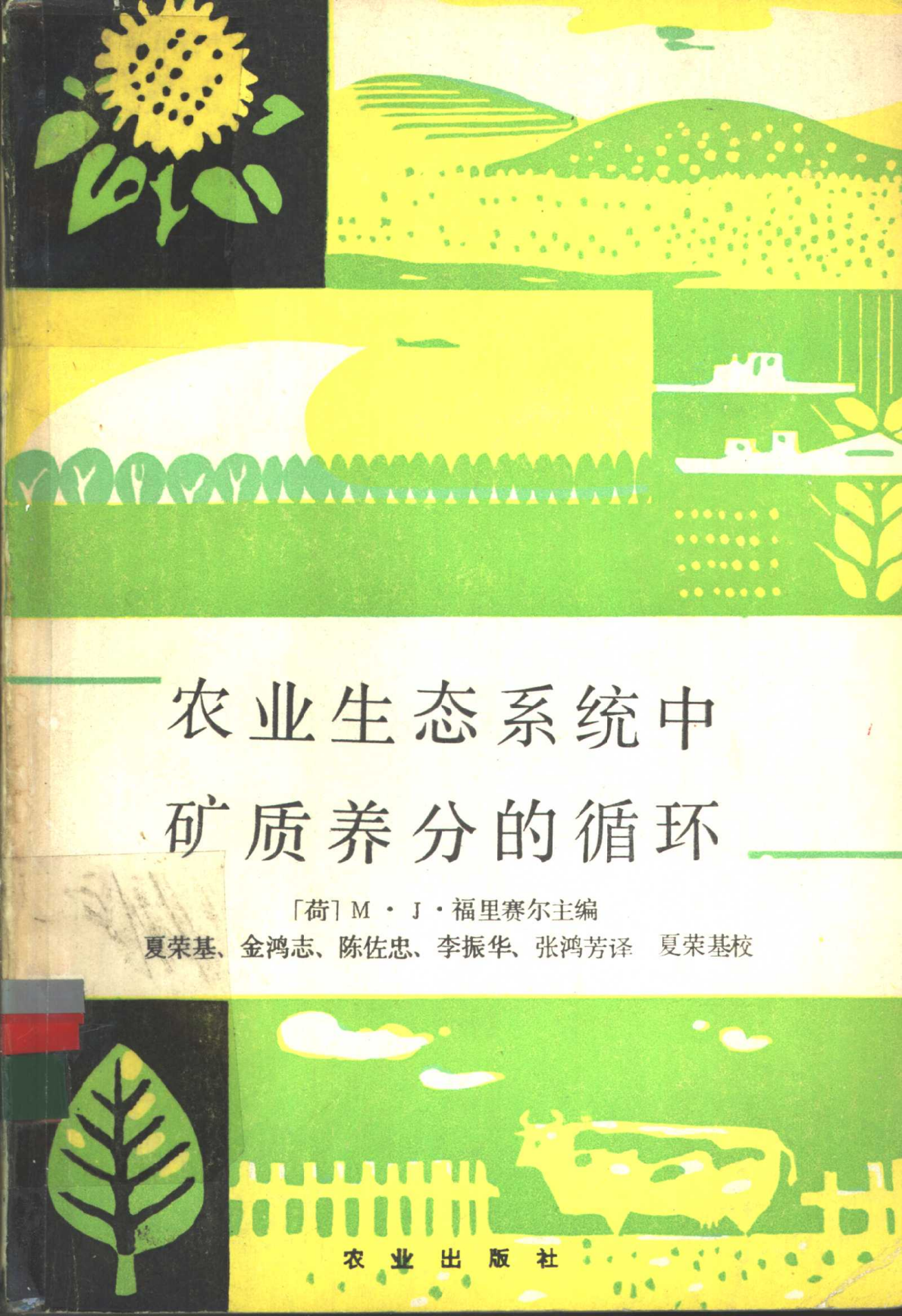




农业生态系统中 矿质养分的循环

〔荷〕M·J·福里赛尔主编

夏荣基、金鸿志、陈佐忠、李振华、张鸿芳译 夏荣基校

农业出版社

农业生态系统中矿质养分的循环

〔荷〕 M.J. 福里赛尔 主编

夏荣基 金鸿志 陈佐忠 李振华 张鸿芳 译

夏荣基校

农 业 出 版 社

农业生态系统中矿质养分的循环

〔荷〕 M. J. 福里赛尔 主编

夏荣基 金鸿志 陈佐忠 译
李振华 张鸿芳

夏荣基校

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168毫米32开本 14.75印张 395千字

1981年9月第1版 1981年9月北京第1次印刷

印数 1—3,300册

统一书号 16144·2296 定价 2.15元

前 言

这本农业生态系统的书，登载着“矿质养分在农业生态系统中的循环”讨论会的成果。这个会议，是荷兰皇家土地发展协会的第一次国际环境讨论会，是由国际生态学协会和Elsevier科学出版公司共同发起的。会议在1976年5月31日到6月4日于阿姆斯特丹的Elsevier公司办公室进行。

对农业生态系统的了解，与将来土地开发工作有重大关系。因此，需要有一些专家，对这个课题进行学术交流和评论，并提出对将来研究工作的看法。

讨论会的宗旨和组织方法是试验性质的。背景的资料见附录1。

会前邀请许多专家撰写他们所熟悉的地理区域的农业生态系统矿质养分循环的综述性文章，会议组织者拟通过这种方式，解决在学术交流上由于语言不同所产生的障碍，因为在现代科学交流上，语言不同仍然是一个重要的限制因素。分散的各篇综述，再由编者合成一篇总的综述。这篇总的综述，作为五天讨论会的讨论基础，讨论会期间，邀请撰写综述文章的专家到会。此外，还邀请了关于这个课题以及有关农田方面的其它专家，参加这次讨论会。总的综述和讨论结果，构成了这个最后报告的基础。某些节或评论主要地或全部地以一个或少数几个专家的文稿为基础。专家的名字，列于括弧中，表明材料是以他（他们）的观点为基础的。

目 录

前言

第一章 引言	1
第二章 养分循环的原理 (Newbould)	4
第三章 养分循环的控制	9
3.1. 外部控制 (Floate)	9
3.1.1. 在液相中运输 (Wartena)	10
3.2. 内部控制 (Floate)	15
3.2.1. 生命体对养分的保留 (Vervelde)	17
3.3. 农业的长期效应 (Frissel)	18
3.4. 系统控制的操作 (Floate)	19
第四章 农业生态系统的描述及分类 (Frissel)	20
4.1. 引言	20
4.2. 农业生产系统)	22
4.2.1. 食品收集	22
4.2.2. 粗放的牲畜饲养	22
4.2.3. 迁移农业	23
4.2.4. 粗放的耕种	23
4.2.5. 混合农作或自给单元系统	28
4.2.6. 集约农业	30
4.2.7. 以有组织的大规模再循环结构为基础的系统	31
4.2.8. 说明	31
第五章 数据提出的方法 (Frissel)	32
第六章 养分循环数据	39
6.1. 引言	39
6.2. 联合王国的农业生态系统 (P. Newbould 和 M. J. S. Floate)	39
6.3.1. 荷兰的农业生态系统, 第一部分 (J. Damen)	87
6.3.2. 荷兰的农业生态系统, 第二部分 (Ch. H. Henkens)	99

6.4. 德国的农业生态系统 (B. Ulrich)	125
6.5. 法国的农业生态系统 (P. Jacquard)	139
6.6. 捷克的农业生态系统 (J. Kolek)	166
6.7. 以色列的农业生态系统 (I. Noy-Meir 和 Y. Harpaz)	187
6.8. 日本的农业生态系统 (M. Yatazawa)	217
6.9. 澳大利亚的农业生态系统 (C. H. Williams, P. Newbould 和 M. J. S. Floate)	234
6.10. 美国的农业生态系统 (G. W. Thomas 和 J. W. Gilliam)	238
6.11. 南美洲的农业生态系统 (G. St. Husz)	312
第七章 综论	358
7.1. 引言	358
7.2. 养分平衡, 一览表和表 (Frissel 和 Kolenbrander)	358
7.2.1. 氮素	359
7.2.2. 磷素	371
7.2.3. 钾素	375
7.3. 土壤库中的变化 (Floate)	377
7.4. 大气和植物—土壤之间养分的交换 (Rosswall)	381
7.4.1. 引言	381
7.4.2. 来自大气的养分增添物	382
7.4.3. 养分向大气的散失	386
7.4.4. 植被—土壤作为空气污染物质的纳污场所和污染源	383
7.5. 控制 (Frissel)	389
7.5.1. 将来化肥的应用	389
7.5.2. 氮、磷和钾的相对重要性	392
7.6. 将来需要研究的问题 (Frissel)	394
7.6.1. 短缺的数据	394
7.6.2. 更精确的模式	396
第八章 摘要 (总结) (Newbould, Frissel 和 Floate)	401
第九章 文献	404
附录1 对科学讨论会的试验性质和组织的说明	457
附录2 科学讨论会参加人员名录	460

第一章 引言

虽然在大约一个世纪以来至现在，世界人口在继续增长，而由于现代化农业技术的应用，一般说来，粮食增长的步伐，跟上了人口的增长速度。如果人口继续增长下去，则许多人将怀疑农业能否供养所增加的消耗者了。这门技术的一个重要部分，就是应用肥料以提供氮、磷和钾，这些元素是构成生命（植物和动物）不可缺少的物质。

肥料，尤其是含氮的肥料，在制造过程中需要大量的石油作为能源，而石油的价格正在不断上升。不仅如此，石油资源也正日益减少。制造磷肥和钾肥的原料来自采矿，虽然其供应可望延续几十年，但是其含量在经济上值得开采的矿石的贮量，并不是无穷无尽的。出于这些考虑，再加上要防止过量施肥对我们环境的污染，和避免我们星球的物理环境和景观遭到损害，从而加强了在全世界范围内，对养分从土壤到植物到动物，再回到土壤的运动进行定量研究的必要性。这些矿物质在不同类型生命物质和一部分物理环境之间的转移，可以称为养分循环。养分循环的原理、控制元素运动的机理和它们在局部或全部系统中的平衡状态，将在第二和第三章中讨论。

在收集养分平衡数据以前，须对我们所研究的系统的组织范围，定出尺度或水平。这种水平是可以很不相同的，从各别植物群落或田地，到某一特定作物或产品的种植地区，到整个农场、地区性或国家的组织水平。Van Dyne和Abramsky(1975)描述了系统的各个等级，其中生物因子包括在所有水平的组织中。随着复杂性的增加，物理因子在生态系统的高度上参加进来，经济因子在商业的高度上参加进来，社会和政治因子则在地区的高度上参加进来。通常根

据所研究的社会复杂性，来决定适当的高度标准。

在这个研究工作中，为了尽可能适应世界最大多数地方的农业，选择的解决办法是建立一个比较简单的单元，农业生态系统，通常用一个单独的农场来代表。这个讨论会所叙述的农业生态系统，和用来对65个例子进行分类的分类表，在第四章讨论。简而言之，农业生态系统可以看作是资源的一种组织，在较大或较小程度上受着人类的管理，并以生产人类的食物为其主要目的之一（经营者的主要目的可能是获得最大限度的利益）。

这是比生态学家通常考虑的更为专门的定义。Tansley(1935)给生态系统下的定义是“第一性生产¹⁾、消耗、分解和再循环是大部分自给自足的一个地区”。一般都把一种可区分的植被（土壤）单元看作是一个基本单元。但由于大的食草动物的流动性，包括有几种植被（土壤）单元的牧场也可以认为是一个基本单元。因为养分可以被水输送，所以一个一定范围的集水面积，也可以看作是一个合理的单元。

养分循环库²⁾ (pool) 和通道 (或模型)，以及在很大程度上各不相同的农业生态系统中，用来收集所有氮、磷和钾循环的数据的表格设计和形式，将在第五章中叙述。

报告的主体（第六章）包括了65个农业生态系统的养分循环数据，这些生态系统已由其作者们详细论述。有些作者讨论了根据所有的他们自己系统数据的分析而得来的结论，并阐述了他们的观点。

许多文章是关于概念的模型、提供数据的方法、对数据进行摘要和鉴定其缺陷的方法、以及后者对于在世界范围的基础上，在农业生态系统中施用肥料的影响。这些问题在讨论会中讨论过，主要结论的摘要见第七章。

1) 第一性生产率(primary productivity) 是能量被固定的速率，即地表单位面积单位时间内光合作用所产生的有机物质，通常用卡/厘米²/年的能量或克/米²/年的干有机物质来表示——译者注。

2) 可以看作是养分循环的中转站，如土壤、植物、动物等——译注。

Frissel 描述了人类通过较合理的施肥，控制养分循环的方法。许多其它的控制方法，包括改变作物、种植制度或动物放牧制度，都是可行的。但是这里不允许作详细的探讨，只在第三章末尾简单地论述其可能的应用途径。

在讨论中，总结了还需要什么数据或研究工作，去增进这里所用类型的养分平衡表的精确性和价值。

最后一章（第八章）简述了某些主要的研究结果，并指出支持着讨论会所得结论的统一数据的准确程度。根据列出的数据，所得的结论是，对于农业生态系统，还需增加其养分平衡的精确性。较为精确数据的获得，可能最终使农学家能够比较精确地预测，肥料措施的改变，将对农业生产和世界范围基础上的环境质量会有什么影响。

第二章 养分循环的原理

元素, 隔室, 途径和转移, 时间尺度,

转移速率和养分平衡 (Newbould)

对植物和动物生长不可缺少的养分, 是从土壤→植物→动物→再回到土壤的; 这种通过一系列隔室 (Compartments) 的转移顺序, 构成了养分循环一种最简单的代表方式。在大多数实际情况下, 无论是自然系统, 抑或人类控制的系统, 其养分循环都包括比这个基本方式多得多的隔室和复杂的转移。许多循环是多环性的, 在其中, 一个元素可能在一个隔室中, 通过几个过程而进行循环, 例如在进入另一个隔室 (植物) 前, 元素在土壤隔室中就是如此。一种养分完成一个循环所需时间的长短, 其变化从微生物中转化的若干分钟, 到一年生作物吸收和生长的若干个月, 到动物吸收和生长的若干年, 和到自然环境转移的数千年甚至数百万年, 例如从大气转移到陆地和海洋, 并形成岩石。因此, 所研究的任何养分循环的时间尺度, 必须仔细确定, 在单独的一瞬间所作的任何测定, 往往可能忽略了矿质养分循环动态本质的某些方面。

为了弄清和对任何一个元素的养分循环进行定量, 必须设计一个概念的模型, 来代表主要的转移和隔室。在最近的一些综述中, 描绘了许多具有不同复杂程度的记述模型——Cooke, 1967; Egungjobi, 1969; Halm et al., 1971; Till and May, 1973; Henzell and Ross, 1973; Wilkinson and Lowrey, 1973; Mott, 1974; Heady, 1975; 和 Svenson and Söderlund, 1976。第七章中记述了一个很精练的模型 (Van Veen, 1977)。这个讨论会中所选择的

图式,以及在第五章中所详细论述的,与Wilkison 和 Lowrey(1973)所描绘的相似,有三个主要隔室或库——植物、动物(或牲畜)和土壤,后者区分为三个亚库——有效的,无效的(土壤矿物)和残余物(土壤有机质)。

对养分循环进行定量,须具有所研究元素的知识 and 它的化学,隔室的性质和大小,隔室之间的通道,养分沿这些通道转移的数量和速率,所研究的系统的有关周期、地域的界限和范围,如牧场、农场、分水界,或农业生态系统(见第四章)。

元 素

决定元素循环方式的最重要特性,是其在水中的溶解度、挥发性和电化学势能或化学反应度(degree of chemical reactivity)。这个讨论会所研究的三个元素,氮和它的气态化合物是挥发性的,它的固体化合物在水中的溶解度很高,所以氮素循环是高度动态的,并且具有很多复杂的通道和转移方式。磷化合物在水中的溶解度低,所以在土壤和植物全磷量中只有很小一部分(1%),出现在植物组成中(Hayman, 1975);因此,磷素循环一般都不如氮素那样丰富多采。钾素循环的复杂性介于二者之间,因为钾化合物一般都不挥发,但在水中有较高的溶解度。钾在土壤中比磷较易从土壤胶体上被代换出来,它被植物吸收的数量亦大于磷。

植 物 隔 室

这包括了植物的所有部分,它可以是作物,或者是被牲畜消耗的那一部分。在大多数集约放牧或种植的系统,养分在植物隔室中,只占了全部循环时间的一小部分。对于未曾充分利用的原有植被或对于森林,情况就不是这样,其一部分养分存留周期可以很长,在这种状况下,常常难于确定库的范围。有时将植物库划分为贮存

于顶部和贮存于根部的养分是有利的，有助于在一个生长季结束时，研究收获的根类作物，和遗留在土壤中的根的动态。

牲 畜 隔 室

这包括了动物消耗的植物产品中所含的养分。食草动物所保留的养分，只占其消耗量的很小一部分，而大部分所吞食的养分，都作为排泄物归还到土壤了。排泄物到达土壤表面的时刻，变成土壤库的一部分，但如它们是从舍饲动物处收集并堆贮的，则它们仍作为牲畜库的部分。动物发育成熟时，其所含的养分量可增加，只有当牲畜产品出售时，这些养分方越过系统的边界。

土壤的全部隔室（库）

这包括有机和矿质组成中的养分，存在于土壤溶液中和成为代换态的养分，后两类养分构成了土壤有效态养分库。植物是从有效态土壤库获得其养分的。因此，可以认为有一个总的土壤库或三个分库。将有机残体库看作一个分开的实体，是很重要的，因为有机残体中的养分，在其矿质化并转移至有效态库以前，是变化很大的，并且存留在残体中的时间很长。

通道和养分转移

在养分循环过程中，三种主要的养分沿着某些通道，在这些库之间通过。在理论上，有的养分在各库之间都可能发生各种不同方向的转移。但在实际上，只有这些转化中的某一部分是重要的。有时，例如土壤中的矿质化作用和固定作用，两个方向的转化同时发生，因此通常只能测定其净结果。

此外，养分可以由于施肥或出售农产品而直接进或出这些库。

对这些转移的定量，需要对所应用的养分循环系统确定边界，同时也需要确定发生转移的时间周期。

转移的规模和速率

库之间和沿某些通道的转移，包括了一定数量的各种植物养分。这些转移，可以在短的（例如秒、分）或长的（例如年、十年）时间周期中发生，并且可以用高的或低的转移速率来表示，这就决定于所选择的时间尺度。举例来说，植物每天从有效态库吸收氮素的速率，远远超过每天从植物残体矿质化所产生的氮的速率，但是由于吸收作用通常是在一年中一段短时期内进行的，而残体的分解和矿质化则在一段较长的时期内发生，因此每年的数量可以相等。事实上，一个系统在没有收入和流出时，一种养分通过这些过程每年的平均转移量，必然是相等的，这就维持了平衡。

要选择一种时间基础，去适应各种过程的速率，是不可能的。但是在研究养分循环时，必须选择一些适宜的时间为基础。出现的一些混乱是从对转移速率重要性的理解不一致所引起的，因为迄今各学科用来测定的技术，各不相同，而现在则集合在一起构成养分循环。例如作物产量是传统地以公斤/公顷/年来计量的，而实验室中对氮素矿质化的研究，则更多地常常以微克/克土壤/日来计量。所有的转化如果都用公斤/公顷/年来表示，就会使得转化速率之间的固有差异模糊不清了。

养 分 平 衡

在任何贮存库中，一种养分的平衡状况，可以从该养分净流入及净流出的知识推论而得。对于任何一个库，当流入和流出相等时，就出现了均衡状态，称为平衡，更确切地应称之为稳定状态。稳定状态的定义是一种养分流入的总和，等于流出的总和，库的容量没

有变化的状态。另一方面，平衡是指两个相反方向之间的转化处于均衡状态，例如在两个库之间可能发生的。因此，当植物从土壤吸收一种养分的数量，等于养分以植物残落物和产物的方式所减除的数量时，植物库就是处于稳定状态。而在整个土壤库之中，固定化与矿质化之间的关系，在这些相反过程的转移数量相等时，可以认为是处于平衡状态。

我们也可以对整个系统描述其平衡状态，在这个系统中，养分以循环的方式，在几个库之间通过。当所有的养分转移都是在这个系统的边界之内进行时，称之为封闭系统。在一个开放系统中，则养分的转移可以跨过边界。养分转移进入或流出一个系统，可以是平衡的，在这种情况下，对该养分来说这个系统是处于稳定状态。另一方面，该养分的转移也可能是不相等的，在这种情况下，对该养分来说是在聚积或低落。因为养分的动态各不相同，一个系统对于所有的养分，不必都是处于相同的平衡状态。

上述的原理，用来构筑了概念模型和数据表(第五章和第六章)，与若干作者所作的报道是符合的。

第三章 (养分循环的控制)

农业生态系统中,养分在各个库之间转移的数量,不但受系统内的状况和过程的影响,也受系统外的环境和控制力量的影响。本章要研究某些控制力的关联和重要性。

Kovda 和 La Riviere(1976)提出“C、O、N、S和P的生物循环,构成了地球的生命支持系统,因为它们的动力学决定了大气的组成,和土地与水的肥力。”虽然在这个讨论会中,不可能详细讨论农业生态系统与大气的相互关系,而气候和大气状况都对循环过程产生着控制力。不但如此,Kovda和La Riviere(1976)还指出:“……在这些循环中的干扰,可以具有全球性的、地区性的和局部的关联,后者只能以循环组分的收支预算和流动的完整、相互制约的知识,以及调节其转化与运输的机制为背景,而加以估计”。因此,必须考虑那些调节控制矿质养分元素转化和运输机理的过程。

外部控制是由物理环境和化学环境所施加的,并且被相关元素的化学性质、它应付环境影响的能力所改变。内部控制是通过这个系统的组分部分的生物学能力,去应付其生物的、物理的和化学的环境而实现的。需要依靠生物活性,去完成吸收—生长—消耗—分解—释放这个养分循环;所有这些生物活性都服从于它们自己的控制影响,其详细讨论不在本综述的范围之内。农业生态系统经常以输入肥料和输出粮食或纤维产品为特征,因此更为服从于人类及其栽培措施的影响。

3.1. 外部控制 (Floate)

农业生态系统最重要的外部控制,大概就是能量所造成的。它通

过调整光合作用,和通过气候条件中的温度对生长速率的影响,以及土壤和植物中依赖于温度的化学和微生物过程而起作用。虽然它有很大的重要性,但这方面的进一步讨论,将超越这个讨论会的范围。

气候不但控制了对土壤的水分供应,而且调节着水分的蒸发和蒸腾损失速率;它亦控制着季节性的水分供应,而这在生长季节,对于农业生产是最重要的。水分是一种重要的运输介质,并且由于养分溶解度和水分供应之间的相互作用,控制着养分对植物和微生物的有效性。因为水分在养分循环的许多方面都如此重要,下一节将详细讨论在液相中的运输。

3.1.1. 在液相中运输 (Wartena)

水分通过系统而运动的一大部分,都具有两个外部特征,就是降水和蒸发。这表示天气造成了在内部和外部控制之间的一种强烈的结合。

排水是内部和外部过程之间的第三种联系。排水经常受着人类活动的影响。

降水量的多少,是不能加以影响的,但生态系统中水的运输速度和通道,则可加以影响。蒸发和排水可在更大程度上加以影响。

实现上述影响的各种途径,其本质各不相同。当可以改变排水时,排水总量一般并不改变,但是流速、土壤含水量、地下水位和水的通道则可大为改变。蒸发有时可被植物所改变,依赖于水的有效性(由于蒸腾而改变了蒸发强度—译注)。这是通过生态系统,排水和蒸发这两个外部因素之间相互作用的一例。

目前蒸发已普遍地用有效能来测定,而蒸发的改变,表示在生态系统和大气之间的边界上有能流密度的改变。这亦依赖于生态系统的其它重要特性,例如温度。

水分运动是水分循环的一部分,它与有效能和其它气象因素如

风速、（气候）稳定性、空气湿度和空气温度相互起着作用。

对于研究养分循环，水分运动比其它因素具有更为直接的重要性，因此对水分循环必须给予极大的注意（Alissow等，1956；Domenico，1972）。

水分循环的一个显著方面，就是大陆有了正的水分平衡值，结果海洋有了负的水分平衡值。一部分降落在土地上的水分，经过土壤表面或经过底土而进入海洋。从农业的观点看，还需应用其它的标准。在夏天或在干旱季节中，蒸发高于并且有时是大大高于土壤有效水量加上降水（De Vries和 Afgan，1975）；这意味着在夏季水分短缺，无论在湿季或在冬季增加了多少水分，农学家都将认为这是一种水分不足的情况。图1指出了对养分的有效性很重要的那一部分水分循环（Dooge，1967）。各个数字的含义是：1.降水；2.被植被截留的一部分降水；3.积水；4.表面径流；5.渗入土壤的水分；6.贮于根带的水分；7.被根吸收的水分；8.水分离

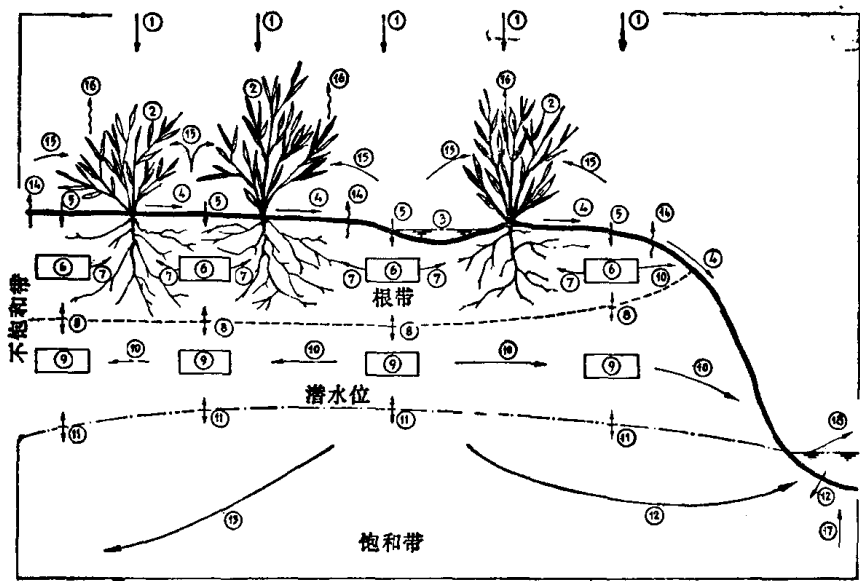


图1 水分循环中的一部分通道