

文章编号:1001-1498(2004)04-0533-08

# 竹林地下鞭根系统研究进展

周本智, 傅懋毅

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所,浙江 富阳 311400)

**摘要:**综述了竹林地下鞭根系统的研究进展,主要包括:竹林地下鞭根系统的数量结构、年龄结构和空间分布的研究,竹林鞭根系统生长特性以及经营措施对它影响的研究,竹根和竹鞭的解剖研究,竹林鞭根的生物量、能量和物质循环的研究,竹林鞭根的吸收能力、根际固氮以及内源激素和生物酶的研究等;总结了竹林地下系统研究的特点,提出了今后的研究方向。

**关键词:**竹林;鞭根系统;地下结构

**中图分类号:**S795      **文献标识码:**A

竹林是我国重要的森林资源类型,现有竹林面积约 720 万  $\text{hm}^2$ ,其中人工竹林 420 万  $\text{hm}^2$ ,原始高山竹丛 300 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。竹林地下鞭根系统是竹林生长、发展的基础,它既是固定和支撑竹林地上部分的器官,又是吸收和繁殖器官,竹林依赖它来吸收土壤中的矿质营养和水分,输送到地上部分利用,同时通过竹鞭进行横向运输,调节竹株之间的养分平衡;竹林地下系统通过鞭系扩展和孕笋长竹,直接支配着竹林的繁殖、发展,是决定竹林生产力高低的关键因素;从生态系统的角度看,竹林地下系统是竹林生态系统内物质循环和能量流动的重要通道,在系统的生物地球化学循环过程中扮演着重要角色。

竹林地下鞭根系统包括竹林根系、鞭系(散生竹和混生竹),竹株根系由支撑根(竹根)及其各级支根组成,鞭系则由横走地下、相互连接的竹鞭(地下茎)以及着生在上面的鞭根和各级支根组成。竹林鞭根系统还应包括竹秆的地下部分,即秆基和秆柄。鉴于竹林鞭根系统对于竹林林分和竹林生态系统的重要性,广大竹类科学工作者对其开展了卓有成效的研究,现将新近研究进展综述如下,以期从事该项研究的科技工作者提供较为全面的信息和以后开展此类研究的借鉴和参考。

## 1 竹林鞭根系统与空间分布的研究

竹林鞭根系统的结构和空间分布状况是竹林地下系统重要特征之一,它直接影响到出笋的数量、成竹的数量和品质,对整个竹林的生产经营有着很大的影响。

### 1.1 竹株地下部分结构

20 世纪 60 年代初,萧江华<sup>[2]</sup>对毛竹(*Phyllostachys pubescens* Ohwi)林的地下系统结构开展的研究表明,在材用毛竹纯林中,竹株地下部分在 0~30 cm 的土层内所占容积比达 80% 以

收稿日期:2003-06-16

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(30300273)和中国林业科学研究院科学技术发展基金项目

作者简介:周本智(1969—),男,安徽宿松人,副研究员,硕士,在读博士。

上,30 cm 以下分布很少;在距离秆基中心 20 cm 的范围内,其容积比也占 80 %左右,也就是说,以秆基为中轴线、半径为 20 cm、高为 30 cm 的圆柱体的空间内,竹株地下部分的容积比占总量的 80 %左右。

## 1.2 竹林鞭根数量与垂直分布

衡量竹鞭数量的指标有单位面积或单位体积土壤内竹鞭的鞭段数、鞭长、鞭质量或鞭体积。众多的研究表明,毛竹材用林和笋用林的竹鞭绝大部分分布在 0~30 cm 深的土层内,无论是从竹鞭和竹根系的分布频数,还是从质量、生物量或体积比例来看,80 %左右的竹鞭都集中在这一层次<sup>[2~4]</sup>,所以,毛竹属于典型的浅根性树种。郑郁善等<sup>[5]</sup>通过对福建省各毛竹产区的丰产材用竹林、笋竹两用林和笋用林的地下结构特点的比较分析,认为笋竹两用林的总鞭长大于材用竹林和笋用竹林,而材用竹林的总鞭质量大于笋竹两用林和笋用竹林。

茶秆竹(*Pseudosasa amabilis* McClure Keng f.)竹鞭 100 %分布在 0~50 cm 的土层中,其中 0~30 cm 土层的鞭根数占总量的 87 %,茶秆竹鞭系较小,鞭段长介于 2~22 m。在 0~20 cm 土层中,茶秆竹鞭段数占 59.66 %,竹鞭总长占 54.84 %,鞭重占 55.86 %,是茶秆竹竹鞭分布的主要层次。竹林密度为 10 500~12 000 株·hm<sup>-2</sup>时,每平方米的鞭段数和鞭长达到最大值,而鞭质量则在 15 000~16 500 株·hm<sup>-2</sup>时达到最大<sup>[6]</sup>。

雷竹(*Phyllostachys praecox* C. D. Chu et C. S. Chao)竹鞭在土中分布可深达 60 cm,11~40 cm 土层中,竹鞭占 80 %以上<sup>[7]</sup>。雷竹侧芽总数,除表层外随着深度的增加而减少,11~30 cm 是鞭侧芽主要分布层。随着深度的增加,鞭侧芽分布越来越少,未发芽数也随着深度的增加而减少,而已发芽、烂芽的比例则随着深度的增加而增加<sup>[8]</sup>。箬竹(*Qiongzkuea tumidinoda* Hsueh et Yi)竹鞭主要分布在 0~20 cm 的土层中,这一层次的竹鞭数占整个剖面竹鞭数的 56.42 %,而在 60~80 cm 深处的竹鞭数仅占总数的 7.69 %,即从地表到地下,随深度增加竹鞭数量依次递减<sup>[9]</sup>。台湾桂竹(*Phyllostachys makinoi* Hayata)竹鞭也主要分布在 0~20 cm 的土层中,占总数的 85.8 %。不同鞭龄的竹鞭在土层中的分布是不均匀的,幼龄鞭有趋浅走势<sup>[10]</sup>。白夹竹(*Phyllostachys bissetti* McClure)的竹鞭分布在土壤上层,多集中生长在 0~15 cm 范围内,在肥沃疏松的土壤中鞭分布超过 20 cm,在贫瘠板结的土壤中鞭分布较浅,多盘结在 10 cm 以内的土层中<sup>[11]</sup>。

丛生竹地下茎为合轴型,粗大缩短,节密根多,没有象散生竹一样横走地下的竹鞭。根据林益明等<sup>[12,13]</sup>在福建南靖和华安的研究,麻竹(*Dendrocalamus latiflorus* Munro)和绿竹(*Dendrocalamopsis oldhami* (Munro) Keng f.)林分的细根(直径 5 mm 以下)主要分布在 0~40 cm 的土层中,这一层次的生物量分别占总细根生物量的 87.61 %和 86.57 %;40~80 cm 土层中细根生物量仅分别占总细根生物量的 12.39 %和 13.43 %。细根的垂直分布中,细根生物量由上至下逐层递减,随着深度的增加,细根量逐渐减少。

## 1.3 竹鞭的年龄结构

散生竹竹鞭是其地下结构的重要组成部分,是孕笋和林分扩展的重要器官,其年龄结构就是各年龄竹鞭所占地下竹鞭总量的比例,由于不同年龄竹鞭发笋能力存在较大差异,所以,竹鞭的年龄结构也是影响竹林生产力的重要因素。

笋用毛竹丰产林竹鞭生物量和鞭段数均以 1~4 a 占多数,占总数的近 70 %<sup>[15]</sup>,不同鞭龄的竹鞭在土层中的分布不均匀,1~2 a、3~4 a、5~6 a 竹鞭分布最多的是在 10~20 cm 深的土

层中,而7 a及以上的竹鞭相对分布较深<sup>[4]</sup>。其主要原因是由于垦复过浅以及林地土壤为竹鞭充塞,而使得老鞭分布相对较深。材用毛竹林的鞭长和鞭质量均为壮龄鞭比例最大,分别为71.4%和67.1%,而幼龄鞭次之,老龄鞭比例最小。在笋材两用毛竹丰产林中,幼壮龄竹鞭在整个鞭根系统中占的比例最大,鞭质量占81.8%,鞭长占81.3%<sup>[5]</sup>。这主要是因为人为经营将老鞭挖除所致。

根据茶秆竹鞭龄与发笋数的关系,可将竹鞭分为幼龄竹鞭(1 a),壮龄竹鞭(1~2 a),中龄竹鞭(2~4 a)和老龄竹鞭(>5 a)。幼、壮龄鞭主要分布在0~30 cm的土层中,有向土表生长的趋势<sup>[6]</sup>,台湾桂竹<sup>[7]</sup>、毛竹<sup>[4]</sup>和箬竹<sup>[9]</sup>也有类似情况。雷竹2 a鞭在0~20 cm土层中分布占70%,而在深层土层中很少见;3~4 a鞭主要分布在11~40 cm土层中;5龄鞭段分布较深,一般在31~50 cm之间<sup>[8]</sup>。箬竹竹鞭的年龄结构为:1、2~3、4~5、6~7、8 a竹鞭所占比例分别为12.82%、23.08%、25.64%、23.08%、15.38%,以4~5 a所占比例为大,向两极递减<sup>[9]</sup>。

构建生物种群理论给竹林无性系种群研究提供了一个全新的视角,周世强<sup>[14]</sup>从这个角度研究了四川卧龙自然保护区冷箭竹(*Bashania fangiana* (A. Camus) Keng f. et Wen)更新幼龄无性系种群不同龄级鞭根结构的数量特征,得出地下茎长度、主根数量、主根长度、主根基径、须根数量和须根长度随时间(龄级)的动态变化。地下茎长度呈倒“J”型时间分布模型,其它参数的龄级变化呈正态分布格局,峰值点位于3~5龄级。

## 2 竹林鞭根系统生长的研究

### 2.1 竹鞭的生长特性

顶端生长是高等植物共有的特性,但其生长方式和规律因物种不同而存在很大差异。散生竹竹鞭的生长主要决定于其梢部各节间的延伸活动,在顶端分生组织的下部,由14~16个正在延伸的节间组成延伸区段,自后而前,区段的各节间按慢—快—慢的规律进行延伸活动。延伸区段下部的节间不断老化成熟,停止生长,由顶端分生组织形成的新节间不断增添到延伸区段的上部,参与延伸生长,这样使鞭梢部位不断向前推进<sup>[1,15]</sup>。

毛竹林在造林初期竹鞭生长量逐年增加,竹鞭长度和体积的年生长量在造林后的第二年和第三年都有较大的增长。单鞭长度年生长量一般为2 m左右,最大生长量可达5 m以上。竹鞭的粗度和节间长度也是逐年增加的。随着竹鞭生长量的增加和鞭体的增粗,鞭根系生长量也相应大幅增加<sup>[16]</sup>。大小年分明的毛竹林地下鞭梢的生长同出笋大小年节律相似,大年鞭梢生长期为7.2~8.6个月,而小年生长期较大年少1~2个月<sup>[17]</sup>。

雷竹竹鞭的各个生长阶段,受温度、水分的影响,其生长量差异很大。竹鞭活跃生长期开始和停止的月平均气温为13~16℃,月均气温30℃左右时,生长速度最快,日生长量达到最大值(2~3 cm),雷竹竹鞭生长适宜的月降水量为140~160 mm<sup>[18]</sup>。箬竹无性系种群竹鞭每年生长长度一般为15~90 cm。据观察,3—4月鞭梢生长缓慢,5—6月生长略有加快,7—10月生长速度最快,11月以后生长速度减慢,并逐步进入休眠<sup>[9]</sup>。

### 2.2 经营措施对竹鞭生长的影响

经营措施对竹鞭生长产生重要影响<sup>[9]</sup>,合理垦复促进毛竹地下鞭系的生长,使鞭段数量、竹鞭长度、鞭芽数量、鞭节间长度均有较大幅度增长,垦复使林地竹鞭长度增加2.6倍以上。垦复能改变各鞭龄的组成,还能减少“跳鞭”(竹鞭长出土表)的产生,但对鞭径影响不大。覆盖

使雷竹鞭段数明显增加,但总鞭长和幼壮鞭的比例明显下降。覆盖竹林内整个竹鞭系统中芽的绝对数量远低于未覆盖丰产竹林,仅为丰产竹林单位面积芽数的53%<sup>[20]</sup>。通过对杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)毛竹混交林地下结构的调查<sup>[21]</sup>,发现杉木对毛竹地下结构的生长有一定的促进作用,杉木能提高竹鞭壮芽数的比例,促进毛竹竹鞭向纵深延伸。对新造竹林中栽植檫树(*Sassafras tsumu* (Hemsl.) Hemsl.)后形成的檫树(14~15 a)毛竹混交林竹鞭根结构的调查表明<sup>[22]</sup>,檫树密度为420~615株 $\text{hm}^{-2}$ 的混交竹林,其鞭长、鞭径及其整齐度、新鞭年生长量、壮幼鞭比例、健壮芽数量、鞭根体积等,均在不同程度上高于毛竹纯林中的对应部分,当檫树密度超过735株 $\text{hm}^{-2}$ 时,混交竹林中的上述指标则低于毛竹纯林中的对应部分,但单位鞭长的分岔次数明显加大。回归分析表明,鞭总长、鞭节长、新鞭生长量、鞭径、鞭径整齐度及单位鞭长分岔次数与檫树密度之间的关系密切。

### 3 竹根和竹鞭的解剖研究

竹子根部解剖性质对竹子的系统分类、地理分布、起源演化的研究具有重要意义。竹类植物根部解剖构造包括表皮、皮层和维管柱3个部分<sup>[23]</sup>。竹根的表皮细胞较大,呈圆形或不规则形,为一层连续的薄壁细胞。丛生竹的表皮细胞存留较久,散生竹的根表皮细胞存留时间较短,2~3 a已大部分脱落。表皮内到中柱之间的全部组织都是皮层。维管柱是根中最重要的组织,它处于根的中心,其外围绕着内皮层。维管柱在整个横切面中所占比例因属、种不同而有差异,丛生竹所占比例较大而散生竹所占比例较小。髓部位于维管柱的中央部分,一般无髓腔,散生竹髓部细胞较丛生竹在整个横切面中占比例较少,细胞壁加厚程度也较为强烈。

熊文愈等分别研究了竹鞭(地下茎)和竹秆(地上茎)的解剖构造,指出了它们之间明显的差异<sup>[1,15,24]</sup>。竹鞭中基本组织比例大于竹秆,在横切的单位面积上竹鞭的维管束比竹秆的少,即使在单一维管束,竹鞭的纤维较少,导管、筛管和伴胞的直径较大,原生木质部发育较差。竹鞭韧皮部的方位也不是固定向外的,而是排列不甚规则,甚至在接近髓部的地方出现倒置现象,即木质部向外而韧皮部向内。竹鞭没有髓环,仅存小的髓腔,也是其特征之一。

竹鞭这些不同性状可能与其生理功能和生境有关,竹鞭在土中横向生长,不需要强大的机械结构来支持其自身的重量,但对于直立生长的竹秆来说,这种机械结构至关重要。相反,竹鞭的输导和存贮水分养分是其最重要功能之一,故其输导组织和薄壁细胞较为发达。

## 4 竹林鞭根系统生态学研究

### 4.1 竹林鞭根的生物量和能量

据对闽南毛竹林生物量的研究<sup>[25]</sup>,毛竹根(包括竹根和鞭根)的生物量占总生物量17.25%,仅次于竹秆,竹鞭生物量占总生物量的10.16%,毛竹林地下部分与地上部分的生物量比为0.385,高于福建华安绿竹的0.16、福建南靖麻竹的0.13,明显高于浙江苍南麻竹的0.047,而与闽北毛竹种群的0.391相近,低于福建南靖毛竹的0.540<sup>[26~28]</sup>。可以看出,作为单轴散生竹的毛竹,由于具有地下鞭,其地下部分与地上部分生物量的比值高于合轴丛生的无地下鞭的麻竹、绿竹。毛竹各组分的生物量与相应干重热值的乘积为毛竹各组分的能量现存量。据在福建建瓯的调查<sup>[29]</sup>,丰产毛竹林群落竹根、竹笋和竹鞭的能量现存量分别为22708.9(占14.1%)、14298.8(占8.8%)和4816.6 $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ (占3.0%),地下部分能量垂直分布的配置为

“倒金字塔型”的能量结构。运用分室理论,对毛竹林生态系统能量动态的研究表明<sup>[30]</sup>,系统平衡时地下活鞭根和地下死鞭根分室能量分别为 9 419.87 和 2 005.05  $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

笋竹无性系种群地下部分生物量占总量的 44.94%,竹鞭、竹蔸和竹根生物量分别占总量的 27.13%、11.11%和 6.70%。在地下部分生物量中,竹鞭、竹蔸生物量达 18 420.6  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,占地下部分生物量的 85%以上。竹鞭、竹蔸生物量有随年龄增大而增加的趋势<sup>[31]</sup>。Anand Narain Singh 等<sup>[32]</sup>对生长在印度干旱热带地区的 3~5 a 牡竹(*Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees)生物量和生产力的研究表明,牡竹地下部分生物量占总生物量的 34.7%,其中竹蔸生物量占总量的 25.3%,仅次于秆,竹根生物量占总量的 9.4%,4~5 a 牡竹竹蔸和竹根的平均净初级生产量分别占总量的 12.3%和 7.9%。福建漳州沿海沙地 1~3 度新造绿竹林单株和林分各器官生物量分配规律为:秆>竹根>竹蔸>枝>叶<sup>[33]</sup>,地下部分排序较靠前,而福建华安九龙江沿岸的绿竹林各器官生物量的分配为:秆>枝>叶>竹蔸>细根<sup>[31]</sup>。这种差异可能与竹林立地土壤条件和竹林年龄有关,新造竹林中幼龄竹所占比例较大,而幼龄竹枝条和竹叶尚未生长完全,所以生物量比例低于竹蔸和竹根。采用埋土柱法(长入细根量法)对闽南绿竹林细根的研究表明<sup>[34]</sup>,绿竹细根生物量有一定的季节变化,春季最大,细根的周转率为 0.45  $\text{a}^{-1}$ ,细根的一半分解期为 230 d。

#### 4.2 竹林鞭根的物质循环

毛竹竹鞭内营养元素随着生长发育期不同,呈现动态的变化<sup>[35]</sup>,其中 N、P、K、Mg 与 Ca、 $\text{SiO}_2$ 、Cu、Mn 的季节变化规律并不相同,它们在毛竹各部位积累和分布的量也不相同,N、P、K、Mg 大多积累在代谢较强的部位。由于竹鞭是地下贮藏和繁殖器官,代谢较强,所以,累积量较多,仅次于竹叶,而 Ca、Cu、Mn 在竹鞭中的分布却最少。毛竹竹根养分浓度的季节、年度变化趋势基本相似,即不论何年、何季节,低龄竹子竹根的 N、P、K 浓度均高于高龄竹子竹根<sup>[36]</sup>。在绿竹新长的细根中,各元素含量的季节变化不同,B、Sr、Cu、Zn、Mn 在秋季最高,秋冬春 3 季的含量逐渐下降;C 元素含量在春、夏季高,在秋、冬季低;N 元素含量在秋季也是最低,但在冬季最高。在绿竹细根分解过程中,C、N、Sr、Si、Zn 含量处于释放或累积的相间波动之中;B 在细根分解的前 4 个月,含量呈现上升的趋势,而后 8 个月,含量处于释放和累积的相间波动之中;Mn 含量在前 2 个月先累积,而后逐渐释放;K 元素的含量在分解初期快速下降,而后逐渐减少;Cu 含量在细根的分解过程中波动较小<sup>[37~39]</sup>。

Christanty 等<sup>[40]</sup>研究了印度尼西亚西爪哇地区 1 a 蔬菜、1 a 木薯、4 a 竹子轮作制度(talukkebun system)下竹子生物量、凋落量和土壤有机质动态后,认为这种轮作制度在当地之所以获得成功,得益于竹子生长特性和生物地球化学循环特征。在竹子生长 4 a 后,0~25 cm 土层中有机质含量增长了大约 7 t  $\text{hm}^{-2}$ ,这些有机质主要来源于死亡的竹鞭、细根的周转和凋落物及其分解物。Shanmughavel 等<sup>[41]</sup>对 1~6 a 的印度刺竹(*Bambusa bambos* (L.) Voss et Vilm.)人工林竹蔸的 N、P、K、Ca、Mg 含量的分析研究表明,各年龄竹蔸中元素含量的分布顺序都是  $\text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{P}$ ,各元素含量都随着竹子年龄增加而增加。版纳甜龙竹(*Dendrocalamus hamiltonii* Nee et Arn. ex Munro)、*Bambusa balcooa* Roxb.、牡竹和大泰竹(*Thyrostachys oliveri* Gamble)都有相似规律<sup>[42,43]</sup>。

## 5 竹林鞭根系统的生理生化研究

### 5.1 竹林鞭根系的吸收能力

植物的生命活动与根系活动密切相关,竹林鞭根系发育程度的高低、生长势的好坏和生理活动性能的强弱都直接影响到体内的新陈代谢及地上部分群体生物量和质量的形式。萧江华<sup>[16]</sup>对不同年龄毛竹植株根系生活力和吸收力的研究认为,竹根系的总吸收面积和总吸收比面随竹株年龄而呈现规律性的变化。4龄以前,竹根系的总吸收面积、活跃吸收面积、总吸收比面和活跃吸收比面,随着竹龄的增加而增加。4龄之后,则随竹龄的增加而减少。研究还表明,竹株根系总吸收面积的大小与竹株径级大小、土壤类型有关。一般而言,竹株径级较大,土壤肥沃疏松湿润,根系总吸收面积也较大。由于3~4a毛竹地上部分光合作用加强,其根系组织进一步健全,趋向成熟,所以吸收率最大。随着年龄增加,到5~6a,根细胞趋于衰老,吸收效能有所减弱。

### 5.2 竹林根际固氮

顾小平等<sup>[44]</sup>报道了毛竹及浙江淡竹根际联合固氮的研究结果,首次提出竹类植物根际存在着联合固氮体系,并从竹类植物根际分离到2株具较高活性的固氮菌;之后,又对几种丛生竹种进行根系固氮能力调查测定<sup>[45]</sup>,结果表明,南亚热带地区的丛生竹根系固氮酶活性一般要高于北亚热带地区的散生竹,而不同丛生竹种之间又以吊丝球竹(*Dendrocalamopsis beecheyana* (Munro) Keng f.)最高,麻竹次之。丛生竹根际可能有大量的好氧性固氮菌存在,而散生竹根际可能是以厌氧性固氮菌为主。

### 5.3 竹鞭内源激素和一些酶类的变化

吴良如等<sup>[46]</sup>测定了一个大小年生长周期毛竹内源激素节律变化,结果表明:毛竹鞭梢中IAA、GA<sub>3</sub>、ABA含量变化具相对独立性,出现2个峰值和2个低值;IAA、GA<sub>3</sub>、ABA大小年年均含量基本相当。竹鞭中内源激素的节律变化具整体性,分别是4个峰值和4个低值;IAA、GA<sub>3</sub>、ABA大小年年均含量基本相当。1年生雷竹鞭中生长促进激素IAA、ZT(玉米素)、iPA(异戊烯基腺嘌呤)具相似的月波动规律,而与ABA变化规律相反。未覆盖1年生鞭梢部侧芽的生长促进激素3月份快速增长,比其基部侧芽早1个月形成峰值,覆盖后1年生鞭基部侧芽同样比对照基部早1个月形成生长促进激素。7月份,ZT、iPA在1年生鞭侧芽内含量较低,IAA则相对较高,ABA在鞭基部侧芽具较高的含量,而在鞭梢部具较低的含量<sup>[47]</sup>。雷竹鞭侧芽从潜伏芽、饱满芽发育为萌发芽、强萌发芽,核酸含量有规律地显著上升,潜伏芽与饱满芽过氧化物酶的活性较强,笋期后活性急剧上升;不同类型侧芽中过氧化物酶和淀粉酶同工酶明显不同,存在遗传信息顺序表达的规律。在萌发芽中,吡啶乙酸氧化酶活性变化和芽体活跃生长区的出现相关<sup>[48]</sup>。

## 6 结语

竹林地下鞭根系统研究是竹类研究领域的重要组成部分,是竹业科学技术发展的重要理论基础之一,该方面的研究丰富了森林生态系统研究的成果。但正如其它森林类型一样,相对于地上部分来说,竹林地下系统的研究还不够广泛和深入,其原因除了是对竹林地下系统生物、生态功能认识不足外,研究手段和方法的制约也是重要原因之一,目前的研究手段都有这

样或那样的缺陷,制约了地下系统研究的进展。当前对竹林地下系统的研究表现出如下特点:

(1)对散生竹地下系统研究多于对丛生竹和混生竹种地下系统研究。鉴于以毛竹为代表的散生竹在林分面积上的优势地位和在社会经济发展中的作用,对毛竹的研究开展得较早,包括其地下系统在内的各项研究均比较深入。

(2)对竹鞭的研究多于对竹根的研究。散生竹竹鞭是重要的繁殖器官,控制着竹林的发展和更新,对竹笋、竹材的产量有着无以替代的影响;再者,竹鞭也较为粗大,分布较浅,相对于细小、量多的根系来说,各项测定也较为方便。

(3)对传统经济竹种地下系统的研究较多,而对其它竹种研究较少。以毛竹、雷竹为代表的散生竹和以麻竹、绿竹为代表的丛生竹在农村脱贫致富和促进地方经济发展方面发挥着重要作用,对这些传统经济竹种的研究在整个竹类研究中占据了相当的数量。

(4)注重从培育的角度、以竹林经济产量为目标的研究,对从生态角度开展的研究重视不够。竹林的经济效益是其最重要的功能之一,受到竹类生产者、经营者和研究者的广泛重视。随着人们环保意识的提高,竹林地下系统生态学研究正受到更多的重视。

现代科学技术的发展和可持续发展的需求,给竹类研究和竹林地下系统的研究开辟了广阔的前景,积极应用先进的理论和方法(如采用分形结构理论研究根系结构、采用无性系种群理论研究竹林无性系地下系统的克隆生长和生态对策、利用 Minirhizotron 技术研究竹林鞭根系生长、死亡动态等),不断拓展竹林地下系统的研究范围,兼顾竹林多种功能效益的发挥,开展诸如地下根系生态可塑性研究、生态场研究、鞭根系—土壤互动效应研究以及细根生长和周转研究等,必将成为今后竹林地下鞭根系统的研究方向。

## 参考文献:

- [1] 江泽慧. 世界竹藤[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002
- [2] 萧江华. 材用毛竹林的地下系统结构[J]. 竹类研究,1983,2(1):114~119
- [3] 周建夷,胡超宗,杨廉颇. 笋用毛竹丰产林地下竹鞭调查[J]. 竹子研究汇刊,1985,4(1):57~65
- [4] 吴炳生. 毛竹林地下结构与产量分析[J]. 竹子研究汇刊,1984,3(1):49~58
- [5] 汪奎宏,何奇江,翁甫金,等. 毛竹笋用丰产林地下鞭根系统调查分析[J]. 竹子研究汇刊,2000,19(1):38~43
- [6] 陈东阳. 茶秆竹竹鞭生长规律的研究[J]. 竹子研究汇刊,2002,21(2):48~53
- [7] 胡超宗,金爱武,郑建新. 雷竹地下鞭的系统结构[J]. 浙江林学院学报,1994,11(3):264~268
- [8] 何钧潮,方伟,卢学可. 雷竹双季高产高效笋用林的地下结构[J]. 浙江林学院学报,1995,12(3):247~252
- [9] 董文渊,黄宝龙,谢泽轩,等. 箬竹无性系地下茎生长规律的研究[J]. 竹子研究汇刊,2002,21(4):56~60
- [10] 黄克福,梁达丽,曾昭琴. 台湾桂竹竹鞭生长规律的研究[J]. 福建林学院学报,1994,14(3):191~194
- [11] 曾林,任凭,李中祥. 白夹竹生物学特性观察[J]. 经济林研究,1998,16(4):9~14
- [12] 林益明,李惠聪,林鹏,等. 麻竹种群生物量结构和能量分布[J]. 竹子研究汇刊,2000,19(4):36~41
- [13] 林益明,林鹏,叶勇. 绿竹种群生物量结构研究[J]. 竹子研究汇刊,1998,17(2):9~13
- [14] 周世强,黄金燕. 冷箭竹更新幼龄无性系种群鞭根结构的研究[J]. 竹子研究汇刊,2000,9(4):3~11
- [15] 熊文愈,丁祖福,李又芬. 竹类植物地下茎稍部居间分生组织和节间生长[J]. 竹类研究,1982,1(1):22~32
- [16] 萧江华,刘尧荣. 新造毛竹林地下茎生长与更新的研究[J]. 竹类研究,1986,5(2):9~21
- [17] 廖光庐. 毛竹鞭梢年生长节律的研究[J]. 竹子研究汇刊,1984,3(1):59~63
- [18] 胡超宗,金爱武,黄红亚,等. 雷竹生长气象因子的相关分析[J]. 福建林学院学报,1994,14(4):295~300
- [19] 董建文,张兴正,林德根. 不同土壤管理措施的毛竹扩鞭效果研究[J]. 江西农业大学学报,2000,22(1):37~40
- [20] 金爱武,周国模,郑炳松,等. 覆盖保护地栽培对雷竹地下鞭的影响[J]. 竹子研究汇刊,1998,17(4):36~39
- [21] 郑郁善,王舒凤. 毛竹混交林鞭系结构特征的研究[J]. 竹子研究汇刊,1999,18(4):30~34
- [22] 刘桂华,李宏开. 檫树毛竹混交林中毛竹鞭根的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(4):385~389

- [23] 胡成华,陈玲,王金荣,等.竹类植物根部解剖的初步观察[J].竹子研究汇刊,1990,9(2):11~21
- [24] 熊文愈,乔士义,丁又芬.毛竹秆茎的解剖构造[J].植物学报,1980,22(4):344~348
- [25] 李振基,林鹏,丘喜昭.闽南毛竹林的生物量和生产力[J].厦门大学学报(自然科学版),1993,32(6):762~767
- [26] 彭在清,林益明,刘建斌,等.福建永春毛竹种群生物量和能量研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2002,41(5):579~583
- [27] 陈辉,洪伟,兰斌,等.闽北毛竹生物量与生产力的研究[J].林业科学,1998,34(专刊):60~64
- [28] 温太辉.竹林生产力因子的评价[J].竹子研究汇刊,1990,9(2):1~10
- [29] 蓝斌,洪伟,吴承祯,等.毛竹林群落能量结构研究[J].福建林学院学报,1999,19(1):20~22
- [30] 何东进,洪伟,吴承祯.毛竹林生态系统能量动态规律的研究[J].竹子研究汇刊,2000,19(1):63~67
- [31] 董文渊,黄宝龙,谢泽轩,等.箬竹无性系种群生物量结构与动态研究[J].林业科学研究,2002,15(4):416~420
- [32] Singh A N, Singh J S. Biomass, net primary production and impact of bamboo plantation on redevelopment in a dry tropical region[J]. Forest Ecology and Management, 1999, 119(1~3):195~207
- [33] 陈礼光,郑郁善,姚庆端,等.沿海沙地新造绿竹林生物量结构[J].福建林学院学报,2002,22(3):249~252
- [34] 林益明,林鹏,杨志伟.绿竹林细根周转的研究[J].厦门大学学报(自然科学版),1998,37(3):429~435
- [35] 黄伯惠.毛竹矿质营养元素动态的研究[J].竹子研究汇刊,1983,2(1):87~111
- [36] 张献义,陈金林,叶长青,等.毛竹林养分动态与产量关系的研究[J].林业科学研究,1995,8(5):477~482
- [37] 李振基,林鹏.闽南毛竹林几种元素的累积和分配[J].应用生态学报,1995,6(增刊):9~13
- [38] 林益明,林鹏.绿竹林铜锌锰元素的含量特征及其动态[J].厦门大学学报(自然科学版),1999,38(3):460~466
- [39] 林益明,林鹏,温万章.绿竹林碳氮动态研究[J].竹子研究汇刊,1998,17(4):25~30
- [40] Christanty L, Mailly D, Kimmins J P. "Without bamboo, the land dies": Biomass, litterfall, and soil organic matter dynamics of a Javanese bamboo talun-kebun system[J]. Forest Ecology and Management, 1996, 87(1-3):75~88
- [41] Shanmughavel P, Francis K. Balance and turnover of nutrients in a bamboo plantation (*Bambusa bambos*) of different ages[J]. Biol Fert Soil, 1997(25):69~74
- [42] Toky O P, Ramakrishnan P S. Role of bamboo (*Dendrocalamus hamiltonii*) in conservation of potassium during slash and burn agriculture (Jhum) in North Eastern India[J]. J Tree Scientists, 1982, A:17~26
- [43] Tewari S K, Kumar N, Katiyar R S, et al. Preliminary observations on the comparative performance of three bamboo species on alkali soils of Uttar Pradesh[J]. Bamboo News, 1994, 19:1~3
- [44] 顾小平,吴晓丽.毛竹及浙江淡竹根际联合固氮的研究[J].林业科学研究,1994,7(6):618~623
- [45] 顾小平,吴晓丽,汪阳东.几种丛生竹根际联合固氮研究[J].林业科学研究,2001,14(1):28~34
- [46] 吴良如,萧江华.大小年毛竹林中内源激素节律变化特征的研究[J].竹子研究汇刊,1998,17(1):24~30
- [47] 黄坚钦,刘力,章彦森,等.雷竹地下鞭侧芽内源激素的动态变化研究[J].林业科学,2002,38(3):38~41
- [48] 金爱武,胡超宗,裘丽珍,等.雷竹笋期鞭侧芽吲哚乙酸氧化酶和过氧化物酶的变化[J].竹子研究汇刊,1998,17(2):33~36

## Review on Bamboo's under Ground Rhizome-root System Research

ZHOU Benzhi, FU Maoyi

(Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** The research on the bamboo forest under ground rhizome-root system was reviewed. The review was on the following topics: the structure of amount and age of rhizome-root and its dimensional distribution, the research on growth pattern of bamboo forest rhizome-root system and the impacts of cultural practices on its growth, the research on the anatomical structure of bamboo rhizome and bamboo root, the research on the biomass, energy and the substance circle of the bamboo forest rhizome-root system, the research on the absorbency of bamboo root system, nitrogen fixation around bamboo rhizosphere, endogenic secretion and biological enzyme. The features of research on bamboo forest under ground rhizome-root system were given and the direction was suggested in which the research should follow in the future.

**Key words:** bamboo forest; rhizome-root system; belowground structure