

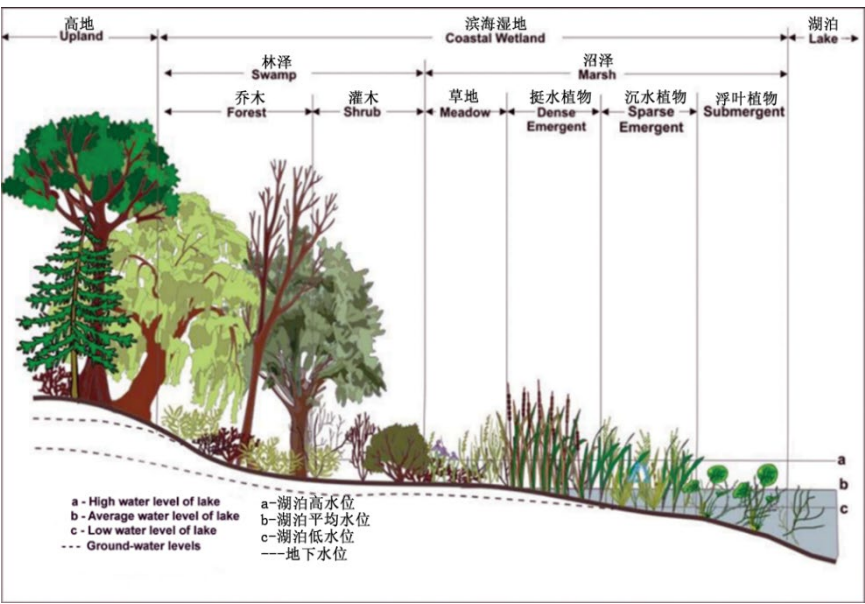
# 章节 1：湿地简介

撰稿人：Darold Batzer（佐治亚大学）、Gary Ervin（密西西比州立大学）、Derek Faust（克洛弗帕克技术学院），  
 翻译人：刘文文（厦门大学）、杨林燕（厦门大学）翻译。

## 概述

湿地是一种独特的生境类型，其界定特征为土壤被永久或季节性较浅的水淹没。这种特殊的水文特征决定了湿地特有的环境属性(包括土壤和水化学特征)以及生物群(包括微生物、植物和动物)的存在。与陆生生境一样，湿地通常生长着茂盛的植物(包括草本植物、乔木和灌木)，但这些植物必须耐受淹水与干旱交替的条件。与水生和海洋生境(如海洋、湖泊、河流、溪流)相似，湿地为水生无脊椎动物、两栖动物和鱼类提供了栖息地，但这些生物必须适应周期性的淹水和低氧的生存条件。许多鸟类和少数哺乳动物是湿地的特有物种。湿地可分为淡水湿地和咸水湿地，这一差异构成了影响湿地生物群落的重要生态因子。

“湿地”是一个广义术语，涵盖多种生境类型，包括草本或草甸状沼泽(可为淡水或咸水)、木本沼泽(具有乔木植被)、酸沼或碱沼(统称泥炭地)以及红树林(潮汐森林)等。湿地广泛分布于湖泊和河流(泛滥平原)的边缘以及海岸带(盐沼和红树林)；泥炭地和小型洼地湿地常见于历史上曾被冰川覆盖的地区或平坦的沿海平原。一些具有代表性的湿地包括南美洲的亚马逊泛滥平原和潘塔纳尔湿地，北美的佛罗里达大沼泽地(Everglades)和坑洼湿地(Prairie Pothole Region)，加拿大、西伯利亚和斯堪的纳维亚的苔原湿地，北欧、加拿大和俄罗斯的泥炭沼泽，澳大利亚的死水潭(Billabongs)，非洲的奥卡万戈三角洲以及印度的孙德尔本斯红树林等。湿地对人类具有多重生态功能，包括洪水调蓄、水质净化、海岸防护，以及支持其他生境中难以见到的生物多样性。然而，湿地正受到人为排水改造、填埋活动以及气候变化等多方面的威胁。



沿湖岸分布的不同类型湿地示意图（Doug Wilcox 提供）

## 什么是湿地？

“湿地”是一个统称，用于指代草本沼泽、木本沼泽、酸沼或碱沼等多种生境类型（见下文）。《牛津英语词典》将湿地定义为：一片经常被水浸透的陆地区域。

《拉姆萨尔公约》（1979年通过的国际公约）提供了更详细的国际定义：不论其天然和人工，长久或暂时性的沼泽地带，带有静止或流动，或为淡水、半咸或咸的水体，包括退潮时水深不超过六米的海域。

在美国，湿地的法律定义是：“湿地”是指那些被地表水或地下水淹没或浸透（饱和土），淹没的频率和持续时间足以支持，且在正常情况下确实支持了大量适应饱和土壤环境下生长的植物的区域。湿地通常包括木本沼泽、草本沼泽、酸沼以及类似生境。

（Environmental Laboratory, 1987）。

上述所有定义均强调水的存在对湿地而言至关重要，尽管水不一定出现在地表。美国的法律定义进一步指出，水通过使土壤长期处于饱和状态（饱和土）从而影响土壤性质，而水与饱和土的共同作用促成了湿地特有植物的生长。因此，淹水、饱和土以及湿地植被是大多数湿地定义中的关键要素。关于一系列湿地定义的更多细节可以在 Sharitz et al. (2014) 中找到。

湿地的定义在科学研究中具有重要意义，因为湿地中存在的生物群落及其生态过程与其他类型的栖息地（如陆地、湖泊、溪流、河流、海洋等）具有显著差异。湿地研究的一个特殊性在于，研究者往往需要向他人明确界定其研究对象所处的生境类型，而这在从事森林、草原、溪流、河流、湖泊或海洋研究的学者中则较为少见。在法律领域，对湿地进行明确的定义同样重要，因为其可能直接决定相关法规是否适用（如美国的《水质净化法》）。法律上的湿地定义通常强调湿地范围的界定，即明确其起止边界（Environmental Laboratory, 1987）。然而，随着对湿地的深入了解，人们会逐渐意识到这种“边界”具有一定的主观性，因为湿地的“边界”是模糊的，并且许多湿地生物并不受这些人为划定的“边界”约束。

## 湿地的形成

湿地通常出现在特定的地理景观中（Jackson et al., 2014），其空间分布的广度及生态功能在很大程度上受到历史与当前地质特征的共同影响与制约。

淡水湿地通常分布于河流与湖泊周边地区（如泛滥平原与浅水沿岸带，见下图和上图）。在地势平坦的滨海平原上，河流的泛滥平原往往会分布广泛；而在地形陡峭的地区，泛滥平原可能相对狭窄。河流或湖泊中水位的波动程度会显著影响泛滥平原的形成与演变。泛滥平原对人类社会具有重要意义，不仅因为其具备调蓄洪水、减缓洪灾影响的功能，还因其具备净化水质的生态服务作用（Costanza et al., 1997）。



河流泛滥平原（美国地质勘探局提供）

历史上曾被冰川覆盖的地区往往分布着大量湿地，这些湿地多形成于地势低洼的洼地中，其形成机制主要包括冰河时期冰川侵蚀作用和冰碛物堆积等冰川活动。北美中北部平原的草原洼地地区（见下图，Galatowitsch, 2012）是冰川塑造地貌的典型代表，该区域分布着数以百万计的小型湿地。较大的“洼地”常被称为湖泊，洼地和湖泊的形成过程可能具有相似性，全球各地的“湖泊”地区通常拥有丰富的湿地资源。



北达科他州的草原洼地湿地（美国地质调查局北方草原野生动物研究中心提供）

世界上湿地分布最广泛的地区主要位于西伯利亚、加拿大、阿拉斯加和斯堪的纳维亚半岛的苔原地带（Bridgham et al., 2006）。这些地区的永久冻土层阻止地表水向下渗透，导致表层土壤长期处于饱和状态，从而形成湿地（Gough, 2012）。历史上的冰川侵蚀作用对苔原地区的地貌产生了深远影响，为湿地的广泛分布提供了有利的地形基础（这与苔原以南的冰川区情况类似）。在当前全球气候变暖背景下，这些湿地具有尤为重要的意义。随着气温上升，苔原湿地可能会出现干旱现象，土壤中的有机质（泥炭）可能会加速分解，释放更多的温室气体，从而加剧气候变暖（Bridgham et al., 2006; Gough 2012）。



阿拉斯加的苔原泥炭地（美国国家海洋和大气管理局提供）

在以石灰岩为基岩的地貌区域（称为喀斯特地貌），由于石灰岩在长期风化过程中发生溶蚀作用，地表可能会出现塌陷或下沉，进而形成低洼洼地。美国东南沿海平原的柏树穹丘（cypress domes）与石灰洼湿地（limesink wetlands）（Kirkman, 2012），以及爱尔兰季节性洼地湖（turloughs）（Reynolds, 2016）均属于此类典型湿地。此外，喀斯特地貌区常见淡水泉的分布，在这些地下水排泄区也常形成具有特殊生态水文特征的湿地（见下图）。



犹他州与淡水泉相关的湿地（Mary Jane Keleher 拍摄，获加州大学出版社授权）

海洋潮汐作用沿着大陆海岸线塑造了多种类型的湿地，包括高纬度寒冷地区的盐沼（见下图，Pennings et al., 2012）以及热带和亚热带地区的红树林沼泽（McKee, 2012）。每日周期性的潮汐淹水使土壤长期处于潮湿和高盐环境中，形成了适宜耐盐耐淹植物（如米草属植物和红树植物）生长的特殊环境。在大型河流的河口区域，海水与河水及其所携带的溶解养分相互混合，形成了营养丰富、盐度适中（半咸水）的环境，有利于大面积河口湿地的形成。这些河口湿地通常被视为是地球上动植物生产力最高的湿地生态系统之一。与淡水泛滥平原类似，潮汐湿地对风暴潮引发的洪水具有重要的缓冲作用。



美国佐治亚州的盐沼和白鹭（Steve Pennings 提供）

## 湿地水文学

由于湿地的形成依赖于水的存在，因此水源类型对湿地的生态功能（包括生态过程和生物组成）具有重要的影响。湿地的水分来源通常有三个途径：其一是来自大气的降水，包括降雨或降雪；其二来自地下水，即地下水排放到地表汇入湿地；其三，来自侧向径流，包括地表径流、河流、邻近河流或湖泊的洪水、或潮汐引起的洪水进入湿地并流经湿地。侧向径流的具体来源类型往往是决定湿地生态结构与功能的关键因素之一。

水分如何离开湿地也很重要。湿地中的水分可以通过垂直方向的蒸发或植物的蒸腾作用共同释放，统称为蒸散（ET，Evapotranspiration）。此外，水分还可以向下渗透，补给地下含水层。湿地通常被认为具有补给地下水的功能，这一观点在一定条件下是成立的，但需要指出的是，大多是深层地下含水层主要由高地降水补给，这些地区一般缺乏不透水的黏土层（隔水层），水分能够较快渗透至土壤深层。相比之下，湿地更可能补给的是地表含水层。最后，湿地中的水分可以通过侧向径流返回到河流、湖泊或海洋，或流出湿地生态系统。

从概念上来看，将湿地视为一个水分输入与输出系统，有助于理解其水文过程，重点在于识别湿地的主要水源（输入）以及水分离开的主要路径（输出）（Jackson et al., 2014）。这种分析方法称为水量平衡（但需注意，在大多数情况下，对输入与输出量进行精确测量是具有挑战性的工作）。以下水量平衡公式概括了大多数湿地的水分输入与输出的主要途径：

$$\begin{aligned} & \text{输入（降水+地下水流入+侧向径流流入）} = \\ & \text{输出（蒸散+地下水流出+侧向径流流出）} + \text{储存} \end{aligned}$$

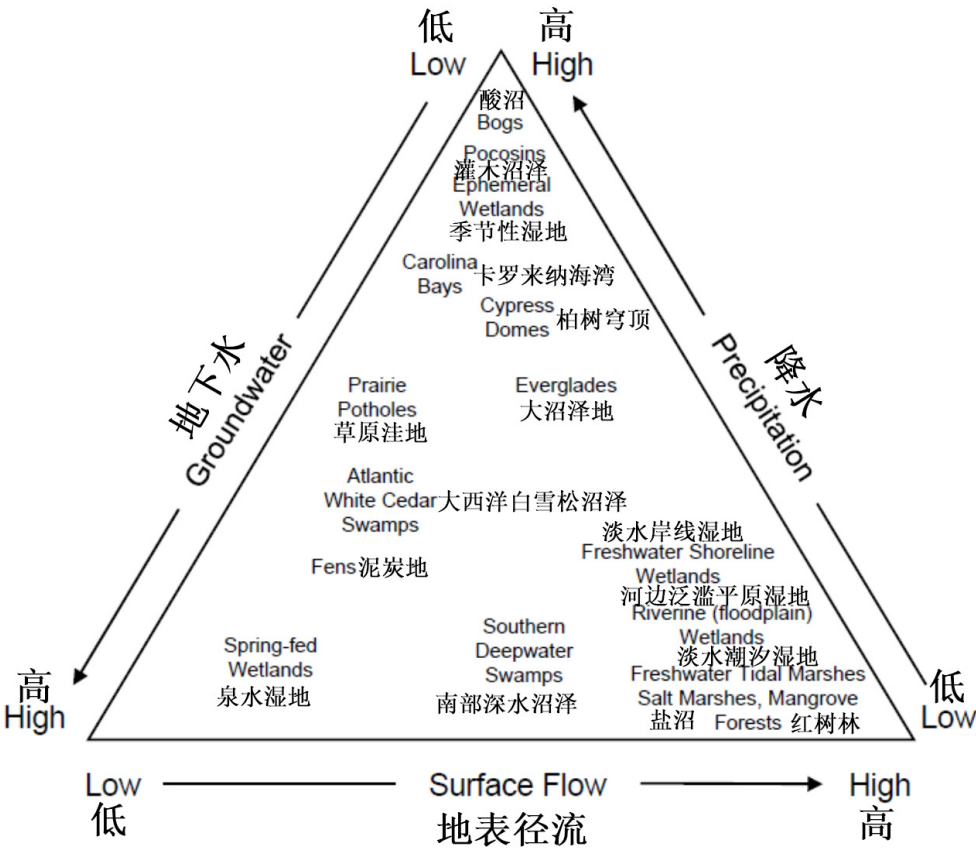
当水分输入量大于输出量时，蓄水量为正值（即湿地处于淹没状态）。相反，水分输出大于输入，则该生境属于缺水状态并逐渐干涸。因此，许多湿地在一年中的某些时期会经历干旱。

对于多数人而言，理解水量平衡公式可能具有一定的挑战性。但对于某些类型的湿地，其水量收支过程实际上非常简单。例如，岩池（rockpools）及某些洼地型湿地几乎

完全依赖直接降水补给，水分主要通过蒸散作用（evapotranspiration）损失，其地下水与侧向径流几乎可以忽略不计。相反，某些湿地的人文过程则极其复杂，远超上述水量平衡公式所涵盖的部分。

水量并不是衡量水源重要性的唯一因素。例如，泛滥平原和潮汐湿地的主要水量输入来源于河流和海洋的侧向输入，而直接降水和地下水输入所占比例相对较小。尽管降水与地下水输入在整体水量收支中所占比重有限，但其对湿地内的植物和动物具有关键生态意义，特别是在洪水间隔期间，它们有助于保持土壤湿润，从而维持生物生存与生态功能。

下图所示的“湿地水文三角模型”（Sharitz et al., 2014）形象地展示了不同水源（降水、地下水或侧向径流输入）在湿地形成中的相对重要性。三角形的右下角是以侧向径流输入为主的湿地类型（例如潮汐或河流洪水输入），如泛滥平原、盐沼和红树林。左下角代表地下水输入为主要来源的湿地类型，如与泉水相关的湿地。三角形的顶点则代表以降水为主要水源的湿地，如泥炭沼泽和一些低洼（季节性）湿地的特征。在三角形中部的湿地则同时受到三种水源的共同影响，例如佛罗里达的大沼泽地（Everglades）。若你关注某一具体湿地的生态过程，尝试将其定位于该水文三角模型中，可能有助于理解其水文机制对生态功能的影响。



水文三角模型展示了地下水、降水和侧向径流对不同类型湿地的相对水源输入（Rebecca Sharitz 和 Mark Brinson 提供，获加州大学出版社授权）

## 湿地土壤和微生物

湿地通常能够长时间滞留水分，这是因为随着时间的推移，其底层逐渐形成了较厚的不透水黏土层或富含有机质的土壤层（隔水层），阻碍水分向下渗透(Jackson et al. 2014)。人工湿地面临的挑战之一在于，湿地独特的土壤条件往往需要较长时间才能形成，而人工湿地往往比天然湿地干得更快。天然湿地的重要生态功能之一正是其低渗透性的土壤结构，有助于水分在地表汇聚与滞留，从而增强其储水与保水能力。

湿地土壤中还存在着独特的细菌群落，这是由于有机质分解过程中大量消耗水体中的氧气，从而造低氧或无氧环境。陆地土壤中的大多数细菌都是好氧菌（利用氧气进行呼吸作用），但在湿地土壤中，细菌必须利用除氧以外的其他电子受体进行代谢，这类细菌被称为厌氧菌。厌氧菌常用的替代电子受体包括硝酸盐、硫酸盐和氧化铁。当这些氧化性化合物被消耗殆尽后，一类称为产甲烷菌的土壤细菌会利用  $\text{CO}_2$  作为电子受体，将其还原为甲烷。由于甲烷是一种强效的温室气体，一些湿地可能会在自然状态下加剧气候变暖。若有机物分解加速导致  $\text{CO}_2$  释放速率超过湿地对温室气体的吸收能力，这一过程将会引发严重后果。

陆地土壤通常呈现橙色（源自氧化铁，即铁锈）或黄色（源自锰的氧化态），但当这些土壤长期被水淹没而处于缺氧状态时，厌氧菌会将这些氧化物还原，导致土壤颜色转变为灰色或黑色（如下图所示）。这种土壤颜色的变化是判定湿地条件的一项重要指标，被广泛用于评估土壤是否满足湿地识别所需的“饱和土”。因此，除了作为重要生态过程（如有机质分解）发生的介质外，土壤特征在湿地划定与管理法规中也具有关键意义。



氧化态（铁锈色）和还原态（灰色）的湿地土壤（Derek Faust 提供）

## 湿地植物

由于湿地中经常发生的淹水以及厌氧环境，植物群落往往由能够耐受这些严酷条件的植物组成。特定湿地中所生长的植物类型通常被用来界定该类生境，许多湿地类型的常见名称也反映了其优势植物种类。

草本沼泽是一类淡水或咸水湿地，其植被以挺水植物为主，例如，香蒲、禾草、莎

草和芦苇（淡水沼泽）或米草、灯心草和盐角草（盐沼，见上文）等植物。淡水沼泽中较深水域常见浮水植物或沉水植物，如睡莲或眼子菜类。草本沼泽植物的种子通常需要暴露在空气中才能萌发，因此在经历干涸后重新被水淹没的阶段，挺水植物往往会大量生长。如果缺乏适宜的萌发条件，这些种子可长期滞留在水下底部，形成所谓的“种子库”。

木本沼泽是以木本植物（乔木和灌木）为主的湿地生态系统（见下图）。在欧洲，有一种被称为“芦苇沼泽”的湿地，但从更广义的湿地分类角度来看，它们应被归类为草本沼泽的一种。由此可见，不同地区的通俗名称可能导致分类上的混淆。木本沼泽中占主导地位的树木或灌木种类在地理区域和局部尺度上存在显著差异。落羽杉属（*Taxodium* spp.）沼泽广泛分布于美国东南部和中部，常见于河流的泛滥平原（King et al., 2012）或洼地湿地，例如卡罗来纳湾（Carolina bay）和柏树穹丘（Cypress dome）（Kirkman et al., 2012）。在河流泛滥平原，也广泛分布有阔叶落叶林（通常以橡树为主）（King et al., 2012）。亚马逊盆地的大部分地区都是木本沼泽。同样，红树林是一类耐盐乔木，广泛分布于热带和亚热带沿海潮汐湿地，构成典型的红树林湿地。此外，其他可形成木本沼泽的树种还包括大西洋白雪松、红枫、赤桉、黑桉和白杨。许多泥炭地支持乔木的生长，但通常不会将这类有乔木覆盖的泥炭地称为木本沼泽。

泥炭地是由植物残体累积而成的湿地类型，其形成的基本特征是植物的生产速率超过有机质的分解速率，导致有机物质在多年乃至数百年中缓慢积累，最终形成泥炭。在酸沼和苔原湿地中，泥炭藓（*Sphagnum* spp.）通常是泥炭形成的主要来源。然而，以莎草为代表的挺水植物（碱沼）、锯齿草（大沼泽地）或枯死树干（奥克弗诺基沼泽）也可称为泥炭的主要构成物质。



美国佐治亚州的木本沼泽湿地（Darold Batzer 提供）

## 湿地动物

由于湿地兼具水生与陆生生态系统的特征，因此为多样的动物类群提供了栖息生境，但这些动物也必须适应湿地中特殊的环境条件。对于水生动物（无脊椎动物和鱼类）来说，它们必须能够忍受低氧环境以及周期性的干涸；而陆生动物（无脊椎动物、鸟类和哺乳动物）则需能够适应周期性淹水，并具备在水域周边生存和觅食的能力。因此，两

栖动物（蛙类、蟾蜍和蝾螈）在淡水湿地中尤其常见，它们能在水生与陆生环境中生活。频繁经历干涸的湿地中的动物群与极少出现干涸现象的湿地中的动物群存在显著差异（Wellborn et al., 1996）。在潮汐湿地中，盐度是调控动物群落组成的重要环境因子，沿盐度梯度（从咸水到半咸水再到淡水）动物群落表现出明显的组成变化。

与大多数陆地、水生和海洋生境相比，大多数湿地的动物种类相对较少。其中，物种多样性主要体现在无脊椎动物群落（昆虫、甲壳类和软体动物）。然而，由于栖息于湿地的动物类群通常与其他生境中的物种截然不同，湿地动物在区域生物多样性中仍具有重要贡献。湿地中生活着许多濒危动物，其中两栖动物和鸟类是典型代表。此外，鳄鱼、蛇和海狸等也是典型的湿地动物代表。



沙丘鹤（图片来源：奥克弗诺基国家野生动物保护区）



蜻蜓（Clesson Higashi 提供）



拟蝗蛙（Kevin Enge 提供）

## 致谢

我们感谢 Beth Middleton 和 Greg Noe 对本章节的审阅。

## 参考文献

- Bridgman, S.D., J.P. Megonigal, J.K. Keller, N.B. Bliss, and C. Trettin. 2006. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26: 889-916.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, and M. Van Den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630): 253-260.
- Environmental Laboratory. 1987. Corps of Engineers wetlands delineation manual. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. Wetland Research Program Tech. Rep. Y-87-1.
- Galatowitsch, S. 2012. Northern Great Plains wetlands. In Batzer, D.P. and A. Baldwin (eds.). *Wetlands Habitats of North America*. University of California Press, Berkeley.
- Gough, L. 2012. Freshwater arctic tundra wetlands. In Batzer, D.P. and A. Baldwin (eds.). *Wetlands Habitats of North America*. University of California Press, Berkeley.
- Jackson, R., J. Thompson, and R. Kolka. 2014. Wetland soils, hydrology, and geomorphology. In Batzer, D. P., and R.R. Sharitz (eds.) *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. University of California Press, Berkeley.
- King, S.L., L.L. Battaglia, C.R. Hupp, R.F. Keim, and B.G. Lockaby. 2012. Floodplain wetlands of the Southeastern Coastal Plain. In Batzer, D.P. and A. Baldwin (eds.). *Wetlands Habitats of North America*. University of California Press, Berkeley.
- Kirkman, L.K., L.L. Smith, and S.W. Golladay. 2012. Southeastern depressional wetlands. In Batzer, D.P. and A. Baldwin (eds.). *Wetlands Habitats of North America*. University of

- California Press, Berkeley.
- McKee, K.L. 2012. Neotropical coastal wetlands. In Batzer, D.P. and A. Baldwin (eds.). *Wetlands Habitats of North America*. University of California Press, Berkeley.
- Pennings, S.C., M. Alber, C.R. Alexander, M. Booth, A. Burd, W. Cai, and J.P. Wares. South Atlantic tidal wetlands. In Batzer, D.P. and A. Baldwin (eds.). *Wetlands Habitats of North America*. University of California Press, Berkeley.
- Reynolds, J.D. 2016. Invertebrates of Irish Turloughs. In Batzer, D.P. and D. Boix (eds.). *Invertebrates in Freshwater Wetlands*. Springer, Switzerland.
- Sharitz, R.R., D.P. Batzer, and S.C. Pennings, 2014. Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands: An Introduction. In Batzer, D. P., and R.R. Sharitz (eds.) *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. University of California Press, Berkeley.
- Wellborn, G.A., D.K. Skelly, and E.E. Werner. 1996. Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient. *Annual Review of Ecology and Systematics* 27: 337-363.

## 其他参考文献

- Barendregt, A. D. Whigham, and A. Baldwin (eds). 2009. *Tidal Freshwater Wetlands*. Backhuys Publishers, Leiden.
- Batzer, D.P. and A.H. Baldwin (eds.). 2012. *Wetland Habitats of North America: Ecology and Conservation Concerns*. Univ of California Press, Berkeley.
- Batzer, D.P. and R.R. Sharitz (eds.). 2014. *Ecology of Freshwater and Estuarine Wetlands*. Univ of California Press, Berkeley.
- Ervin, G.N. 2023. *The Biology of Aquatic and Wetland Plants*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Finlayson, C., M. Everard, K. Irvine, R.J. McInnes, B.A. Middleton, A. van Dam, and N. Davidson. 2018. *The Wetland Book I: Structure and Function, Management and Methods*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Finlayson, C., G.R. Milton, R.C. Prentice, and N. Davidson. 2018. *The Wetland Book II: Distribution, Description and Conservation*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- FitzGerald, D.M. and Z.J. Hughes (eds.). 2021. *Salt Marshes: Function, Dynamics, and Stresses*. Cambridge University Press.
- Keddy, P.A. 2010. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Cambridge University Press.
- Middleton, B.A. (ed.). 2002. *Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink. 2015. *Wetlands*. John Wiley & Sons, New York.
- van der Valk, A. 2012. *The Biology of Freshwater Wetlands*. Oxford University Press.
- National Research Council, Committee on Characterization of Wetlands. 1995. *Wetlands: Characteristics and Boundaries*. National Academy Press, Washington, DC.
- Tiner, R.W. 2013. *Tidal Wetlands Primer: An Introduction to Their Ecology, Natural History, Status, and Conservation*. University of Massachusetts Press, Amherst, MA.
- Tiner, R.W. 2017. *Wetland Indicators: A Guide to Wetland Formation, Identification, Delineation, Classification, and Mapping*. 2<sup>nd</sup> Edition. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Vepraskas, M.J. and C.B. Craft (eds). 2016. *Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification*. 2<sup>nd</sup> Edition. CRC Press, Boca Raton, FL.