

# 植物地境及物种地境稳定层

徐恒力,孙自永,马 瑞

中国地质大学环境学院,湖北武汉 430074

**摘要:** 植物地境是其生境的重要组成部分. 地境结构的系统分析应作为探索植物与其地境生态关系的重要手段之一. 植物地境具有鲜明的耗散结构特征,内部的宏观稳定性和层次性是适应外界环境的自组织结果,并与植物根群的“层片”结构相契合. 每一“层片”代表一个特定的地下小环境. 若地境具有多个“层片”,说明该地境拥有可被多种植物利用的多样小环境. 根群作为根系的主功能区,是联系植物与地境的纽带. 与植物的根系相比,根群的“层片”现象更清晰. 通过根群的“层片”,不同植物实现资源分割,避免过激竞争,能够长期共存. 基于地境耗散结构特征分析和各物种根群所处深度范围的统计结果,首次建立了物种地境稳定层的概念. 某一物种根群所处的位置即为该物种的地境稳定层. 物种地境稳定层可作为地境生态功能分层的基本单位. 较之地境全剖面各指标的平均值,地境稳定层内理化指标组态更为真实地反映了植物生存的地下环境,可用以确定物种的生存域;不同植物的生理和生活习性是对其稳定层内指标组态量值及动态变化规律的一种响应;地境所能提供的稳定层的多寡及组态对地表植物群落的结构具有一定的控制作用;地境稳定层的消失和产生,可导致对应物种的消亡和入侵,造成植物群落的演替.

**关键词:** 植物地境;耗散结构;层片;根群;物种地境稳定层.

中图分类号: P641. 69

文章编号: 1000-2383(2004)02-0239-08

收稿日期: 2003-08-22

## Plant Below-Ground Habitat and Stable Layer of Plant Species in Habitat

XU Heng-li, SUN Zi-yong, MA Rui

*School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*

**Abstract:** Plant below-ground habitat is an important part of the plant habitat, and the systemic analysis of its structure should be emphasized in seeking for the regulations of the ecological relationship between plant and its habitat. Remarkable characteristics of the dissipative structure are discovered in the plant below-ground habitat, made up of many layers displaying macroscopic stability as a result of the self-organization. This layered structure of the plant below-ground habitat is well consistent with the synusium of the root masses. This synusium allows us to predict that each layer means one special below-ground little living environment for the root mass of the plant species, and if the below-ground habitat is made up of many such layers, it would provide various little below-ground living environments for different plant species. In the analysis, the root mass of the plant, defined as the part of the roots performing the major function of absorbing soil resources, is the linchpin between the plant and its below-ground habitat. Compared with the root system, the synusium of the root masses among different plants is clearer, by which, different plants can partition the resources in different deep layers to avoid intensive competition and coexist for long term. Based on the analysis of the dissipative structure of plant below-ground habitat and statistical results about the depth of the species root mass, the concept "stable layer of plant species in below-ground habitat" (SLPSBH) is built, which can be determined by the position of the root mass and used as the basic unit for layering the plant below-ground habitat in view of its ecological function. With the concept, we may predict that (1) the configuration of physical and chemical indexes in the stable layer can characterize the below-ground living environment of the plant more truly than the averages of the indexes in whole soil profile, (2) some life habits and physiological characteristics of the plant species is built on long-term adapt to the value and dynamic of the configuration in its stable layer, (3) it may be how

基金项目: 国土资源部 2000 年科技专项计划《西北地区水资源与可持续利用》项目 (No. 200010302).

作者简介: 徐恒力 (1945—), 男, 教授, 主要从事水文地质、环境地质和生态地质专业的教学和科研工作. E-mail: xuhengli@sohu.com.

many SLPSBH can be provided in below-ground habitat for different plant species that determines the structural features of the plant community, and (4) the plant species which SLPSBH exists no longer would disappear from the community, while the new comers may invade for they can find their SLPSBH, leading to the succession of the plant community.

**Key words:** plant below-ground habitat; dissipative structure; synusium; root mass; stable layer of plant species in below-ground habitat.

由土壤、部分母质及包含在其中的水分、盐分、空气、有机质等构成的地下空间实体,是植物赖以生存的营养源和根系的固持基质.植物的种类、群落的结构及植物的生长状况都与地下空间的水土条件有着不可分割的关系.正因如此,早在 1935 年英国植物生态学家 Tansley 提出生态系统概念时就明确指出:生态系统是由生物成分和非生物成分共同构成的统一整体,两者相互联系、相互作用,是生态系统功能统一的重要原因(Tansley, 1935). 在一个特定的陆地生态系统中,植物根系所占据的地下空间,应是该生态系统内部的一个子系统.为了表述方便且尊重生态学家目前的用语习惯,本文将这一地下空间称为植物的地下生境(plant below-ground habitat),简称“地境”.植物与生境特别是与地境的有机联系是地球上各种生态关系构成的基础.事实上,几乎所有生态学基本科学问题的探索都离不开对地境的研究:除了生物学的解释外,植物遗传特性的延续在一定程度上与地境水土条件的宏观稳定性有关;物种的变异往往与地境演化有关;即使在生态系统稳定性和物种多样性的问题上,人们也会发现,地境中可供植物利用的资源数量、时空分布格局同样有着重要的意义.总之,地境的生态学意义不仅在于它是植物生存繁衍不可或缺的资源提供者和活动空间,更重要的是,植物的许多形态学特征和生理行为产生的原因,都有可能通过地境的结构分析获得重要的信息和部分解答.

## 1 研究现状

尽管当前生态学研究已深入到不同生态系统和各种层次水平,但植物生境方面的研究,尤其是植物与地境的生态学关系以及地境生态功能分层问题仍未很好地解决.从事生态学研究的大多数生物学家,把注意力集中在植物的种群、群落上,将其视为研究主体,以揭示其内部的结构关系和群落演替的规律,至于对主体有影响的那些非生物要素,则被当作环境因子,即来自外界的作用而不再对其结构作进一

步的分析.从生态系统生态学的角度来看,这种处理方法由于没有充分体现植物与地境之间的结构关联和协同作用,因而在对各种生态问题的解答上是不完善的.除此之外,最近十余年来也有许多学者注意到地境的重要性,开展了大量卓有成效的工作,归纳起来大致有以下 3 个方面:(1)关于地境子系统各组成要素时空分布特征的研究.研究内容涉及到地境中水分、盐分、有机质、温度、土壤物理性质(岩性、压实度、通气性等)的时空结构和氮、碳、磷等地球化学元素的丰度及迁移规律(Sala *et al.*, 1992; Schlesinger *et al.*, 1996; Fernandes, 2000; 贾宝全等, 2002);(2)土壤物理化学性质对植物根系的影响.在这方面主要讨论了上述各种理化指标对根系发育的控制意义和胁迫作用(Bengough *et al.*, 1997; Pregitzer *et al.*, 1997; Fitter *et al.*, 1998);(3)植物根系的形态学研究,内容包括植物根的分布、活性、更新率以及根的功能、根际环境的微生物及酶的作用等(Cairns *et al.*, 1997; 黄建辉等, 1999; 宇万太和于永强, 2001).总之,这些研究涉及到地境中水、土(岩)、气、生多个方面,运用了物理、化学、生物化学,乃至地学、数学等多学科的方法和手段,已取得的成果为植物地境的生态学研究奠定了基础.但应该指出的是,大部分成果或许是因为缺乏把地境物理结构与植物生理生活习性、群落结构直接联系的纽带以及描述多要素协同关系的有效手段,要实现真正意义上的“生态”研究,尚有一段距离.

## 2 植物地境的耗散结构特征

理论与实践研究表明(简放陵和李华兴, 2001),植物地境具有耗散结构的鲜明特征:(1)具有开放的上、下边界植物地境的上边界是陆地与大气的分界面,一般情况下是指地表面.该界面是植物地境接受降水、太阳热辐射和地表生物等因子的作用,并且是与地上环境进行水、气、热及盐分交换的边界.与此同时,外动力地质作用如风化、地表水流和风力的侵蚀、搬运、堆积过程也在不断改变界面的物质组成和

地表面的形态。植物地境的深度是有限的。边界以下的岩土体和地下水对植物地境起着水分、盐分和热量调节的作用。它们对植物地境维持自身的动态稳定(平衡)有着重要的意义。(2)内部状态具有多样性。由边界的开放性所决定,来自植物地境外部环境的作用不仅有物理方面的,也有化学和生物化学方面的。所以,植物地境内部的状态,诸如描述水分(势)多少(大小)、含盐量大小、温度高低、有机物多寡、岩性差异等理化指标以及根际微生物种类、数量、生物酶活性等生物学和生物化学方面的参数都是多样的。同样,植物地境内任一空间点上的状态也是由多种理化指标参数来刻画的。换句话说,各点的状态是多个变量的组合,不同的点有不同的组合情况(或称为不同的组态)。(3)协同效应明显。植物地境作为一个非线性的动态系统,各种变量是相互联系相互制约的。有证据表明,来自外部环境的干扰,哪怕只有一种,也会引起多个变量同时变化。例如,一个降水过程在影响土中水分(势)变化的同时,盐分、温度也有所改变。同样,植物地境内部某一因子的变化也会波及其他因子。植物根系在不同的发育阶段,吸收营养物质数量不同,其根际的水、盐状况也会产生波动。植物地境中任一点上的组态是植物地境为适应外界环境各种作用而进行的自组织的结果。所以,研究地境不能只考虑物理或化学的某一单因子的时空状况,也不能只停留在线性关系的描述上。(4)结构的复杂性和层次性。植物地境的时空结构及其生态功能是当地水、土、气、生等因子和地质作用等自然条件长期作用的综合产物。它既有历史继承性的一面,又有新生性的一面。植物地境的空间结构包括土壤层和部分母质层的岩性在空间上的分布格局,以及水、气、热及化学元素的分布状况。后者通常具有“物理场”的属性。由于不同“场”的组织过程遵循不同的动力学规律,所以,植物地境中各种“场”不具有同一性。例如干旱半干旱地区,水分的分布往往随深度逐渐增大,盐分和有机质含量则随深度逐渐减小(张为政和高琼,1994)。这种水土条件的差异性(资源的异质性)不仅在同一块样地的垂向上有所表现,在不同地点不同的样地上也十分明显(Reynolds *et al.*, 1997;白永飞等,2002)。植物地境是个开放系统,其内部各种“场”既相互作用、相互联系,又对外界环境的干扰反应敏感,呈现动态的变化。反映地境内部物能状态随时间变化的规律和秩序,可称为地境的时间结构。在天然植物生长良好、

多年生植物年龄结构较完善的样地中,按深度分层,可以发现,每一层位理化指标的时间序列都具有以下的统计规律:①任一指标的瞬时值会或多或少偏离其多年平均值,整个时间序列呈现波动现象,又称涨落;②刻画涨落大小的参数(均方差)和表征各指标宏观水平的多年平均值往往趋于定值;③不同层位理化指标的多年平均值和均方差有明显差别,距地表近者均方差较大,而多年平均值则因层位不同而异。以上3点概括了植物地境处于宏观稳定态时,其时间结构的基本特征。

总之,上述4个方面是研究植物地境必须把握的要点。据此,在实际工作中应注意以下几个问题:(1)植物地境的资源异质性不仅表现在不同样地的地表,而且表现在各样地的垂向剖面中。许多样地之所以能够生长多种植物,显然与地下存在着可供它们选择的多种具体小环境有关。把一块样地视为一个集中参数系统,用全剖面各理化指标的平均值来刻画样地水土条件的做法是不可取的;(2)植物根系是植物与地境联系的纽带。植物地境结构分析不能只停留在非生物要素物理结构的研究上,而应以根系的“层片”现象为线索,考察各“层片”具体的水土条件,揭示其中的生态关系,从而实现生态功能分层的目的;(3)植物正常生长繁衍所需的水土条件,不是单因子的,而是多变量的状态组合。其中一个因子的状态发生改变,植物对其他因子状态的耐受程度也会变化。所以,用生态幅或多种生态幅线性叠加的办法评价植物的适应性是值得质疑的。

### 3 植物地境的底界深度

植物地境底界深度的研究对于野外生态地质调查、地境结构分析以及评价与植物生长相关的水土资源都具有重要的理论和实用意义。

迄今为止,关于植物地境底界深度的研究尚不够深入,人们的认识也不统一。大多数学者认为,应以植物根的最大下延深度为准或依经验而定。Potter *et al.* (1993)在建立陆地生态系统生产过程模型时,将牧草、苔原和农作物分布区的地境底界定为1 m,森林地带定为2 m;Neilson(1995)研究植物—水分平衡的生物地理模型,认为地境底界应在1.5 m以下;Parton *et al.* (1988)所建立的生态系统模型(CENTURY)下边界定为0.9 m;另外,根据美国近年倡导的“关键带”(critical zone)思想,我国一些学

者认为,上全新统的上部,特别是近代第四纪堆积层受人类活动影响剧烈.人类在该层发展农业种植业,从而使其成为生态建设的重要地带.在这一地带中,不仅土壤层,而且包括土壤母质在内的一定深度内的土体都将影响植物.所谓的划分界限是一“灰度”的概念,是一个带,建议值为地下 1~2 m(候春堂等,2002).

应该指出,从植物的根系分布入手确定地境底界在思路上是正确的,但以最大根深作为划分标准则不妥当.这是因为:即使浅根系植物如具须根系的禾本科植物,大多数须根处于地下 0~30 cm 范围内,而少数须根却可下延至 2~3 m 的深处(Oikeh *et al.*, 1999);至于大多数具主根系的灌木、乔木,主根最深可达十几 m,甚至几十 m(Phillips, 1963).若按此深度开挖样坑取样,实际操作很困难.即便能够实现,也存在另一个问题,这就是根系密集区以下部位的根的数量、根重仅占根系的很小比例,根土比也较小,然而,它们的垂向厚度却很大,可以跨越水土条件迥异的多个层位.在这种情况下,无论用何种统计方法刻画根系所处的水土条件,都会因深根占据的深度比例太大,无形中突出深部的水土条件而失真.

根据植物地境的耗散结构特性可知,地境白天吸热增温,夜间散热冷却,形成的日温差随深度增加而减小.在中纬度地区,地境对太阳热辐射的日最大响应深度为 0.8~1.0 m(祝廷成等,1988);试验表明,土水势的日变化的底界在 0.9 m 深度(刘昌明和王会肖,1999).这一结论对确定植物地境底界很有意义.在自然界长期演化中,植物的“生物钟”与地温日变化关系密切.地温的昼夜变化影响着植物的生长节律、养分的积累、种子的萌发等.所以,感知并传递这种信息的根系主功能区一般不会超过 1 m.另有研究表明,植物根系在陆地生态系统碳、氮循环中扮演着重要角色(Vogt *et al.*, 1986).与植物根系生长有直接关系的碳、氮平衡深度一般为 0.3 m(Potter *et al.*, 1993).Parton *et al.*(1988)在研究植物生长、土壤有机质动态和养分循环时认为,其有效深度可定为 0.9 m(Parton *et al.*, 1988).此外,根的研究成果也为确定地境底界提供了十分重要的信息.Gale and Grigal(1987)根据全球 11 种植物群落 253 种植物根系的统计结果表明:植物总根重和根冠的 90%都集中在地表到 1.0 m 的土层深度内,1.0 m 以下的根重、根数、根土比均明显下降,这其中包括了主根较深的乔木和沙漠植物.另有研究表

明:禾本科植物根系主体一般集中在 0~30 cm 土层中,灌木和乔木根系主体一般集中在 0~50 cm 土层中,20~50 cm 土层根所占比例则超过 50%(Canadell *et al.*, 1996).值得注意的是,上述结论是在潜水埋深大于 1.0 m,0~1.0 m 土层处于非饱和水状态条件下得出的.如果潜水埋深小于 1.0 m,根系的密集区将更靠近地表(Kang *et al.*, 2002).这是因为绝大多数旱生植物根的代谢需要有氧环境,在通气性差的土层中,即使含水量高,根对水的吸收也会减少,而土壤含水量通常与其通气性成反比(Megonigal and Day, 1992).在潜水面附近,土壤通气不良,故越靠近潜水面,植物根越不发达.在地表 1.0 m 以下,土层的日变温、养分、通气性等条件难以同时满足植物的要求,除发育少数主根外,主要作为土壤水分运动的库.

综上所述,笔者认为在植物生态学研究,最具有意义的地境深度范围为地表到地下 1.0 m,因此,地境底界不应超过 1.0 m(中纬度地区).

#### 4 植物根群

根是陆生植物重要的营养器官,地境提供的营养物质必须通过根的吸收、输导,方能供植物利用.无论是深根系还是浅根系植物,也无论是直根系还是须根系植物,真正具有吸收功能的不是老龄的主根和侧根,而是幼根前端和根毛(张岁岐和山仑,2001).它们是根系最低的分支级别,数量庞大且更新速度很快.根系的分布是不均匀的,在垂向上往往是纺锤状(Persson, 1983; Cairns *et al.*, 1997; 黄建辉等,1999).纺锤体的中部根重大、根土比高,而且细根(根径 $<2$  mm 的根)数目多,也是根毛最密集的部位(黄建辉等,1999).笔者认为,根系的这个部位可以称之为“根群”(root mass).根据野外调查的结果,在地上的非生物环境(降水、地面高程、地形、日照等)差异不大的地区,如平原、盆地,同种植物的根群分布在大致相同的深度范围内,根群的判断可采用细根数目随深度变化的累计频率的分析方法.累计频率自 20%~80%这一区间深度,可以视为根群的位置.根群是根系吸收水分和养分功能的主要体现者,即根系的主功能区.它所囊括的土体空间又称根群圈,是微生物最活跃的场所.许多微生物依赖根的代谢产物生存,同时,微生物又将土中无机盐转化为生物有效态,供根吸收,以帮助其完成正常

的代谢过程.根群以外的那些根对于植物的生长只起辅助作用.

不同物种有不同的根群深度范围.这是由物种的生理习性、遗传特征、区域地境结构和与这种宏观结构相关的资源分布状况共同决定的.从某种意义上说,物种根群所处的深度范围,是其根系在发育过程中对地境垂向多样小环境的择优结果.

在一个多种植物混生的具体群落中,某一植株个体在生长过程中,会与其他个体(同种或异种)发生资源上的争夺,还可能因水、土、盐条件的胁迫作用而与同种的其他个体的根群在形态和埋藏的深度范围上表现出差异.但是,这些差异是很有限的,不会突破由种的生理习性所决定的标准根群深度范围.也就是说,胁迫作用仅对植株个体的根群深度范围有影响,不应出现在物种这一层次上,否则,则属于物种的变异问题.植株个体的根群位置研究,对于判定该植株所处的特定地下小环境是十分有用的.对于生长在同一地区的不同种植物,其众多个体根群深度范围的统计结果对于地境生态功能分层也极为重要.在植物群落中,不同植物的根系相互交错、穿插、缠绕,在空间上重叠,一般难以区分出层次,而根群的统计结果则能清晰地揭示“层片”规律,并能说明各“层片”是哪些物种的生存小环境.

不同物种的根群“层片”现象反映了地境的生态功能结构.它是多种共生、伴生植物在长期演化中不断调整相互关系,最终达成相互适应的一种和谐.它有利于各种植物分享不同深度范围内的资源,以避免严重的冲突.由于各物种的生理习性、组织结构和种间关系不同,所以不同种植物组成的不同群落,其根群的“层片”结构也会有差别.另外,某些隐域植物的根群深度范围会随地域不同而改变.这些现象在实际调查中应加以注意.

## 5 物种的地境稳定层

如果把各物种标准的根群深度范围与地境的耗散结构特征相联系,便可建立“物种的地境稳定层”(stable layer of plant species in below-ground habitat, SLPSBH)概念.所谓物种的地境稳定层是指在地境处于宏观稳定态时,某一物种根群占据的特定地境深度范围.在多种植物混生的群落中,根群的“层片”与各物种的地境稳定层组合状况是对应的.所以,地境稳定层本身就是生态功能层,可作为地境

生态功能分层的基本单位.它是从生态角度研究地境结构的切入点.

植物的正常生长需要2个基本条件:(1)水土条件必须相对稳定.在大多数情况下,自然因素的趋势变化往往在中观和宏观的时间尺度上才能被觉察出来,且有渐变的特点,地境的时空结构演化也是如此.若将一个很长的时间过程划分为多个时段,每个时段视为“一定时期”或“多年”,那么,地境的渐变可理解为多个宏观稳定态的更替,即自组织作用连续不间断的过程.每一个宏观稳定态都可保证现存植物根群圈各理化指标组态的多年平均值、均方差趋于定值;(2)根群圈理化指标组态的各瞬间值不得突破该物种的耐受范围,换句话说,不超出该物种的生存域(由不同适宜度水平的组态构成的多维空间).

由于物种地境稳定层的深度范围标准是由某一地区同种植物根群的统计位置确定的,所以,将物种地境稳定层这一概念用于植株个体时,它指示植株生存的具体地境小环境.若植株生活正常,长势旺盛,说明根群圈的理化指标组态与植物该生长阶段的最佳需求吻合;如果根群圈的组态是宏观稳定的,但理化指标组态与植物此时的需求不相匹配,植物生长则不正常,长势较差.总之,在物种层次上,不同的地境稳定层对应的是不同物种生存所需的水土条件.在个体层次上,不同的地境稳定层对应的是个体所处的具体小环境,植物个体的生长状况则是对其地境稳定层特定组态的“生理响应”.

2001—2002年笔者在内蒙古额济纳地区(黑河下游)开展了植物地境的研究.野外调查共涉及35科100余种植物,确定的优势种和建群种有20余个,其中乔木有胡杨(*Popula diversifolia*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*),灌木半灌木有红柳(*Tamarix ramosissima*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、梭梭(*Haloxyylon ammodendrom*)、枇杷柴(*Reaumuria soongorica*)、珍珠(*Salsola passerina*)、紫苑木(*Asterothmus futicosus*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、草麻黄(*Ephedra sinica*)、锦鸡儿(*Caragana tibetica*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、骆驼刺(*Alhagi pseudalhagi*)等,多年生草本有芨芨草(*Achnatherum splendens*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、芦苇(*Phragmites communis*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、花花柴(*Karelinia caspica*)等,一年生草本有碱蓬

(*Suaeda heteroptera*)、盐角草(*Salicornia europaea*)、藜(*Chenopodium album*)等。通过近 80 个样地群落结构调查、样坑取样测试、根群研究(根群的确定采用开挖统计和过氧化氢酶指示法),发现河岸带植物地境层次较多,戈壁带层次较少,归纳起来总体上可分两大层。

第一层(0~0.4 m)上界面与大气相接触,受太阳辐射、降水、蒸发的影响,层内水分、盐分、温度的动态变化大。降水时,层内水分含量急剧增大。由于蒸发力强大(3 800 mm/a),雨后数天,土壤表层水分很快散失,同类地区的资料表明(张仁陟等,1998),此层水分的变异系数可达46.65%~24.65%。由于直接受太阳的热辐射,白天地温升高,夜间土层散热地温降低,其温度日变化与空气的日温差接近,约为10~15℃。该土层的含盐量受土壤水分运移、温度变化的影响,不同地点变幅可达33.10%(最低含盐量为0.02%,最高含盐量为33.12%)。此外,该层与大气关系密切,土壤的通气性好。由于直接接受生物残体的营养补充,土中有机质含量是地境中最高者,但因风力和地表水流(河流沿岸)的携带,不同地点有机质含量差异明显,变化区间为0.01%~1.27%,总体上土壤养分较贫瘠。总之,该层距大气界面最近,受地表环境短时波动的影响,地境各状态涨落明显,波动频率较大。从物种延续的角度分析,一些草本植物能够世代交替至今,说明层内各种状态的涨落仍属正常涨落。野外根群调查发现,此层应属一年生草本植物的地境稳定层。由于该层涨落明显、变幅较大,只有生命期短的浅根系草本植物可在涨落较缓且理化、生化状态组合适宜的时期完成从种子萌发、生长、开花到结实的全过程,从而避开不利的季节。同时该层又是多年生木本科植物(根群相对较深)幼苗立地的“过渡层”,一些乔木、灌木的种子落地时,若恰逢降雨或洪水泛滥,湿润的表土可成为种子萌芽的苗床;在幼苗期,这些植物的根生长极快,可在土壤干燥前延伸到此层之下,形成根群。所以,雨季的提前、推迟,气候的偏高、偏低,降水的多少会影响草本植物的数量、生产量及多年生植物幼苗的数量。对于这些植物来说,地境的宏观稳定态可以保证群落结构的宏观稳定,而局部短时涨落只对种群数量、个体长势、年龄结构等细节产生影响。

第二层(0.4~1.0 m)不直接与大气界面接触,地表环境的作用需通过第一层的传递变换才能到达此层,所产生的响应较小,且在时间上稍有滞后。由

于当地降水稀少( $<50$  mm/a),在一般情况下,降水对该层起不到补给作用,水分的补充主要来自地下潜水和下层水汽的运移。尽管当地蒸发力大,但随着表土干燥,水汽压的减小,该层水分的耗失量会急剧降低,土层含水量的涨落值较第一层要小得多,变异系数一般只有21.26%~8.65%(张仁陟等,1998)。此外,该层温度的变化幅度也较小,在7月份土层的温度介于20~30℃之间(气温38~42℃),是植物根系发育的最适温度。由于水分向上和向下迁移的交替作用,该层的含盐量介于0.58%~1.99%之间,也明显小于第一层。土层的有机质含量水平相对较低,但更为稳定,一般为0.27%~1.56%。根群统计表明,该层是乔木、灌木、半灌木及多年生草本植物的根群混杂层位。有些植物的地境稳定层略靠上部,有些偏于下方。该层的底部是当地的地境底界,是地境系统中水盐温条件变化最小的空间。该层具有的宏观稳定态及较平缓的微动态有利于这些植物一年四季和多年的生长,即使在酷热、严寒的季节也不会受到伤害。多年生植物之所以不像一年生植物那么脆弱,具有较强的抗干扰能力,在一定程度上与它们地境稳定层的上述特点有关。

应该指出,物种地境稳定层的分析为大多数地区各物种生存域的建立、区域生态质量区划和评价,提供了一个有效的研究途径。同时,它也为研究生态退化建立了一个可供对比的标准。

在水土流失严重、风蚀强烈或地下水位急剧变化(上升、下降)的地区(段),外界条件在短小时内发生剧变,地境时空结构的宏观稳定态会被打破。例如,地表水流的冲刷剥蚀和风力的侵蚀,一方面可将原地土壤和肥分带走,改变地境表层的物质组成;另一方面造成地表高程下降,地境上边界下移;而堆积作用可使搬运来的物质沉积掩埋植物,并形成新的地境表面;地下水的快速上升或下降,会引起地境下边界水、热通量及盐分迁移过程的变化,这些作用必然导致地境整体和内部层次的异常涨落,原先的各物种根群圈的组态异化、位置变更。严重土壤侵蚀造成的植物根群外露和植株被掩埋而导致植物快速死亡的现象,就是其地境稳定层遭受破坏的典型例子。

## 6 结论

(1)植物的地境是陆地生态系统的有机组成部分。天然植物的生活习性和生理特征是植物对生境

特别是对地境条件长期适应的结果。所以,地境结构的系统分析应作为探索生态关系的重要手段之一。那些忽视植物与地境的协同作用,以及地境内部各因素组态耦合关系的研究方法是不可取的。(2)植物地境具有鲜明的耗散结构特征,内部的宏观稳定性和层次性是适应外界环境的自组织结果,并与植被根系的“层片”结构相契合。每一“层片”代表一个特定的地下小环境。若地境具有多个“层片”,说明该地境拥有可被多种植物利用的多样小环境。(3)植物根系是植物与地境联系的纽带。根群作为根系的主功能区,应在地境系统分析中给予特殊的重视。根群圈的理化指标组态是地境系统中各种要素时空分布格局在根群这一小空间的具体表现。其量值及动态变化规律,可为阐明植物生理生活习性的形成机理和生长状况优劣产生的原因提供重要的证据。(4)基于地境耗散结构特征和各物种根群所处深度的统计结果,可以建立物种地境稳定层的概念。物种地境稳定层可作为地境生态功能分层的基本单位,同时,也为研究生态退化提供了可供对比的标准。(5)在区域性研究中,物种的地境稳定层可用以确定不同适宜度水平的物种生存域,计算地境生态指数,以实现区域性地境生态质量的区划和评价。在植物群落和样地层次中,物种(个体或种群)地境稳定层,可用于物种多样性和群落演替规律的研究。

## References

Bai, Y. F., Xu, Z. X., Li, D. X., 2002. On the small scale spatial heterogeneity of soil moisture, carbon and nitrogen in *Stipa* communities of the Inner Mongolia plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 22(8): 1215—1223 (in Chinese with English abstract).

Bengough, A. G., Croser, C., Pritchard, J., 1997. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. *Plant and Soil*, 189: 155—164.

Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., et al., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111: 1—11.

Canadell, J., Jackson, R. B., Ehleringer, J. R., et al., 1996. A global analysis of root distribution for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108: 389—411.

Fernandes, P., Oliver, R., Diatta, S., 2000. Changes in organic matter of a Ferrallitic tropical soil degraded by cropping systems: The case of southern Senegal. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14: 137—150.

Fitter, A. H., Graves, J. D., Self, G. K., et al., 1998. Root

production, turnover and respiration under two grassland types along an altitudinal gradient; Influence of temperature and solar radiation. *Oecologia*, 114: 20—30.

Gale, M. R., Grigal, D. F., 1987. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research*, 17: 829—834.

Hou, C. T., Li, R. M., Feng, C. E., 2002. An approach to survey contents and methods of regional and agroecological geology: A case study in Hebei plain. *Geological Science and Technology Information*, 21(1): 66—70 (in Chinese with English abstract).

Huang, J. H., Han, X. G., Chen, L. Z., 1999. Advances in the research of (fine) root biomass in forest ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 19(2): 270—277 (in Chinese with English abstract).

Jia, B. Q., Ci, L. J., Cai, T. J., et al., 2002. Preliminary research on changing soil water characters at ecotone between oasis and desert. *Acta Phytocologica Sinica*, 26(2): 203—208 (in Chinese with English abstract).

Jian, F. L., Li, H. X., 2001. Theoretical and methodological discussion on the research of dissipative structure of soil ecosystem. *Journal of South China Agricultural University*, 22(3): 16—19 (in Chinese with English abstract).

Kang, S. Z., Hu, X. T., Goodwin, I., et al., 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. *Scientia Horticulturae*, 92: 277—291.

Liu, C. M., Wang, H. X., 1999. The interface processes of water movement in the soil-crop-atmosphere system and water-saving regulation. Science Press, Beijing, 80—91 (in Chinese).

Megonigal, J. P., Day, F. P., 1992. Effects of flooding on root and shoot production of bald cypress in large experimental enclosures. *Ecology*, 73(4): 1182—1193.

Neilson, R. P., 1995. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications*, 5: 362—385.

Oikeh, S. O., Kling, J. G., Horst, W. J., et al., 1999. Growth and distribution of maize roots under nitrogen fertilization in plinthite soil. *Field Crops Research*, 62: 1—13.

Parton, W. J., Stewart, J. W. B., Cole, C. V., 1988. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: A model. *Biogeochemistry*, 5: 109—131.

Persson, H. D., 1983. The distribution and productivity of

fine roots in boreal forests. *Plant and Soil*, 71: 87 – 101.

Phillips, W. S. , 1963. Depth of roots in soil. *Ecology*, 44: 424.

Potter, C. S. , Randerson, J. T. , Field, C. B. , et al. , 1993. Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data. *Global Biogeochem. Cycles*, 7(4): 811–841.

Pregitzer, K. S. , Kubiske, M. E. , Yu, C. K. , et al. , 1997. Relationships among root branch order, carbon, and nitrogen in four temperate species. *Oecologia*, 111: 302 – 308.

Reynolds, H. L. , Hungate, B. A. , Chapin, III, F. S. , et al. , 1997. Soil heterogeneity and plant competition in an annual grassland. *Ecology*, 78(7): 2076–2090.

Sala, O. E. , Lauenroth, W. K. , Parton, W. J. , 1992. Long-term soil water dynamics in the shortgrass steppe. *Ecology*, 73(4): 1175–1181.

Schlesinger, W. H. , Raikes, J. A. , Hartley, A. E. , et al. , 1996. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. *Ecology*, 77(2): 364–374.

Tansley, S. A. , 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16: 284–307.

Vogt, K. A. , Grier, C. C. , Vogt, D. J. , 1986. Production, turnover and nutrient dynamics of above- and below-ground detritus of world forest. *Advances in Ecological Research*, 15: 303–377.

Yu, W. T. , Yu, Y. Q. , 2001. Advances in the research of underground biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 12(6): 927 – 932 (in Chinese with English abstract).

Zhang, R. Z. , Li, X. G. , Hu, H. , et al. , 1998. Laws of soil moisture variation in farmland in loess area of Gansu Province. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 4(4): 53–59 (in Chinese with English abstract).

Zhang, S. Q. , Shan, L. , 2001. Research progress on water uptake in plant roots. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 7

(4): 396–402 (in Chinese with English abstract).

Zhang, W. Z. , Gao, Q. , 1994. Exploration of the movements of water and dissolved salts in soils under different plant communities in *Aneurolepidium chinense* grassland of Songnen plain. *Acta Phytocologica Sinica*, 18(2): 132–139 (in Chinese with English abstract).

Zhu, T. C. , Zhong, Z. C. , Li, J. D. , 1988. Plant ecology. Higher Education Press, Beijing, 42–44 (in Chinese).

附中文参考文献

白永飞,许志信,李德新,2002. 内蒙古高原针茅草原群落土壤水分和碳、氮分布的小尺度空间异质性. *生态学报*, 22(8): 1215–1223.

候春堂,李瑞敏,冯翠娥,2002. 区域农业生态地质调查内容与方法. *地质科技情报*, 21(1): 66–70.

黄建辉,韩兴国,陈灵芝,1999. 森林生态系统根系生物量研究进展. *生态学报*, 19(2): 270–277.

贾宝全,慈龙骏,蔡体久,等,2002. 绿洲—荒漠交错带土壤水分变化特征初步研究. *植物生态学报*, 26(2): 203 – 208.

简放陵,李华兴,2001. 土壤生态系统耗散结构变异规律研究的理论与方法探讨. *华南农业大学学报*, 22(3): 16 – 19.

刘昌明,王会肖,1999. 土壤—作物—大气界面水分过程与节水调控. 北京:科学出版社,80–91.

宇万太,于永强,2001. 植物地下生物量研究进展. *应用生态学报*, 12(6): 927–932.

张仁陟,李小刚,胡华,等,1998. 甘肃黄土地区农田土壤水分变异规律研究. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 4(4): 53 – 59.

张岁岐,山仑,2001. 根系吸水机理研究进展. *应用与环境生物学报*, 7(4): 396–402.

张为政,高琼,1994. 松嫩平原羊草草地土壤水盐运动规律的研究. *植物生态学报*, 18(2): 132–139.

祝廷成,钟章成,李建东,1988. 植物生态学. 北京:高等教育出版社,42–44.

\*\*\*\*\*

(上接 238 页)

chemical sensing method for the determination of volatile organic compounds in aqueous solution. *Anal. Chim. Acta*, 436: 31–40.

Zhang, Z. , Yang, M. , Pawliszyn, J. , 1994. Solid-phase micro-extraction. *Anal. Chem.*, 66: 844–853.