

CHINA
Qinling Yousong Ruichi Genxi Shengtai Yanjiu

秦岭油松、锐齿栎 根系生态研究

刘建军 著



660.4

西北大学出版社

CHINA

2002
Q949.660.4
1
2

秦岭油松、锐齿栎根系生态研究

刘建军 著



西北大学出版社



3 0650 7797 0

图书在版编目 (CIP) 数据

秦岭油松、锐齿栎根系生态研究/刘建军著. —西安:
西北大学出版社, 2002.1

ISBN 7-5604-1638-1

I. 秦… II. 刘… III. ①油松—根系—植物生态学—研究—秦岭②栎属—根系—植物生态学—研究—秦岭 IV. Q944.54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 001627 号

秦岭油松、锐齿栎根系生态研究

刘建军 著

西北大学出版社出版发行

(西北大学校内 邮编 710069 电话 8302590)

新华书店经销 西北农林科技大学印刷厂印刷

850 毫米×1168 毫米 1/32 开本 8 印张 200 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7-5604-1638-1/Q·20 定价: 16.00 元

序

人类社会已经进入了新的世纪，站在新世纪的开端回眸刚刚过去的 20 世纪，科学和理性得到了长足的发展，但人类社会的发展也遇到了前所未有的难题，全球气候变暖，水旱灾害频繁。环境与发展成为人类社会进步的主题，我们只有一个地球，保护我们赖以生存的家园成为全人类的最强音。

专门研究生物有机体与其环境相互作用规律的生态学，在 20 世纪得到了空前的发展。1935 年英国学者 Tansley 提出了生态系统的概念，从此人类开始重新审视自己，开始研究人类的活动与生态系统的关系。特别是 20 世纪 50 年代以后，生态系统中的生态平衡维持、环境质量的评价和改造，成为全世界极为关切的重大科学问题。联合国教科文组织从 1964 年开始组织实施的国际生物圈研究计划 (I.B.P.)，推动了一些国家对生态系统进行重点研究；1971 年联合国教科文组织又组织实施了“人与生物圈”(MAB) 研究计划，于是生态系统研究成了最活跃的领域，进展十分迅速。

我国从 20 世纪 60 年代开始进行森林生态系统定位研究，已经在全国不同的气候带内初步形成了数十个森林生态系统定位研究站，特别是国家林业局系统的 13 个站的联网研究，不仅积累了宝贵的科研资料，也取得了一批重大研究成果。秦岭火地塘森林

生态系统定位研究站，以秦岭火地塘教学试验林场为基地，以森林生态系统结构、功能和稳定性的定位监测研究为主，在多个学科领域进行了长期定位研究，取得了一些重要研究成果，积累了大量资料。完成了整个秦岭林区锐齿栎林（占秦岭阔叶林资源量的50%左右）的群落结构、群落动态及稳定性、生物生产力及动态模拟、主要营养元素的生物地球化学循环、水量平衡、立地类型、光合及碳素平衡等研究；油松林和华山松林的生物生产力、主要营养元素的生物循环及水量平衡的研究；太白红杉和巴山冷杉的群落学特征、类型划分和生物生产力的研究。随着生态系统研究的不断深入，对生态系统中各组分的功能作用的研究越来越深入，根系作为生物有机体的组成部分，直接参与生态系统的物质循环和能量流动过程，成为现代生态系统研究的重要内容。刘建军同志从“七五”开始就一直参与火地塘生态定位站的研究工作，特别是在根系生态研究领域取得了一些创新性的研究成果，并完成了《秦岭油松、锐齿栎根系生态研究》。本书的出版不仅为丰富森林生态系统研究内容提供了翔实研究资料，而且必将推动我国根系生态研究的不断发展。

随着我国西部大开发战略的实施，加强生态环境建设，保护森林资源，成为林业科技工作者在新世纪肩负的光荣而艰巨的责任，有年轻一代林业科技工作者的努力和创新，21世纪中国森林生态研究将会取得快速发展。

雷瑞德

2001年12月于西北农林科技大学

前 言

秦岭是横亘于我国中部的重要山脉，西起岷山以北，东至豫西伏牛山、熊耳山，是长江和黄河流域的分水岭和重要水源区，也是我国南北气候的自然分界。秦岭山地是我国暖温带落叶阔叶林转变到常绿阔叶林的过渡地带，是我国重要的天然林区。陕西秦岭林区森林面积 247.5 万公顷，森林覆被率为 46.5%，随着海拔变化，落叶阔叶林——针阔叶混交林——暗针叶林——落叶针叶林——高山灌丛、草甸等垂直地带性特征分明，类型多样。

由于秦岭地理区位、生物多样性和资源环境在我国独特性，国内外学者都曾在这里进行过广泛的调查和研究。长期以来，原西北林学院以秦岭火地塘教学试验林场为基地，以森林生态系统结构、功能和稳定性的定位监测研究为主，在多个学科领域进行了研究，取得了一些重要研究成果，积累了大量资料。通过对主要森林生态系统进行系统的定位研究，同时结合相关调查研究，完成了整个秦岭林区锐齿栎林（占秦岭阔叶林资源量的 50% 左右）的群落结构、群落动态及稳定性、生物生产力及动态模拟、主要营养元素的生物地球化学循环、水量平衡、立地类型、光合及碳素平衡等研究；油松林和华山松林的生物生产力、主要营养元素的生物循环及水量平衡的研究；太白红杉和巴山冷杉的群落学特征、类型划分和生物生产力的研究。

我很荣幸参加了国家林业局（原林业部）“七五”、“八五”和“九五”期间重点科技计划——“秦岭森林生态系统结构、功能及其稳定性机理”等项目的研究工作。特别是在“九五”期间，师从吴钦孝研究员、雷瑞德教授，以秦岭天然油松、锐齿栎林为对象，采用野外调查、定位观测和室内分析相结合的方法，以根系在森林生态系统生物地球化学循环中的作用为中心，对不同生境天然油松、锐齿栎的根系构型、生物量积累特征；细根的生长、衰老、凋落归还的动态过程；根库中的物质循环、能量流动和碳素积累、释放规律；根系-土壤相互作用规律等方面进行了系统研究。本书就是对这一成果的集中总结，旨在对了解和掌握天然油松、锐齿栎对自然生境的生态要求和适应机制；揭示天然油松、锐齿栎林种间生态协调机理；探明根系在森林生态系统生物地球化学循环中的功能作用以及根系-土壤互动效应，为恢复和重建稳定的油松、锐齿栎混交林提供科学依据奠定了理论基础，为丰富森林生态系统研究内容提供翔实的研究资料。

根系生态研究工作在我国刚刚起步，由于以往的研究资料积累有限，同时限于作者的水平，书中提出的一些论点和数据等，难免出现一些误差和错误，敬请读者不吝指正。

刘建军

2001年12月

目 录

序

前言

第一章 综论	1
第一节 林木根系的空间构型及其生态可塑性	2
第二节 根系在森林生态系统中的功能和作用	4
第三节 根系—土壤相互作用研究	7
第四节 林木根系生态领域需要进一步研究的问题	8
第二章 根系生态研究方法	10
第一节 根系形态、分布及生物量研究方法	10
第二节 树木细根生产和周转研究方法	20
第三节 根系参数及其测定	34
第三章 油松、锐齿栎根系构型及生态可塑性	44
第一节 林木根系的形态分类	45
第二节 油松、锐齿栎根系数量特征及定量描述	46
第三节 油松、锐齿栎根型及变异	52
第四节 油松、锐齿栎根系分布空间范围及其与生境 因子、测树要素之间的关系	56
第五节 油松、锐齿栎根围结构模式	64

第四章 油松、锐齿栎根系生物产量及其周转	66
第一节 油松、锐齿栎单株根系生物量及其分布	66
第二节 油松、锐齿栎林分根系生物量与周转	79
第五章 油松、锐齿栎根系营养元素含量与分布	104
第一节 油松、锐齿栎各器官营养元素含量.....	104
第二节 油松、锐齿栎林根库中营养元素储存量	107
第三节 油松、锐齿栎林养分归还量	113
第四节 油松、锐齿栎林营养元素的年循环.....	114
第六章 油松、锐齿栎根库中能量积累和分布特征	116
第一节 油松、锐齿栎各器官热值分析	116
第二节 油松、锐齿栎根系腐解过程中热值的变化	119
第三节 油松、锐齿栎根库中能量积累	122
第四节 油松、锐齿栎林凋落物的能量归还.....	132
第七章 油松、锐齿栎林根库中碳素储量与土壤呼吸	134
第一节 植物的光化学反应与 CO ₂ 积累量	134
第二节 油松、锐齿栎根库中碳素储存量.....	135
第三节 油松、锐齿栎林凋落物层碳素储量与释放	141
第四节 油松、锐齿栎林地土壤呼吸与 CO ₂ 的释放.....	142
第八章 油松、锐齿栎林根系—土壤的相互作用	156
第一节 油松、锐齿栎根际微区土壤特性比较分析	156
第二节 油松、锐齿栎林根系与土壤结构的互动效应 ..	162
参考文献	174
附 录	185
后 记	247

第一章 综 论

森林是陆地上分布最广、结构最复杂、生物产量最大、生物物种最为丰富的生态系统，在维持生物圈的生态平衡过程中起着重要的和不可替代的作用。由于全球人口的不断增长，自然资源日趋贫乏，生态环境日益恶化，人类对森林给予了前所未有的重视^[1, 2]。森林在物质生产、维系生态系统的有序结构及环境治理中的作用日益被人们所认识，森林生态系统结构、功能及系统稳定性机理研究成为今后长期的中心研究任务，其中森林-土壤相互作用动态过程的研究是 90 年代国际生态学界、土壤学界密切关注的焦点之一^[2, 7]。传统的森林生态系统研究多侧重于地上部分，而对地下部分的研究则往往被忽略或被认为是很小的一部分。自 70 年代 IBP 计划开展以来，随着对生态系统的研究不断深入，对构成森林生态系统的重要部分——根系的研究也越来越受到重视^[13-26]。

根系是植物从土壤中吸收水分和养分的器官，又是合成某些有机物质如氨基酸、酰胺和某些维生素的场所。研究还发现，根系在叶绿素的形成、植物的光周期反应中都有很大影响。在生态系统中，根系作为生态系统生物能存在的一种形式，由于直接与土壤接触，并参与土壤中物质循环和能量流动两大生态过程，成为生态系统生物地球化学循环的主要途径。在与土壤相互作用动

秦岭油松、锐齿栎根系生态研究

态过程中对土壤垂直土体构型的形成、土壤理化性质的改善、土壤肥力的发展和生产力的发挥起着重要的、不可缺少的作用。

油松、锐齿栎林是秦岭中山带主要地带性森林群落，由于所处地理位置独特，分布广泛，油松、锐齿栎林生态系统结构、功能及生产力研究被列为我国森林生态系统定位研究的核心内容之一^[2, 11]。本书拟以秦岭火地塘林区天然油松、锐齿栎林为对象，采用野外调查、定位观测和室内分析相结合的方法，以根系在森林生态系统生物地球化学循环中的作用为中心，对不同自然生境天然油松、锐齿栎的根系构型、生物量积累特征；细根的生长、衰老、凋落归还的动态过程；根库中的物质循环、能量流动和碳素积累、释放规律；根系-土壤相互作用规律等方面进行了系统研究，以了解和掌握天然油松、锐齿栎对自然生境的生态要求和适应机制；揭示天然油松、锐齿栎林种间生态协调机理；探明根系在森林生态系统生物地球化学循环中的功能作用以及根系-土壤互动效应，为恢复、重建稳定的油松、锐齿栎混交林及其持续、合理地经营利用提供科学依据。

第一节 林木根系的空间构型及其生态可塑性

研究环境因子对植物根系发育的影响，获取根系动态发育数据是根系生态研究的基础工作。根系的空间构型是受林木本身的生物学特性及其生存地的自然生境共同影响的结果。Weaver(1926), Pearson(1966), Danielson(1971)以及 Cooper(1973)均对根系生长与生态因子关系进行了分析研究^[7]。向师庆对北京地区主要造林树种的根型进行了研究^[9]，认为各树种的根型主要

受树种本身的遗传特性制约,同时由于土壤厚度等综合自然生境特征的影响,林木根系的形态、分布特征将产生变异;南京林业大学对杉木根系的研究结果表明^[10],在排水良好、土层深厚的土壤中,28年生的萌芽杉木细根群分布深度可达140cm,而在低洼湿润的生境,如在雨季70cm深处就有水渗出的土壤中,16年生萌芽杉木林的根系集中分布在土壤的表层,60cm以下土壤中的根量很少,表明土壤厚度和生境湿度对林木根系空间构型和分布的影响很大。土壤容重反映了土壤的坚实度,影响着根系的空间伸展和分布。南京林业大学土壤组对不同容重下杉木根系分布特征研究结果表明,在粘质山地红壤中,30~50cm土层土壤容重若小于 $1.45\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,杉木根系可伸展到深层,达50~60cm土层以下,林木生长正常;当土壤容重大于 $1.68\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时,杉木根系就不能穿过该土层,而集中分布在表层,林分生长也较差。同样在粘质黄棕壤中,50~60cm土层土壤容重在 $1.6\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 左右时,麻栎林主要根群可达80cm,若容重在 $1.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 以上,除主根外其余根群无法深入。

由于自然环境的异质性与树种生态位的分异,混交林中树种之间的竞争,首先表现在对土壤养分和水分的争夺。为了阐明混交林的种间协调机理,对林木根系形态、分布研究已引起普遍重视。翟明普^[27]、刘春江^[22]等对油松与元宝枫、紫穗槐、黄栌混交林,李振问等^[18]对杉木火力楠混交林根系形态特征及分布进行的研究后认为,合理的混交林中林木根系分布较纯林均匀合理,吸收根向土壤深层分布,且混交树种间林木根系相互交织,呈镶嵌分布,能够协调利用土壤不同层次水分和养分,有利于提高土地利用率和林分生产力。不合理的混交,由于树种间竞争能力的不同,常常使竞争能力弱的树种根系分布范围减小,根量较低。翟明普等对油松栓皮栎混交林根系研究后认为,混交使油松的细

秦岭油松、锐齿栎根系生态研究

根量和粗根量有所降低。石培礼等对桧柏混交林根系研究后认为,混交使位于柏木一侧的桧木死根率增加,尤其是以网状的吸收根死亡量达吸收根总量的 30% 以上。这一现象前苏联也曾有报道 (И. Н. 拉赫钦科, 1955)。

随着对根系生态研究的逐步深入,建立林木根系构型与环境之间的模式化关系,构建林木地上器官与根系的定量模型,以及天然森林生态系统中树种间竞争过程中根系分布及其动态规律的研究,将成为今后根系生理生态研究的方向。

第二节 根系在森林生态系统中的功能和作用

植物为了自身的生存和繁衍,必须把大部分年净光合作用产物分配给根系生命的维持和生长,根系也就成为森林生态系统中生物能存在的一种形式。据国外的最新研究结果表明^[12],林木根系中储存的生物量占森林生态系统总生物产量的 10%~20%,构成了森林生态系统生物量结构的重要组成部分。但由于研究对象和研究区域的不同,根系生物量占森林生态系统总生物量的比例有一定的差异。李文华和徐振邦等人对长白山阔叶红松林研究结果表明,根系生物量占林分总生物量的 20% 左右。马钦彦^[2]在油松分布区内根据对 244 株标准木的根系生物量实测资料的研究分析,认为油松根系生物量平均为地上部分生物量的 23%,但各调查区有明显差异,其中鲁中南地区油松根系生物量所占的比例最低,为 19.8%;陕北黄土区油松根系生物量所占比例最高,达 28.7%,说明油松是通过增加吸收器官的生物量比例来适应陕北黄土区干旱气候条件的。陈存根等^[22]通过对红桦林、华山松林、

油松林、锐齿栎林生物量的研究,认为不同森林类型在其分布的海拔范围内,地上/地下生物量的比值随海拔的升高而减小。这反映了对同一个树种海拔增高能增加生物量在根系上的分配比例,而不利于地上部分的生长,这可能与树木在严酷自然生境条件下生态适应机制有关。孙多^[2]对天然次生栎林根系生物量结构研究后认为,同一个林分中不同的林木个体由于在竞争中所处的地位不同,根系分布和生物量结构均有明显差异,优势木的根系分布深度广,根系集中分布区下移,细根在各层次中分布趋于均匀,细根生物量占根系生物总量的5.3%;而被压木根系生物量仅分布在表土层,且细根生物量较小,仅为根系生物总量的3.4%,说明林木是通过增加吸收根生物量来提高自身在竞争中的地位的。另外林木混交对根系生物量也有影响。李振问等、翟明普等对混交林研究结果表明,恰当的混交可以明显地提高根系生物量,特别是细根生物量,有利于提高森林生态系统的生产力。上述对森林生态系统中根系生物量结构的研究只局限于现存生物量。近年来许多研究表明^[12-15, 28, 52],林木的细根处在不断的变化之中,细根的凋落死亡,消耗的有机物质质量约占森林生态系统净初级生产力的50%~70%。根据Vogt K. A.的资料,暖温带落叶阔叶林细根年凋落周转量为 $5731 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,寒温带落叶阔叶林为 $2280 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;寒温带常绿针叶林为 $6152 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。细根凋落周转量分别相当于地上部分枯枝落叶生物量的135.3%、59.2%和195.7%。单建平等对长白山阔叶红松林细根周转研究认为,细根年生长量 $4860 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,约占总净初级生产力的19.4%;细根年死亡量为 $2343 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,约相当于阔叶红松林枯枝落叶年凋落量的60%,细根的年周转率为0.96,大约1年周转一次,说明细根周转在阔叶红松林生产力结构中处于相当重要的地位。根据这些研究结果,可以断言,以根系现存生物量结构评价林木根系

秦岭油松、锐齿栎根系生态研究

在森林生态系统中的功能作用，结果往往偏低。

根系还是森林生态系统重要的物质库、能量库和碳素库，直接参与森林生态系统的地球化学循环和生物小循环。据张硕新等^[53]对秦岭火地塘主要森林类型的营养循环研究，华山松根系中积累的 N 为 $30.2 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，P 为 $3.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，K 为 $25.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，Ca 为 $15.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，Mg 为 $6.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；油松根系中积累的 N 为 $37.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，P 为 $5.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，K 为 $39.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，Ca 为 $35.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，Mg 为 $7.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；锐齿栎根系中积累的 N 为 $43.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，P 为 $10.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，K 为 $90.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，Ca 为 $117.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，Mg 为 $20.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。石培礼等研究表明，19 龄桧柏混交林根库中 N 的积累量，是同龄柏木纯林的 1.55 倍，说明柏木林中引入固氮树种桧木，可明显提高根库中 N 元素积累量，对提高土壤 N 库利用率和加速 N 素的生物循环有重要意义。近年来的研究表明，细根周转死亡构成了森林生态系统营养元素生物循环的重要途径。Henderson 和 Harris (1975) 在田纳西州的栎-山核桃阔叶林中进行测定^[8]后认为，细根死亡导致 $67.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的 N 素损失。据 Wells 和 Jorgensen (1975) 对北卡罗来纳州 16 年火炬松的细根周转研究，细根死亡损失 N 素 $48.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。不同林龄、不同立地细根对养分的归还量差别较大，如 Vogt 等 (1982) 对不同林龄太平洋冷杉林的研究表明，23 年生太平洋冷杉林，细根死亡归还的 N、P、K、Ca、Mg 分别为 60、10、20、30、10 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ；180 年生林分细根死亡归还的 N、P、K、Ca、Mg 分别为 110、20、20、30、10 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ；根系死亡归还的矿质元素量与地上部分枯枝落叶的归还量相比，23 年生的太平洋冷杉林前者为后者的 2 倍，180 年生的太平洋冷杉林为 4 倍。显然对森林生态系统能量流动和物质循环的研究必须考虑细根因素，而以往的研究由于忽视了这一点，测定的森林生态系统养分吸收、

归还数据显著偏低。因此，加强对林木细根的周转及其在森林生态系统生物地球化学循环中的功能作用研究，显得非常迫切和必要。

第三节 根系-土壤相互作用研究

植被永远是防止水土流失的最积极的因素，这是朱显谟院士对植被在黄土高原成壤及创造抗冲性土体结构方面作用的高度概括。

根系由于直接与土壤接触，并不断地与土壤进行着物质和能量的交换，构成了根土直接作用界面——根际（Rhizosphere）。根际的概念是由 Hiltner 于 1904 年首次提出的，是指由于根系的代谢活动而使其周围微生物生长受到促进的土壤区域。由于根际是土壤水分和各种矿质养分进入根系（植物体），参与生物循环的门户，所以根际研究受到植物营养学家的重视。根际又是根系对土壤影响最直接、最强烈的区域，随着对根系在形成抗冲性土体构型中的作用机理研究的不断深入，根际在成壤特别是形成抗冲性土体构型中的作用必将被逐渐认识。目前对森林生态系统中林木根际土壤的研究较少，主要是通过林木根际和非根际土壤的比较研究，来揭示根系对土壤直接影响的范围和强度。厉婉华^[58]对栓皮栎、杉木和火炬松根际和非根际土壤研究表明，3 树种根际土壤全 N 含量都明显高于非根际土壤，无机 N 含量，栓皮栎根际高于非根际土壤，杉木和火炬松根际与非根际土壤接近；土壤 pH 值，栓皮栎根际大于非根际土壤，杉木和火炬松则根际小于非根际土壤，反映出不同树种对根际土壤的直接作用效应有明显差异。

林木根系生长过程中的穿插作用，束缚固定着土壤，不仅增加了林木自身稳定性和抗风能力，而且增强了土壤的抗冲、抗蚀性以及山地坡面土壤的稳定性。林木根系与土壤的抗冲、抗蚀及其稳定性的关系研究已成为 90 年代生态学界和土壤学界密切关注的焦点^[3-5]。解明曙等^[6]对乔灌草根系固坡力学强度的有效性与最佳组构方式进行了阐述；杨维西等研究了森林采伐后根系固土作用的衰退状况；竹下敬司^[129]等对林木根系防止山坡崩塌机制进行了讨论，认为根系的束缚网络以及楔抗作用可以防止山坡的崩塌。李勇等根据对林木根系与土壤物理性质的关系研究，认为有效根密度（ $\leq 1\text{mm}$ 细根）与土壤物理性质的改善效应的关系最为密切，有效根密度可明显提高水稳性团聚体含量和非毛管孔隙度，增加土壤有机质含量，降低土壤的紧实度和容重，从而揭示了林木根系强化土壤抗冲性和抗蚀性机理。刘国彬进一步将根系固结土壤、强化土壤抗冲性的作用分为 3 种方式：网络串联作用、根—土粘结作用及根系的生物化学作用，并建立了 3 种效应与有效根面积的关系模型。总之，如何定量测定和评价根系的物理束缚和生物化学粘结在强化土壤抗冲、抗蚀性中作用的有效性范围和机理是今后生态系统中根系—土壤互动规律研究的重点。

第四节 林木根系生态领域需要进一步研究的问题

随着对自然生态系统中生物地球化学循环过程研究的不断深入，对林木根系在森林生态系统能量流动、物质循环中的功能作用的研究越来越受到重视。从以上对根系研究的简述中可以看出，今后尚应在以下方面加强研究。