

植物根系分布生态学理论与体系模式之研究

颜正平

(台湾中兴大学水土保持学系, 台中 402)

摘要: 采用壕沟法, 调查 117 种植物, 分 8 项因子及序级, 将植物根系分布类型分为基本型、深度型及密度型, 以生态学规律、理论及体系模式解释其与环境因子之关系。根系分布占据生态位, 依生态因子之规律, 相互补偿适应, 经生态系统稳定后, 产生根系分布形态之系统, 亦如同植物地上部之发展稳定, 而达成生态平衡, 此种演变及发展过程可以生态体系模式表示之。

关键词: 生态系统; 种群; 群落; 基本型

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005) 05-0001-06

Study on Model and Theoretical Ecosystem of Root Distribution

YAN Zheng-ping

(Department of Soil and Water Conservation, Zhongxing University, Taichung, Taiwan 402, China)

Abstract: With trench method, this study was to survey 117 kinds of plants. According to eight factors and orders, the root distributions of plants were classified to 3 patterns: basic, deep, and dense. The relationships between root distributions and environmental factors could be explained by ecological function, theory, and model. Based on the specific plant's niche, ecological factors, and mutual compensation acclimation, the system of underground root distribution would be properly set as the stratification of up-grown part of plants in the ecosystem. This process of development and change is demonstrated in ecosystem physical model.

Key words: ecosystem; population; community; basic pattern

1 前言

任何一种植物均不能脱离特定之生活环境, 其生活环境即在一定时间内对生命有机体生活、生长、发育、繁殖及对有机体存活数量有影响之空间条件及其它条件之总和, 此种空间条件经限制性及耐受性之因子, 又从生态演替及生态平衡等变化过程, 而成为变动、稳定、发展之生态系统。

生态系统在一定相互联系中, 是与周围环境发生关系之各组成部分之总和, 其组成要素之间相互制约、相互作用、相互联系等组成秩序反映植物生态系统之空间特性、时间特性、物种组成、种群结构层片结构等结构。此种结构特征是生物群落与环境之间保持动态平衡之稳定能力, 与同生态系统物种与结构之多样性、复杂性是呈相同关系, 亦即不同生物种群间造成能量与物质流动障碍时, 即以补偿作用予以克服, 因此多种生活型及基因型之植物物种与种群促进生态系统之稳定与发展, 此即生物多样性族群稳定原理。

生物与非生物环境对于生态系统而言是缺一不可, 倘无环境之存在, 生物即无生存空间, 亦未能取得赖以生存之各种物质, 即无法生存。绿色植物系生态系统之核心, 因绿色植物既为生态系统中其它生物所需能量之提供者, 亦为给予其它生物栖息场所, 故一个生态系统之组成、结构及功能状态, 除取决于环境条件外, 最主要为决定于绿色植物之种类结构及其生长状态。

生态系统之能量流动与物质循环紧密结合, 共同运行,

维持生态系统之生长、发育、进化演替。植物则分为地上部与地下部, 分别扮演生产者、消费者及还原者之工作。

地球上覆盖不同种类植物, 从演替而稳定, 而建立生物族群, 其地下部亦遵循生态演替规律有如地下树, 亦有盘结错综根系分有之地下世界。本研究即探讨根系分布类型与生态学原理之体系模式之相关性。

2 研究材料与方法

2.1 调查树种

以木本植物为主, 选定 117 种植物进行根系调查。

2.2 调查方法

本调查采用壕沟法(Trench method), 掘长 2 m, 宽 1 m, 深至无根处, 离根株 50 cm (A 剖面) 及 150 cm (B 剖面) 之长方形沟, 置长宽 1 m, 内各分 10 cm × 10 cm 之小方格之方格网, 选定具有代表性之标准木, 进行根系测定。直径 2 mm 以上者属为大根, 分为 6 种直径级别, 小于 2 mm 者为细根, 以占有小方格之百分率, 换算成五等级之细根指数。A 与 B 剖面测定后, 将根株与 A 剖面间之土壤细心掘出, 使根系暴露, 于方眼纸上描绘其根系分布, 并调查土壤层次与根系伸展之关系。(颜, 1972, 2000)

2.3 植物根系分类方法

根系分布类型之决定, 着重其扩展网结之力学性质, 兼顾横向分布与垂直分布, 因水土保持木本植物种类繁多, 有高乔小灌, 亦有单干丛生, 在同一基准下欲求其根系分布之

① 收稿日期: 2005-07-08

作者简介: 颜正平, 男, 中兴大学水土保持学系教授, 农学博士。

类型化, 应以下列 8 项因子为决定之条件:

(1) 细根不同深度分布类型。(2) 细根多寡类别。(3) 大根不同深度分布类型。(4) 大根根数类别。(5) 各深度别频度分布类型。(6) 根系最大深度分布类型。(7) 根系扩展分布类型。(8) 根系分布基本型态。

以上各条件再根据调查木所测得资料统计分析, 细分不同序级, 将调查木所得之配列数字归纳, 进行根系分布型态归纳分类。

### 3 调查结果

吾人对于植物地下部之了解, 显较地上部为少, 盖因根系之调查, 系一困难而繁重之工作, 若非用力深掘, 难窥其貌。各国学者关于地下根系之探究, 早有进行, 但有关根系之分布与生态系统关系, 则鲜涉及, 吾国有关是项研究尤付之阙如。有鉴于此, 乃选定 117 种植物, 进行根系分布类型之研究, 俾探讨其与生态学原理之体系模式之相关性。

1918 年德国 Buhler 将根系分为直根、心根、侧根、吸收根, 1927 年 Munch 分为直根、心根、平根, 1935 年日本中岛将根系名称统一为根珠, 主根(直根、心根、平根), 副根(垂下根、纽根), 细根(须根、吸收根), 1957 年日本刈住以根系分布方向分为水平根、垂下根、斜出根。(颜, 1972)

热带雨林地区因降雨频繁, 温度大, 植物根系无需深入土中, 因此根系分布不深, 且多盘走在表层, 因土壤中多土壤空隙空气含量少(颜, 1975), 为满足其补偿作用而有气根、膝根、直立根之出现, 且热带雨林风力强, 树冠亦大, 因此有支柱根、板根及膝根之生长, 尤在河川出海口、海埔地、沼泽地之红树林(Mangrove)更易发现。为防退潮时土壤之流失, 植物根系更以盘根、膝根及板根以阻挡土壤之流失或崩毁(颜, 2000)。某些植物因根伸展于潮湿水中, 为达其呼吸作用, 而自地下根部直立生长土面而成直立根, 在越南胡志明纪念公园水池旁可多见。

2004 年颜正平依据逐年根系调查结果资料加以整理统计, 在研究方法所列根系分布类型化之 8 项因子决定条件, 不难了解其生态意义。多由吸收根组成之细根, 对于吸收水分及养分之生理作用最具关连, 细根分布之深浅, 显示其对水分、空气及养分供应之适应性, 而细根之多寡则为其适应之能力, 有谓细根分布浅者为好气性, 深者为嫌气性, 细根多者较耐干旱。

大根数量及其分布深度为表现其力学之物理性。大根除具输导之生理作用外, 主要系负荷地上部之支持作用, 而在地下部所表现之力学性质, 对于水土保持之固土防坍关系至大。

细根及大根在各阶层分布之匀配与否, 为决定根系扩展延伸情形之条件, 亦为固土网结能力之依据。

以垂直分布而言, 底土情况可影响根系之贯穿深度, 但植物根系之分布有其先天之本性, 即根系之最大分布深度, 除具物理性之意义外, 亦可决定其对土壤之适应性。

根系横向分布之测定不易, 以追迹法测定水平根发达状态, 在密集森林或造林地殊为困难, 故以 A 剖面与 B 剖面根数之比率, 以推察根系扩展情形。

除 1 至 7 因子外, 并由根系型比较根系分布形态及某种特殊的根, 以辅助根系型分类之基础。

为比较根系分布之类似性, 将植物根系调查所得资料, 加以统计分析, 除第 8 因子根系型外, 1 至 7 因子再各分为 4 至 6 种序级, 以为分类之依据。经根系分布深度之分析, 每深 30 cm 其分布量有急速递减之趋势, 故以深 30 cm, 60 cm, 90 cm 等作为深度之界限。

本研究系以根系分布之相互依存、相互制约、协调发展、转化再生、动态平衡、适应补偿、协同进化、资源有限等生态规律, 进而研究其生态学基本原理为目的, 因此根据上述条件及序级, 将各调查所得之数字, 加以归纳比较, 配列相似者归为一类, 依据生态学理将根系分布以基本型、深度型及密度型加以探讨, 并推研其体系模式。

#### 3.1 根系分布基本型

##### 3.1.1 横走型(PH-type)

台湾扁柏、台湾肖楠、台湾二叶松、琉球松、广叶杉、山胡椒、麻六甲合欢、台湾红豆、枫香、杨梅、台湾黄杞、山黄麻、棱果榕、小叶桑、苹婆、山芙蓉、白袍子、土密树、香港馒头果、小叶桃花心木、刺番荔枝、樟树、天台乌药、南投黄肉楠、墨点樱桃、印度黄檀、长尾尖楮、峦大山石栎、台湾榉、台湾朴树、构树、雀榕、山龙眼、薯豆、千年桐、血桐、重阳木、大头茶、厚皮香、台湾杨桐、番石榴、榄仁树、龙眼、紫叶珠泡花树、黄连木、山盐菁、麻露兜、红花八角、乌心石、香桂、日本桢楠、五掌楠、江某、草、栓皮栎、川上氏槲、苦扁桃叶石栎、短尾叶石栎、银木麻黄、榕树、倒卵叶山龙眼、黄槿、麻风树、乌臼、山红柿、绿樟、柚木、九芎等属之。(颜, 1974)

##### 3.1.2 直角型(R-type)

湿地松、柳杉、红桧、香楠、变叶新木姜子、相思树、山羊耳、台湾海桐、无患子、台湾狄氏厚壳、林投等属之。(Yen et. al., 1978)

##### 3.1.3 垂直与水平型(VH-type)

台湾冷杉、铁刀木、大叶合欢、木柳、台湾赤阳、木贼叶木麻黄、木棉、山白、野桐、木荷、琼崖海棠树、大叶案、苦楝、大叶桃花心木、檬果、破布子等属之。(Yen, 1984)

##### 3.1.4 垂直型(V-type)

金合欢、银合欢、密花市葱等属之。

##### 3.1.5 团网型(M-type)

印度田菁、骨消、山油麻、山漆茎、蓖麻、伯拉木、夹竹桃、埔姜、苦蓝盘、马缨丹等属之。(Yen, et. al., 1984)

#### 3.2 根系分布深度根系型

##### 3.2.1 深根性根系型

(1) 具斜出根及垂下根, 大根、细根及分布频度集中于中下层, 深可至 90 cm 以下, 为深根性植物, 如香楠、湿地松、红桧、无患子、木荷、木棉、榕树、大头茶、倒卵叶山龙眼、山柏、柳杉、台湾朴树、大树案等属之。

(2) 在地上部具有粗大气根, 入土后约于地下 30~60 cm 处生出多量中径侧根, 如林投属之、麻露兜属之。

(3) 水平根或斜出根发达, 有的具有甚长主根或少量之垂下根, 大根或细根集中于上层, 为一深根性植物, 如琼崖海棠树、苦楝、破布子、野桐、木柳、台湾狄氏厚壳、台湾海桐等属之。

(4) 具有直而深之主根, 而侧根稀少, 其横向扩展亦狭, 系一深根性植物, 仅金合欢一种属之。(颜, 1974)

##### 3.2.2 中根性根系型

(1) 具有垂下根及斜出根, 但较相思树根系型为短浅, 为一中根性植物, 大根、细根及频度分布均集中于下层, 如广叶杉、黄连木、台湾榉、台湾扁柏、印度黄檀、刺番荔枝、榄仁树、黄槿、乌臼、银木麻黄、重阳木、千年桐、山红柿、草、台湾肖楠、川上氏槲、短尾叶石栎、麻风树、江某、栓皮栎、乌心石等属之。

(2) 具有水平根或斜出根, 垂下根短浅, 大根、细根及分布频度均集中于上层, 为一中根性植物, 如南投黄肉楠、山龙眼、台湾杨桐、构树、天台乌药、峦大山石栎、琉球松、龙眼、番石榴、樟树、柚木、血桐、雀榕、山盐菁、枫香、苹婆、棱果榕、白袍仔、小叶桃花心木、麻六甲合欢等属之。(颜等, 1973)

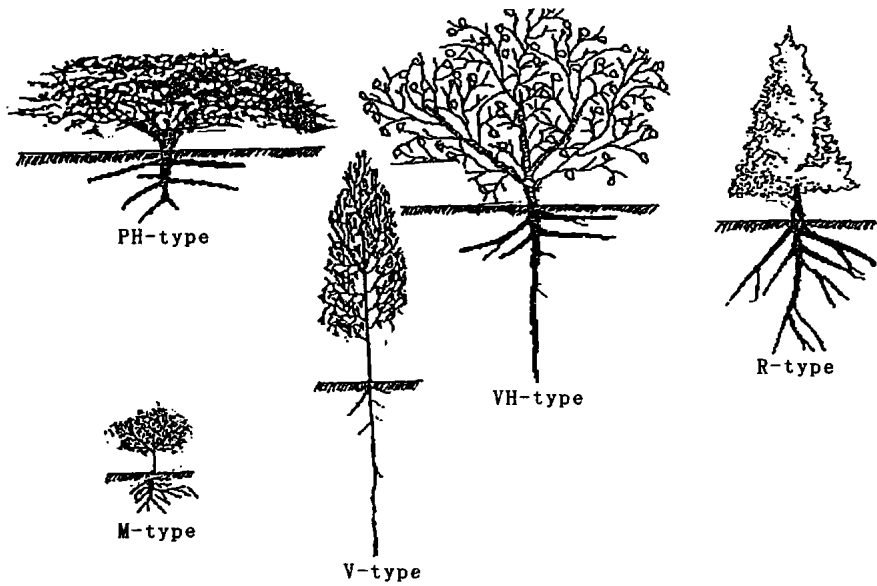


图 1 根系基本型图示( 颜, 2004)

(3) 根系扩展范围狭, 侧根少, 为一中根性植物, 不如金合欢根型有深而直之主根。属此型之植物有苦蓝盘、密花市葱、夹竹桃、银合欢及印度田菁等。

3.2.3 浅根性根系型

(1) 水平根极为发达, 垂下根极少或无, 水平根自根株处四射伸出。大根及细根均集中于上层, 为一浅根性植物, 如胡椒、香港馒头果、台湾二叶松、台湾红豆、小叶桑、杨梅、土密树、山芙蓉、台湾黄杞、山黄麻等属之。

(2) 根系横向扩展范围狭, 根细, 均集中于上层, 分布浅, 为一浅根性植物, 属此型植物有 骨消、山油麻、蓖麻、山漆茎、埔姜及马缨丹等。( 颜, 2004)

3.3 根系分布密度根系型

3.3.1 深密型

属此型者计有柳杉、红桧、香楠、变叶新木姜子、相思树、大叶合欢、山羊耳、台湾赤杨、木贼叶木麻黄、无患子、麻露兜等 11 种植物。( 颜, 1974)

3.3.2 浅密型

属此型者计有湿地松、广叶杉、台湾扁柏、台湾肖楠、红花八角、白花八角、乌心石、香桂、日本桫欏、天台乌药、南投黄肉楠、山胡椒、五掌楠、山枇杷、山樱花、墨点樱桃、鸟梨、江某、枫香、栓皮栎、川上氏槠、长尾尖槠、苦扁桃叶石栎、短尾叶石栎、峦大山石栎、台湾黄杞、银木麻黄、台湾榉、山黄麻、构树、山龙眼、倒卵叶山龙眼、薯豆、黄槿、山白、白苞仔、六头茶、木荷、厚皮香、台湾杨桐、台湾杜鹃、来特氏越橘、番石榴、山红柿、龙眼、紫珠叶泡花树、绿樟、黄连木、青枫等 49 种植物。( 颜, 1974)

3.3.3 疏根型

属此型计有台湾冷杉、台湾二叶松、琉球松、台湾五叶松、刺番荔枝、樟树、台湾林檎、铁刀木、金合欢、麻六甲合欢、银合欢、印度黄檀、台湾红豆、印度田菁、草、骨消、水柳、杨梅、台湾朴树、山油麻、榕树、棱果榕、雀榕、小叶桑、台湾海桐、苹婆、木棉、山芙蓉、千年桐、麻风树、乌臼、血桐、野桐、重阳木、土密树、香港馒头果、山漆茎、密花市葱、蓖麻、琼崖海棠树、大叶案、榄仁树、伯拉木、苦楝、大叶桃花心木、小叶桃花心木、山盐菁、檬果、夹竹桃、台湾狄氏厚壳、破布子、埔姜、苦蓝盘、柚木、马缨丹、九芎、林投等 57 种植物。( 颜, 1974)

4 分析与讨论

4.1 根系分布之生态学规律

4.1.1 依存制约规律

生态体系中各种生物个体均建立在一定数量之基础上, 其大小与数量均存在一定之比例关系, 此即相生相克规律。

相互依存与相互制约, 反映生物间之协调关系, 系构成生物群落之基础, 相同生理及生态特性之生物, 占据相适应之生活环境, 构成生物群落, 此种生态系统之协调关系即生物物相关规律。( 何, 2002)

根系之发育受遗传潜力(hereditary potentialities)及环境因子(environmental factors)所影响。根系分布虽有其先天之基本类型, 但其分布状态, 每遭气候、土壤、位置及生物等因子而改变, 同类树种生长于不同生育地者, 其分布型态, 绝难如一, 而各显示其不同类型, 生育地因子之综合作用, 非仅影响生育地之性质, 且各因子间亦发生相互之作用(interaction of site factors)。植物若远离其乡土区域, 每有生长不良及根系分布呈显著差异, 乃由该各生育地因子之效应, 不利其生育故也。( 颜, 2000)

4.1.2 协同发展规律

有机体与其所处环境形成一个整体, 来自环境之能量与物质是生命之源, 故个体与整体环境之紧密结合, 方能形成统一整体之协同发展。

幼苗根之生长型由其遗传性决定, 初期根渐次生长, 即根系型受环境因子之影响亦随之愈大, 但某些植物种类不易受环境因子而改变其分布之类型态。故在适宜之生长地生长正常之植物, 同类树种之根系分布, 必有其近似之类型, 换言之, 在占有优势之生育地, 根系之分布仍能发挥其遗传潜力, 故选定适宜之生育地及标准木, 作根系分布类型之分类研究, 乃具有极重要之意义及价值。

4.1.3 协调稳定规律

吾人若欲说明根系型与生育地关系, 颇难获致共同生之结论, 盖因植物各有其先天之习性。一般而言, 深根性植物适宜生长深层土壤, 浅根性植物则在浅层壤易占优势。例如崩坏地土体堆积厚者, 常见台湾赤杨分布, 因其属深根性, 砾岩堆积而土层浅薄者, 则山黄麻占优势, 因其属浅根性故也。

生物与环境间之输入与输出,是相互对立之关系,一个稳定之生态系统,无论对生物、环境,或者整个生态系统,其物质之输入与输出均为稳定平衡。

#### 4.1.4 适应补偿规律

生物与环境之间,存在作用与反作用之过程,而反复相互适应与补偿。

中生植物(Mesophytes)如台湾二叶松、柳杉、湿地松、台湾肖楠、台湾榉、黄连木、苦楝、台湾赤杨、乌桕、水柳、血桐、枫香、棱果榕、密花市、香港馒头果、夹竹桃等,似较为嫌气性,喜生长土壤水分含量多之湿润地,其属深根性者均生长于河沟两旁,如台湾赤杨、水柳等是,属中浅根性者若生长于浅层土壤,为适应其嫌气性,多喜分布于溪谷两岸或水源之地,使易利用土壤中之水分,以补足其补偿因子(Compensating factors),此即为陡斜溪谷多见根系分布浅之台湾二叶松、枫香、台湾肖楠等之理由。

多歧性根系或细根分布量多者似较耐干旱,因易获致多量水分,如木贼木麻黄、大叶合欢、台湾朴树、大叶桉、印度黄檀、榄仁树、银木麻黄、黄槿、琉球松、苦蓝盘、埔姜、林投、麻露兜等。

一般而言,上坡及左右两侧根系分布量较下坡为多,下坡多为大径根,分歧较少,而根系之伸延多作平行型斜下,上坡则多以水平型或斜出型入土,分歧亦多。

各方位中以南向之根系分布量较多,顺次为东向及西向,而北向似较少,此或因温度及水分而影响其根系之分布。

调查时同时测定调查木之冠幅、枝下高及树冠厚度,以求其与根系分布形态之相关性,亦为计算T-R率之重要资料。由各根系型所属之树种观之,其树形有显著之差异,亦即吾人无法自根系型以推察其树形,但树形主要系由分枝性(Branching characters)及枝干角度(Stem-branch angle)所构成,故由地上部枝条多寡及粗细,似可寻出其与地下部根之分歧情形及直径大小,而有某种相关之趋势。

大凡地上部枝条细小而分枝多者,其地下部中小径根亦细密而多分歧,如广叶杉、台湾肖楠、天台乌药、木贼叶木麻黄、台湾杨桐、龙眼等。

地上部枝条疏少而粗枝多者,其地下部之大径根多而分歧少,如樟树、铁刀木、台湾红豆、台湾赤杨、构树、棱果榕、木棉、千年桐、山柏、香港馒头果、木荷、大叶桉、大叶桃花心木、小叶桃花心木、无患子、山盐藿、台湾狄氏厚壳、破布子等。

分枝规则者,其根之分歧亦似较规则,如柳杉、香楠、大叶合欢、野桐等。主干伸长而侧枝细短且少者,其主根修长而侧根亦少,如金合欢、银合欢等。枝干丛生,其根亦密如团网状(M-type),骨消、埔姜、马樱丹等。

#### 4.1.5 资源有限规律

生物之生存依赖各种环境资源,环境资源在质量、数量、空间及时间等均有一定限度,不能无限供给。每一生态系统对外来干扰均有一定之忍耐极限,超过此极限时生态系统即损伤而破坏。(沉,1998)

植物为生育地内各因子综合作用之产物,直接与生育地地位有密切关系,故间接可应用某种植物社会(Plant community)以判定生育地生产之指针价值。一般常以下层植物(Lesser vegetation)为决定地位之指针植物(Indicator plant),但其多属浅根性,难以反应深层之土壤条件。下草植物之土地利用范围与高大植物之土地利用范围有别,其根系分布深度亦异,以下草植物评定土地利用价值实有不宜,故有以高大植物之根系分布形态并用为推测生育地指针价值之必要。

深根性之根系型占有优势之生育地,可推察为深厚土层者,而中根性及浅根性根系型占为优势之生育地,则可推定为中浅之土层。

崩坏地常见有台湾赤杨群落之形成,可推知其为深厚之土体堆积,因台湾赤杨为深根性。但若崩坏地为坠石之堆积而土壤含量少或浅薄者,则多见山黄麻成为纯林群落,盖因山黄麻为浅根性者。此种例证,即足以说明根系型评定土地指针价值及资源有限规律。

#### 4.1.6 转化再生规律

生态系统中借助能量之不停流动,不断在自然界摄取物质合成新物质,又随时分解转化为原来之简单再生物质,重新被补偿植物所吸收,而进行物质循环。

根系除可固结表土,防止冲刷外,深根性之根系有破碎底土,增加风化,而促使风化层与基岩之境界面渐移,枯死之根系所残留孔道及遗体,有增加渗透及改良深层土壤条件之效。根皮与土壤之接触面,有利于雨水之渗入,减少径流溢出,防止洪害,并可增加蓄水及过滤水质。

明了造林树种之根系型,即可据以选择适当之生育地,换言之,何种生育地,即选定何种根系型之树种。

深根性之树种,宜营造于深厚土壤,浅根性之树种,则宜种植于浅薄土壤,若以深根性树种栽植于浅薄生育地,则生长低劣(如柳杉者然)。

林内常见有风倒现象,若深根性树种种植于浅薄生育地,则较同一生育地之浅根性树种有风倒之虞,盖因其浅根性树种具有发达之水平根支持其干冠以免风倒。

浅根性根系型若其水平根特别发达,而其小径根及细根在表层网结密厚者,则影响人工植树造林及天然下种更新,因水分养分竞争关系,苗木易于枯死,即使成长亦难成良木。

混交林(Mixed stand)营造树种及混交比率之决定,亦应以根系型为依据,深根性与浅根性、横走型与垂直型为混交林可为营造林地选定之原则。

栽植距离除考虑干冠扩张大小外,亦应以根系分布之广狭为决定之基础。

水平根发达而横向扩展广者,根系竞争至为强烈,尤以中浅根性者然,若高度密植,生长必劣。为缓和根系竞争,扩展范围之横走型其栽植距离宜大,而根系扩展狭者则可密。

同一根系型而其细根在同一土壤层分布多者,或在表层水平根发达之根系型,根系之竞争强烈,为缓和生存竞争(Struggle for existence)促进林木之生长,有作适当疏伐(Thinning)之必要。间伐方式及多寡,则应视根系型而决定,以适应转化再生规律。

### 4.2 根系分布之生态学基本原理

#### 4.2.1 最小限度因子原理

当某种土壤未克供应某种最低限量,勿论其它养分如何充足,植物仍不能正常生长。1940年德国化学家立比西(J. Leibig)在研究谷物产量时发现,植物对某种矿物盐类之需要不能低于某一限量。植物处于某种特殊之环境因子,植物生长仍遵循此种最小限度因子原理,进行物质与能量之输出与输入之规律。(何,2002)

利用植物以灭刹风速及安定飞砂为有效之方法,惟植物非具特殊之根系型,实难立足于强风地带。某种根系型因具支柱根,故可被选作为海岸防风之用。适生海岸地区之乔木,应具深根性之根系型,始可抵御强劲风势。内陆地区风力较弱,中根性乔木及浅根性灌木,凡具此种根系型而有防风效果者均可应用。耕地防风为避免与主作物竞争水分养分,根系深长而横向扩展狭者,方为理想之根系型。

以根系型之特定用途而分,能抗风、抗旱、耐盐、耐沙等之限制因子情况下之根系型有下列三种:

(1) 海岸防风根系型。深根性乔木如木贼叶木麻黄、相思树、台湾赤杨、大叶合欢、榕树、台湾朴树、大叶案、琼崖海棠树、苦楝、台湾海桐、铁刀木等均属之。

(2) 内陆防风根系型。中根性乔木如印度黄檀、刺番荔枝、榄仁树、黄槿、乌臼、银木麻黄、重阳木、麻风树、琉球松、龙眼、山盐菁、枫香及浅根性灌木如苦蓝盘、杨梅、埔姜、马缨丹等均属之。

(3) 耕地防风根系型。金合欢及银合欢根系型属之。明了植物根系分布类型,可解决诸多问题,如水土保持上之崩塌防止、减少水土流失、防风定砂、改良土壤、增加渗透,林业上之判定生育地条件、选定造林树种、适当栽植距离及间伐之决定,与山坡地农业开发经营之宜农直牧地判定、山作物与耕种方式选定、坡地开垦整根株拔除方法及混农林营造之依据等,在在均需据以根系型为基础,作适当之应用,故根系分布类型之研究实系迫切之重要问题。

4.2.2 忍受性原理

上述为某种土壤不能供应最低量之最小限制因子规律,但若因子过量而超过生物体之耐受程度时亦可形成为限制因子。每种生物对某种环境因子均有一生态上之适应范围,此种生态幅即在某种最低点与某种最高点,其两者间之幅度为耐受性限度。(沉,1998)

红树林(mangrove)多出现在多盐、多湿、多风、多泥等耐受性限制因子,在出海口、沿海地带及潮沼地区,因能生长于耐受性之环境而自成红树林群落,如多支柱根、板根、气根、直立根、膝根等特殊之根系型态,在限制因子之情况下,以达到补偿作用。其它生长于海岸地带而达到优势群,即以深根性及深密型之根系型达到其忍受性限制因子,如木贼叶木麻黄即是。

4.2.3 生态位原理

生态位(ecological niche)是指种群在群落中在时间与空间上所占之地位。其生态位之宽度依该种适应性而改变,适应性较大者可占有较宽广之生态位。在生态系统中每种生物之生存均需一定空间与资源,因此同样需要之物种间引起激烈之竞争关系,竞争与选择之结果,种群间造成生态位之隔离,以避免及减少,生态位重叠,而呈现一定范围之物种多样性特点。

台湾西部浅丘地区土壤多属红土台地之卵石层,相思树可以成为优势纯林,是因根系横向扩展广,细根、木根及分布频度密集于中下层,是属深密性根系型,上坡之根系多以横走型或直角入土,以力学性质而言,其稳定性强,故属防坍根型。

每年 5 月盛开白花之苗栗油桐花祭,即为千年桐,因可与相思树混生而成族群社会,是因油桐为横走型、中根性、疏根型与相思树之生态位不同,避免生态位重叠,故呈现一定范围之物种多样性。

大甲溪流域多见台湾二叶松、台湾五叶松等成为优势种群,因上述植物属浅根性之疏根型,水平根极为发达,自根株四射而出,横走于表层,垂下根短浅或无,是横走型根系型,能伸长于大甲溪沿岸之破碎岩中,因而可立足。

所谓珍贵老树是胸高直径 1.5 m 以上(胸围 4.7 m 以上),树龄 100 年以上,特殊或具区域性之树种。1990 年陈明义调查乡间珍贵老树 250 棵,榕树占 26.8%,2003 年张蕙芬等调查台湾老树 400 棵,属于榕树者则占 38.5%。(陈,1996)

榕树是属深根性疏根型及横走型之根系分布,根系在深

60~90 cm 之细根有 10% 以上,大根有 20% 以上,在深度 90 cm 以下之大根或细根仍有 5% 以上之分布,其横走根在地表面水平盘结密布,占据广大面积,为达到其补偿作用,有气根、支柱根、膝根及直立根,其地上部之树冠广密,终年常绿,此即其生态位占有优势地位,能量与物质紧密结合,共同运行,有利于生长、发育与进化,而可长久屹立于生态系统中,成为珍贵老树,珍贵老树是文化遗产,是绿色古迹,应予珍惜及保护。

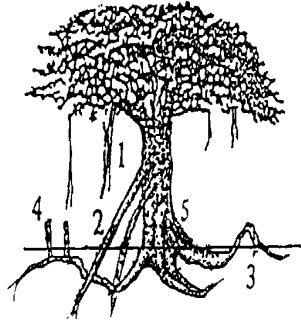
4.2.4 多样性导致稳定性原理

生态系统物种与结构之多样性、复杂性能力愈强,则其抗干扰性亦强,亦即生物群落与环境之间保持动态平衡稳定状态之能力,系同生态系统物种及结构之多样、复杂性呈正相关,因在结构复杂之生态系统中,当某一环节发生异常变化,造成能量与物质流动之障碍时,可由不同生物种群间取得其补偿作用,亦可由群落演替恢复原先之稳定状态。在物种丰富多样之热带雨林中,某些物种的缺失即可由补偿作用以稳定其生态系统之平衡。

热带雨林因高温多雨,土壤含水量高,不匮水分之供给,但土壤团粒中之空气则相对减少,为满足其补偿作用而有气根,为防止其表土冲蚀及流失,以及风倒,而有支柱根、盘根、膝根及直立根,以保持自身之生存延续,而达成及样性之稳定状态。如榕树、雀榕、榄仁树、印度黄檀、乌臼、黄槿、林投麻露兜、苦蓝盘等皆是。

4.2.5 生态演替原理

变动与发展为生态系统最基本特征之一,植物生态系统中因时间推移优势种发生明显改变而引起植物组成之变化过程,此种演替系以稳定之生态系统为发展演替,在一定之限度内通过自我调节能力,平衡自然或环境之冲击,从而保持其稳定性,此种发展稳定之生态系统遵循生态演替规律,表现为个群落取代另一群落。



1. 气根; 2. 支柱根; 3. 膝根; 4. 直立根; 5. 板根

图 2 植物特殊根系

种群(population)系在特定时间与一定空间中生活与繁殖同种个体之群体,亦即在一定时空种个体之总和。种群数量之增加受空间之限制,即产生个体之争夺,而出现领域性行为与扩散性迁移,种群中之个体对占有空间具有保护及防御之行为,一个种群所占生存空间愈多,则其发繁殖潜能亦愈大。种群密度系单位面积或单位空间内之个体数目。根系分布受遗传因子与环境因子所影响,种群内之变异性是进化之起点,而进化则使生存者更适应变化之环境。

群落(community)系指在一定时间一定空间内之生物种群之集合,亦即各个物种之种群共同组成生态系统中有生命之部分。在时间过程中生物群落具有一定顺序状态改变其外貌,亦即具有发展与演变之动态特征。

维持群落稳定性系依在一定时间过程中物种数量与物种间之相互组合,在经外界扰动后之调节能力,亦即变化过

程中为生态系统稳定之发展演替。(夏等, 1993)

在火灾迹地可常见台湾二叶松、香港馒头果、小叶桑、山芙蓉等之根系布属于浅疏性横走型。

在崩坍地或堆积地因土层深厚多见台湾赤杨、无患子、变叶新木、姜子、野桐、山盐菁、台湾朴树、苦楝、血桐、白袍子、构树等属于深密或中疏型之根系分布型态, 其中尤以台湾赤杨因属于密根型占优势二期植物之生态演替。

崩坍地或地滑地若土壤浅薄而砾石多者, 常见山黄麻、江某、土密树、山盐菁、小叶桑、骨消、山芙蓉等中浅根性之浅密型或疏根型, 其中山黄麻之浅密性浅根型, 在崩落之河床地带常可见占优势之二期植物生态演替。

#### 4.2.6 生态平衡原理

生态系统在一定限度内通过自我调适能力平衡自然或人为干扰冲击, 而保持其稳定性, 此种在一定时期内结构与功能处于相对稳定状态, 即生态系统之平衡。

生态系统(ecosystem)是一定空间内生物与非生物成分通过物质循环、能量流动及信息交换而相互作用、相互依存所构成之一个生态学功能单位。(诸, 1989)

生态系统在一定时期内结构与功能相对稳定状态, 其物质能量之输入与输出相等时, 即使在外来干扰下能自我或人为调节控制, 而可恢复原初之稳定状态, 此即为生态平衡。

台湾 3 000 m 以上高山地区, 顺向坡风冲地带多见高山箭竹及台湾冷杉分别占有优势之生态位。台湾冷杉水平根极为发达, 垂下根极少, 或无, 水平根自根株四射而出, 大根及细根均集中于表层, 为浅根性疏根型之高乔横走型植物, 而高山箭竹根系分布横向扩展范围狭, 根细而浅, 集中分布于表层, 根系浅密如团网, 为团网型根系分布型态, 其在生态系统之生态位占有利条件, 而可成片有如草原自成稳定平衡状态。但在逆向坡之陡削坡上则多见台湾冷杉、铁杉、台湾杉、玉山杜鹃等群状分布, 其根系分布互占有相对之生态位, 而能稳定平衡。

台湾中海拔之族群生态社会为针阔叶混交林, 各占有其依存生态位之生态系统, 如红桧、柳杉、香楠、木荷、大头茶、无患子、野桐、台湾狄氏厚壳等为深根型。而台湾扁柏、广叶杉、台湾肖楠、短尾叶、石栎、栓皮采、乌心石、天台乌药、峦大山石栎等为中根性根系型。台湾二叶松、香港馒头果、台湾红豆、台湾黄杞等均属浅根性根系型, 因其结构与功能均在生态系统达到相对稳定之生态平衡。

台湾西部浅丘山区, 若在西侧迎风面受季节及海风之冲击, 相思树根系分布因属深密性直角型, 可立足于多风干燥红土砾石层土壤, 占据适宜之生态位而成为优势纯林。但若在内陆丘陵山区则湿度较高, 西晒较弱, 有较多之依存协调生态系统之种群出现, 如油桐花祭之千年桐, 其基本型为横走型, 可避免生态位之重叠, 而达到生态平衡。

参考文献:

- [1] 何兴元, 等. 城市森林生态研究进展[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002. 1- 379.
- [2] 沉清基. 城市生态与城市环境[M]. 上海: 同济大学出版社, 1998. 1- 394.
- [3] 夏禹九, 等. 森林资源的永续经营[M]. 台湾: 林试所, 1993. 1- 170.
- [4] 张蕙芬, 等. 台湾老树地图[M]. 大树文化公司, 2002. 1- 254.
- [5] 陈明义. 台湾乡间老树志[M]. 台湾省政农林厅, 1996. 1- 134.
- [6] 诸葛阳. 生态平衡与自然保护[M]. 淑馨出版社, 1989. 1- 248.
- [7] 颜正平. 树木之地下世界- 植物根系分布类型之研究[J]. 中兴大学通识教育委员会博学季刊, 2004, (第二期): 1- 10.
- [8] 颜正平. 生活环境学[M]. 牛顿出版社, 2000. 1- 420.
- [9] 颜正平. 根系型在水土保持适用效能之研究[A]. 水土保持植生工程研讨会论文集[C]. 中兴大学印行, 2000. 127- 137.
- [10] 颜正平. 黑胡桃根系分布与土壤性质之关系[J]. “中华水土保持学报”, 1981, 12(1): 37- 50.

#### 4.3 根系分布生态体系模式

在生态平衡之生态系统中, 能量流动与物质循环能长期保持稳定状态, 生物群体之种类、数量、生物量等均达到最大, 对外来干扰可自行调节, 以恢复正常状况, 长期相对稳定之协调关系必定要合理之生态系统结构及动能之作用为条件, 故生态系统之形成乃是种群群落与环境之间, 种群群落相互之间, 长期演化与适应之结果。

总之, 根系分布之生态学规律、生态学原理, 以及根系型之分类, 可将其生态体系模式简列如下:



图 3 生态体系模式(颜, 2004)

种群是在一定时空中同种个体之总和, 具有空间、数量及遗传等特性, 是组成生态系统中有生命之部分。但群落中所有物种, 并非具有相等重要性, 在其大小、数量及活动上扮演重要影响与控制作用, 而成为多样性及优势性之种群群落。

生活环境是一综合体, 由各种因素组成其组成因素即为生态因子, 生态因子之作用为限制因子、最小因子及耐受性因子等, 故一个生物或一群生物之生存与繁荣取决于综合之环境因子, 亦即诸多生物与非生物因子影响种群群落之适合度, 而欲达到适合度之进化过程中, 必然发生竞争与排斥作用, 而争取有利之生态位占据位置。

群落稳定性系指群落在一段时间过程中维持物种生态位之互相结合及各物种数量关系之稳定能力, 当一个群落具有多样物种, 且个体数比例均匀分布, 经补偿作用及多样性之发育阶段是决定群落稳定性之原因。在生态系统稳定上及空间上占有其稳定生态位, 根系分布型类于焉产生, 其根系分布系统分为基本型、深度型及密度型等三种。

生态系统在一定时期内植物之地上部及地下部结构与功能占据适当之生态位而处于相对稳定状态, 倘若遭受外来干扰, 亦能通过补偿调适, 以恢复原来之稳定状态, 此可谓为根系分布系统之生态平衡。

## 5 结 论

生物群落与环境是相互依存, 无环境即无生命, 环境影响植物, 植物亦适应环境, 依相互制约、协调及发展等生态因子之规律, 遵循此种规律而占据适宜之生态位, 形成可相互补偿适应之生态稳定, 植物地上部生存发展规律是如此, 地下部亦稳定而形成生态位不重叠之根系分布系统, 此即根系分布之基本型、深度型及密度型, 而形成稳定发展之植物社会, 生物群落乃趋于生态平衡状态, 此种演变及发展过程可以生态体系模式表示之。

地重划地区尚未有完成环境影响说明书及送审之案例,嗣后审查委员会对于人工湿地所处理污水后之水质及出水稳定性之疑虑,是否同意以此方式作为污水处理措施,则有待进一步法制建立,实际地了解及评估。

### 5 结 语

国外对于人工湿地之研究及实际应用,已相当普遍,对于废(污)水之处理、调洪、暴雨径流的处理,以及景观生态环境的再造,均得良好成果。人工湿地本身俱有(1)建造费用及操作维护成本低。(2)节省能源,不需机械设备。(3)可处理低浓度有机物废水。(4)处理后之水可回收再利用。(5)不需连续操作。(6)无二次污染问题等优点;而在土地生态方面亦可提高环境污染净化能力、提升河川之污染自净能力、提供野生生物栖息地、与周遭环境和谐契合并能改善景观、提供较丰富、营造多元之生态环境,回复生态系之自律性的生物多样性等功能(林莹峰、荆树人,2004)。经过人工湿地系统处理后的出水水质,通常可以达到一般放流水水质标准,适用于农作物和一般植栽之灌溉用水水源,处理后的水亦可以直接参考文献:

[ 1 ] Kadlec,R H,R L Knight.Treatment Wetland[ M ]. Boca Raton,F L KCRC Press,1996.

[ 2 ] 丘文彦.人工湿地应用规划与法治课题[ J ].台湾湿地,2001,90 年 4 月份第 23 期:(<http://www.wetland.org.tw/about/hope/hope23/hope23.htm>)

[ 3 ] 丘文彦.人工湿地及其景观生态之应用[ A ].2004 生态工法案例编选集[ M ].公共工程委员会,2004.389– 418.

[ 4 ] 李黄允.以二阶段人工湿地去除生活污水中之营养盐[ R ].中山大学,环境工程研究所,2001.135.

[ 5 ] 李汉铿.砾间接触法对小型河川水质之改善,生态工法系列讲座(八)[ Z ].逢甲大学营建及防灾研究中心,2005,3– 1~ 3~ 27.

[ 6 ] 林莹峰.湿地对于水资源之保育管理及永续利用—子计划三:水产养殖废水之人工湿地处理及循环再利用之研究(1)[ R ].“科学委员会”专题研究计划成果报告 zNSC88– 2621– Z– 041– 001),1999.

[ 7 ] 林莹峰,荆树人.人工湿地生态工法在水污染防治上的应用及案例[ A ].2004 生态工法案例编选集[ M ].“公共工程委员会”,2004.419– 498.

[ 8 ] 荆树人.社区水资源再利用与永续经营[ Z ].嘉南药理科技大学生态工程技术研发中心,2005.1– 12.

[ 9 ] 许文明.以现地及小型人工湿地探讨数种水生植物净化养猪废水之效能比较[ D ].屏東科技大学环境工程与科学系,2002.144.

[ 10 ] 陈意昌,林信辉,刘昌文.农村社区土地重划结合近自然工法探讨[ J ].乡村发展,2005,5.

[ 11 ] 陈盈利.人工湿地在河川水质改善之应用研究[ D ].屏東科技大学环境工程与科学系,2004.114.

[ 12 ] 陈柏州.以人工湿地净化水质之研究[ D ].高雄第一科技大学环境与安全卫生工程系,2004.40– 100.

[ 13 ] 杨磊.人工湿地应用于海岸及离岛型工业区废水污染防治可行性之评估—以台湾六轻麦寮厂为例[ J ].台湾湿地,2001.25.

(上接第 6 页)

[ 11 ] 颜正平.梨山地区落叶果树根系调查[ J ].“中华水土保持学报”,1975,6(1):11– 25.

[ 12 ] 颜正平.坡地落叶果树根系初步调查[ J ].“中华水土保持学报”,1974,5(2):46– 55.

[ 13 ] 颜正平.台湾木本植物根系分布深度及密度形态调查[ J ].“中华水土保持学报”,1974,5(1):105– 123.

[ 14 ] 颜正平,胡苏澄.坡地常绿果树根系初步调查[ J ].“中华水土保持学报”,1973,4(2):5– 30.

[ 15 ] 颜正平.水土保持植物根系分布基本形态调查[ J ].“中华水土保持学报”,1973,4(1):65– 85.

[ 16 ] 颜正平.水土保持木本植物根系分布类型研究[ M ].“中华水土保持学报”,1973,3(2):201– 204.

[ 17 ] Pham,C H,C P Yen,G S Cox,et al.Slope position,soil water storage capacity and black walnut root development[ A ].Soil moisture site productivity Symp. Proc,U SDA For.Serv.Southeastern Area,State and Private Forestry[ C ].,1978.326– 335.

[ 18 ] Yen,C P.Tree root pattern and erosion control[ A ].Pro. Symp.on soil erosion and its counter-measure[ C ].Chiangmai,Thailand,1984,92– 111.

[ 19 ] Yen,C P,C H Pham,G S Cox,et al.Garret,Soil depth and root development patterns of Missouri black walnut and certain Taiwan hardwoods[ A ].Proc.symp.on root form of planted tree[ C ].Victoria,British Columbia, Canada,1978,36– 43.