系^[8,20]。在一个日变化中, 太阳辐射的日变化是造成冠层碳、水通量同步的日变化特征的主要原因^[16,17]。其次, 叶片作为光合-蒸腾的共同发生器官, 叶片的生长活动和物候特征对冠层的碳、水通量具有同步的控制作用。在单叶片上, 受叶片生育进程的控制叶片光合和蒸腾具有一致的季节变化特征, 而且这种同步变化特性不受水肥处理的明显影响^[21]。在冠层上, 碳、水通量都受到叶面积大小的限制, 表现出与叶面积一致的季节变化特征^[8]。另外, 冠层碳、水通量还对许多环境因子具有相似的响应特征。例如, 风能加快植被-大气间 CO_2 和水汽的湍流交换, 同时促进冠层的碳、水通量。低温和高温都能引起叶片气孔的闭合, 使得冠层碳、水交换受阻。良好的土壤水分条件不仅能增加冠层水汽通量还能促进光合作用, 增加冠层的碳吸收。而干旱不仅会降低冠层的水汽通量还能限制冠层的碳吸收^[22]。

生态系统碳-水耦合作用在大的区域上也有明显表现。从全球来看, 陆地植被生产力与蒸散量具有一致的分布特征^[23]。在大陆尺度上, 生态系统的年总初级生产力与蒸散量之间具有显著的线性正相关关系, 在同一植被类型内年总碳同化生产力与蒸散量的比值趋于一个稳定的数值^[24]。许多植被生产力模型, 例如 Miami、Thorntwaite Memorial 和 Chikugo (筑后) 模型都将降水量、蒸散量等水汽通量

作为主要的变量,认为植被生产力与水汽通量之间具有某种经验性的函数关系^[25]。Beer^[26]等人认为利用碳/水通量间的比值关系,通过蒸散量的分布可以估算大区域上碳同化生产力的分布。

3 碳-水耦合的数量特征——水分利用效率

在许多文献中都将生态系统碳/水交换比例定义为水分利用效率 (WUE)^[8,22]。在不同尺度上 WUE 的具体定义不同,反映的碳/水耦合特征也不同。

3.1 叶片水分利用效率

在叶片尺度上,水分利用效率的定义是光合速率与蒸腾速率的比值。根据公式 (3) 和 (4) 叶片水分利用效率 (WUE_l) 为:

$$WUE_l = \frac{A_n}{T_r} = \frac{g}{g} \times \frac{C}{W} = 0.625 \frac{C}{W} \quad (5)$$

式中, 0.625 是叶片对 CO₂ 和水汽的导度比^[13]。

(5) 式可以改写为:

$$WUE_l = 0.625 \frac{C_a - C_i}{W} = 0.625 C_a \frac{1 - a}{W} \quad (6)$$

式中, C_a 和 C_i 分别是叶片周围和气孔内的 CO₂ 浓度; a = C_i/C_a。许多研究认为,在正常的光合-蒸腾过程中,植物有将 a 保持为一稳定值的倾向^[27,28]。因此 (6) 式可以进一步改写为:

$$WUE_l = k \frac{C_a}{W} \quad (7)$$

式中 k = 1 - a。由公式 (7) 我们还可以推断: (1) 在稳定的 C_a 和 W 条件下, WUE_l 将保持恒定; (2) C_a 的升高有利于 WUE_l 的提高,而 W 则与 WUE_l 有负相关关系; (3) 在 CO₂ 浓度梯度试验中 (WUE_l × W) 与 C_a 有稳定的线性关系。以上推断已为许多试验所证实^[29]。

3.2 冠层光合水分利用效率

将叶片尺度上的公式 (7) 上推到冠层尺度,可以得到基于冠层光合生产力 (GPP) 与冠层蒸腾 (E_c) 的冠层光合水分利用效率 (WUE_c):

$$WUE_c = \frac{GPP}{E_c} = k \frac{C_a}{W} \quad (8)$$

式中 k 是一个与冠层的光合能力有关的常数类似于公式 (7) 中的 k。对于自然状况下的某一植被冠层而言 k 和 C_a 可以认为是基本稳定的,因此 WUE_c 就成为了一个主要由 W 控制的函数。W 反映的是大气对冠层蒸腾的“拉力”。冠层的蒸腾“拉力”还可以用水气压饱和差 (VPD) 来表征。在实际观测中 WUE_c 与 VPD 表现出负相关关系^[8,24]。

根据公式 (8), 设定某一参考状态下的 C_a⁰、W⁰ 分别为 C_a⁰、W⁰, 在测定状态下分别为 C_aⁿ、Wⁿ, 则测定状态下的冠层光合水分利用效率 WUE_cⁿ 可以用参考状态下的冠层光合水分利用效率 WUE_c⁰ 来估算^[29,30]:

$$WUE_c^n = \frac{C_a^n}{C_a^0} \frac{W^0}{W^n} WUE_c^0 \quad (9)$$

根据公式 (9) 我们就能用参考状态的 WUE_c 来估算更长时间尺度和不同环境中的 WUE_c^[29,30]。

3.3 生态系统水分利用效率

生态系统水分利用效率 (WUE_e) 可以定义为生态系统碳通量 (F_c) 与水通量 (F_w) 的比值。F_c 和 F_w 不仅包括 GPP 和 E_c, 还包括生态系统呼吸 (R_e) 的碳排放和土壤蒸发 (E_s)。

$$WUE_e = \frac{F_c}{F_w} = \frac{GPP - R_e}{E_c + E_s} = \frac{GPP(1 - \frac{R_e}{GPP})}{E_c(1 + \frac{E_s}{E_c})} \quad (10)$$

式中, $\frac{R_e}{GPP}$ 和 $\frac{E_s}{E_c}$ 分别是生态系统呼吸占冠层光合的比例 (R_e/GPP) 和土壤蒸发占冠层蒸腾的比例 (E_s/E_c)。在长时间尺度上, $\frac{R_e}{GPP}$ 可以被看作是一个稳定的常数^[20,31]。则是一个由叶面积指数和土壤湿度等共同影响的参数。在植被密闭的生态系统中, 如果土壤蒸发量很小, 可以近似为 0^[32]。

根据公式 (8) 和公式 (10), 我们可以得到:

$$WUE_e = k \frac{1 - \frac{R_e}{GPP}}{1 + \frac{E_s}{E_c}} \frac{C_a}{W} \quad (11)$$

用 VPD 替代 W, 并进一步简化, 可以将公式 (11) 改写为:

$$WUE_e = \alpha / VPD \quad (12)$$

式中, α 和 β 是常数, α < 0。公式 (12) 中所表达的 WUE_e 与 VPD 的函数关系, 已被许多观测试验所验证^[8,33]。利用 WUE_e 与 VPD 间的函数关系, 可以将单站点上得到的 WUE_e 值扩展到大的区域上去, 再结

合蒸散量的数据就可以估算大区域上的碳通量^[20]。

4 结语

目前,对陆地生态系统的碳、水循环研究已经很多。大量的观测研究已经足以证明碳-水之间存在着密切的耦合作用。我们将陆地生态系统的碳、水循环过程看成是基于土壤-植被节点、植被-大气节点(气孔节点)、土壤-大气节点和生化节点4个耦合节点的碳-水耦合过程。在这4个基本耦合节点上发生着由生物和环境共同调控的碳-水耦合作用。植物体内的碳-水生化反应实现了碳-水间最基础和最刚性的耦合,成为陆地生态系统碳-水耦合的动力基础。气孔调控下的光合-蒸腾过程是陆地生态系统碳-水耦合过程中最重要的环节,气孔对光合-蒸腾的共同控制及其优化调控机制构成了陆地生态系统碳-水耦合的生理学基础。在冠层和更大尺度上,生态系统对碳、水循环具有同向驱动机制,碳、水通量对环境因子的响应也表现有很强的相似性。这些构成了陆地生态系统碳-水耦合的基本作用机制。通过对叶片水分利用效率、冠层光合水分利用效率和生态系统水分利用效率的分析,我们对碳-水耦合过程中的碳/水耦合比例关系有了基本的了解。我们只是在当前碳、水循环相关研究基础上对陆地生态系统碳-水耦合的基本过程和基本机制做了初步总结。陆地生态系统碳-水耦合研究才刚刚起步,还需要更系统和深入的研究。

参考文献

- [1] Vorosmarty C J, Green P, Salisbury J, Lammers R B. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, 2000, 289: 284~288.
- [2] Treut L H, Somerville R, Cubasch U, Ding Y, Mauritzen C, Mokssit A, Peterson T, Prather M. Historical Overview of Climate Change. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 95~111
- [3] 于贵瑞, 王秋凤, 于振良. 陆地生态系统水-碳耦合循环与过程管理研究. *地球科学进展*, 2004, 19 (5): 831~838.
- [4] Yu G R, Wen X F, Sun X M, Tanner B D. Overview of ChinaFlux and evaluation of its eddy covariance measurement. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2006, 137: 125~137.
- [5] 耿元波, 董云社, 孟维奇. 陆地碳循环研究进展. *地理科学进展*, 2000, 19(4): 297~306.
- [6] 于贵瑞, 王秋凤. 我国水循环的生物学过程研究进展. *地理科学进展*, 2003, 22(2): 111~117.
- [7] 胡中民, 于贵瑞, 樊江文 等. 干旱对陆地生态系统水碳进展的影响研究进展. *地理科学进展*, 2006, 25 (6): 12~20.
- [8] Zhao F H, Yu G R, Li S G, Ren C Y, Sun X M, Mi N, Li J, Ouyang Z. Canopy water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 2007, 93: 99~108.
- [9] 黄占斌, 山仑. 不同供水下作物水分利用效率和光合速率日变化的时段性及其机理研究. *华北农学报*, 1999, 14 (1): 47~52.
- [10] 李卫民, 周凌云. 水肥(氮)对小麦生理生态的影响() 水肥(氮)条件对小麦光合蒸腾与水分利用的影响. *土壤通报*, 2004, 35(2): 136~142.
- [11] 赵风华, 陈 阜. 北京地区引种菊苣在不同水分条件下光合与蒸腾特性初探. *华北农学报*, 2005, 20 (2): 63~65.
- [12] Cowan I R, Farquhar G D. Stomatal function in relation to leaf metabolism and environment. In: *Society for Experimental Biology Symposium, Integration of Activity in the Higher Plant*. Jennings D H(eds.), Society for Experimental Biology, Cambridge, 1977, 31: 471~505.
- [13] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317~345.
- [14] Williams W E. Optimal water-use efficiency in a California shrub. *Plant, Cell and Environment*, 1983, 6: 145~151.
- [15] Hall A E, Schulze E D. Stomatal response to environment and possible interrelation between stomatal effects on transpiration and CO₂ assimilation. *Plant, Cell and Environment*, 1980, 3: 467~474.
- [16] 张永强, 沈彦俊, 刘昌明 等. 华北平原典型农田水、热与 CO₂ 通量的测定. *地理学报*, 2002, 57(3): 333~342.
- [17] 朱治林, 孙晓敏, 张仁华 等. 作物群体 CO₂ 通量和水分利用效率的快速测定. *应用生态学报*, 2004, 15 (9): 1684~1686.
- [18] Song X, Yu G R, Liu Y F, Sun X M, Lin Y M, Wen X F. Seasonal variations and environmental control of water use

- efficiency in subtropical plantation. *Science in China: Series D*, 2006, 49(supp.): 110~118.
- [19] Steduto P, Albrizio R. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II. Water use efficiency and comparison with radiation use efficiency. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2005, 130: 269~281.
- [20] Steduto P, Hsiao T C. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 2007, 25: 189~207.
- [21] Yu G R, Wang Q F, Zhuang J. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis - transpiration based on stomatal behavior. *Journal of Plant Physiology*, 2004, 161: 303~318.
- [22] Yu G R, Song X, Wang Q F, Liu Y F, Guan D X, Yan J H, Sun X M, Zhang L M, Wen X F. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables. *New Phytologist*, 2007, (in press).
- [23] Hetherington A M, Woodward F I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 2003, 424: 901~908.
- [24] Law B E, Falge E, Gu L, Baldocchi D D, etc. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2002, 113: 97~120.
- [25] 周广胜, 郑元润, 陈四清 等. 自然植被净第一生产力模型及其应用. *林业科学*, 1998, 34(5): 2~11.
- [26] Beer C, Reichstein M, Ciais P, Farquhar G D, Papale D. Mean annual GPP of Europe derived from its water balance. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34: L05401.
- [27] Wong S C, Cowan I R, Farquhar G D. Stomatal conductance correlates with photosynthesis capacity. *Nature*, 1979, 282: 424~426.
- [28] Morison J I L. Intercellular CO₂ concentration and stomatal response to CO₂. In: Zeiger E, Farquhar G D, Cowan I R (eds.) *Stomatal function*. Stanford University Press, Stanford, 1987, 229~251.
- [29] Hsiao T C. Effects of drought and elevated CO₂ on plant water use efficiency and productivity. In: Jackson M B, Black C R (eds.) *Interactive stressed on plants in a changing climate*. NATO ASI series, I (16). Berlin: Springer-Verlag, 1993, 435~465.
- [30] Xu L K, Hsiao T C. Predicted versus measured photosynthetic water-use efficiency of crop stands under dynamically changing field environments. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(407): 199~206.
- [31] Albrizio R, Steduto P. Photosynthesis, respiration and conservative carbon use efficiency of four field grown crops. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2003, 116: 19~36.
- [32] Liu C M, Zhang Y Q. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and microlysimeter. *Agriculture and Forest Meteorology*, 2002, 111: 109~120.
- [33] Testi L, Orgaz F, Villalobos F. Carbon exchange and water use efficiency of a growing, irrigated olive orchard. *Environmental and Experimental Botany*, 2007(in press).

A Review on the Coupled Carbon and Water Cycles in the Terrestrial Ecosystems

ZHAO FengHua^{1,2}, YU GuiRui¹

(1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, the Center for Synthesis Research, Chinese Ecosystem Research Network Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstracts: Carbon and water cycles absorbed much attention in the global change researches. There were many observations indicating that they were robustly coupled in the terrestrial ecosys-

tems. Here we reviewed the correlations between carbon and water cycles from leaf to canopy and to larger scales. Moreover, we discussed the general mechanisms of the coupling relationships between carbon and water cycles. The chain between carbon and water cycles was analyzed into four links: soil-plant link, plant-atmosphere link (stomata link), soil-atmosphere link and biochemical link. The causes for the strong correlations between carbon and water could be generalized as three fundamental functions: 1) the chemosynthesis between carbon and water; 2) the stomatal controls on gas exchange and its optimal function; and 3) the common driving forces and similar controls for carbon and water cycles in the terrestrial ecosystems. Water use efficiency defined as the ratio of carbon assimilation to water use also was discussed as a suitable term indicating the quantity relationship between carbon and water.

Key words: carbon cycle; water cycle; water use efficiency; terrestrial ecosystem; global change