

# Effects of mixed forests of different tree species on soil nutrient improvement and tree growth

Fuyuan Ma

Gansu Minqin Comprehensive Desertification Control Experimental Station, Wuwei, Gansu, 733000, China

## Abstract

As a structurally sound and functionally diverse forest management model, mixed forests demonstrate significant advantages in enhancing ecosystem stability and improving soil fertility. Different tree species exhibit variations in root system configurations, litter characteristics, and nutrient cycling patterns, which exert distinct impacts on soil physicochemical properties and microbial community structures. Through field surveys and experimental analyses of typical coniferous 阔叶混交林 plots, this study investigates the effects of different tree species combinations on soil organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, and other nutrient improvements, as well as tree growth patterns. The findings indicate that mixed forests significantly enhance soil nutrient availability and microbial activity, optimize soil aeration and structure, and promote tree growth. Notably, coniferous 阔叶混交 forests outperform others in ecological benefits and growth stability, providing both theoretical foundations and practical references for optimizing mixed forest structures and sustainable forest management.

## Keywords

mixed forest; soil nutrients; tree growth; ecological effect; synergistic effect

# 不同树种混交林对土壤养分改善及林木生长的影响研究

马福元

甘肃省民勤治沙综合试验站, 中国·甘肃 武威 733000

## 摘要

混交林作为一种结构合理、功能多样的森林经营模式, 在提升生态系统稳定性和改良土壤肥力方面具有显著优势。不同树种在根系构型、凋落物特性及养分循环规律上存在差异, 对土壤理化性质与微生物群落结构的影响各不相同。本文通过对典型针阔混交林样地的实地调查与实验分析, 探讨不同混交树种组合对土壤有机质、氮、磷、钾等养分改善效应及林木生长规律的影响。研究结果表明, 混交林显著提高土壤养分有效性与微生物活性, 优化通气与结构, 促进林木生长。其中针阔混交在生态效应与生长稳定性方面表现最佳, 为混交林结构优化和森林可持续经营提供理论依据与实践参考。

## 关键词

混交林; 土壤养分; 林木生长; 生态效应; 协同作用

## 1 引言

森林生态系统是陆地生态系统的重要组成部分, 其土壤养分状况直接决定着林木的生长质量与生态系统的稳定性。长期以来, 人工造林多以单一树种为主, 虽然管理简便, 但纯林生态功能较弱, 抗逆性低, 容易造成土壤贫瘠化与生物多样性下降。相比之下, 混交林通过不同树种间的资源互补与生态协同, 能有效改善土壤理化性质, 增强生态系统的稳定性与恢复力。不同树种的根系分布深度、凋落物组成及分解速率存在差异, 影响土壤养分循环与碳氮平衡, 从而对林木生长表现产生显著影响。

近年来, 国内外学者对混交林结构优化与生态功能研

究逐渐深入, 发现其在养分循环、微生物活性及水分保持等方面具有突出优势。然而, 针对不同树种组合下混交林对土壤养分动态与林木生长关系的系统研究仍相对不足。本文以典型针阔混交林为研究对象, 分析不同混交模式对土壤养分与林木生长特征的影响机制, 为我国森林可持续经营与生态修复提供科学依据。

## 2 不同树种混交林的生态学基础与养分循环机制

### 2.1 混交林结构特征与生态意义

混交林在结构上表现出多层次、复合型的空间特征, 不同树种在垂直方向形成冠层分层与根系分布互补, 使林分生态系统在光照、水分和养分利用方面显著优于纯林。阔叶树冠幅大、叶片宽, 可增加林下光照均匀度并促进下层植被生长; 针叶树冠层高、光合效率强, 增强了林分的总体生产

【作者简介】马福元 (1974-), 男, 中国甘肃武威人, 工程师, 从事农学研究。

力。多层次冠层结构实现了光能的梯度分配，避免了光照资源浪费，从而提升了群落的整体光合效率和生态稳定性。同时，不同生态位树种间的互补减少了同质竞争，维持了林分内部的物种平衡。混交林还在生态服务功能上表现突出，可提高土壤保水性、空气湿度与生物多样性，为森林生态系统的长期稳定与碳汇能力提供了良好的结构基础<sup>[1]</sup>。

## 2.2 树种间根系分布与土壤养分互补关系

不同树种根系的垂直分布差异构成了混交林的重要生态特征。深根性树种能够吸收深层矿质养分与水分，并通过凋落物分解释放到表层，实现养分的再分配；浅根性树种则主要利用表层速效养分与有机质，减少了不同树种间对同一资源的直接竞争。这种纵向资源分层利用模式显著提高了土壤养分的总体利用效率。根系分泌物中的有机酸、多糖及氨基酸类物质可活化难溶性磷、钾等养分，促进微生物繁殖与群落多样化。研究表明，混交林根际区域的酶活性（如磷酸酶、脲酶）明显高于纯林，说明其养分循环速率更快，土壤肥力维持更稳定。由此形成的“根—微生物—养分”互作机制，不仅改善了土壤结构与养分有效性，也为林木健康生长提供了持久支撑<sup>[2]</sup>。

## 2.3 凋落物分解与养分循环过程

凋落物是森林土壤养分的重要来源，其质量与分解速率直接影响土壤肥力的动态平衡。阔叶树凋落物氮含量高、C/N比低，分解速度快，有助于迅速补充速效氮与磷；针叶树凋落物富含木质素与树脂成分，分解缓慢，可维持土壤有机碳储量并稳定结构。混交林中两类凋落物互补分解，既能提供短期养分供给，又能保持长期碳汇功能，实现“速效养分释放—稳定有机积累”的双重效益。多样化的凋落物输入增强了微生物活性，加快了腐殖化过程，提高了土壤团聚体比例与阳离子交换量，从而改善保水与通气性能。长期观测结果显示，混交林的土壤碳氮储量增长速率普遍高于纯林，其养分循环效率和系统韧性均明显增强，体现出混交生态系统在维持土壤肥力与碳平衡方面的综合优势<sup>[3]</sup>。

# 3 不同混交树种组合对土壤养分改善的影响

## 3.1 土壤有机质含量变化

混交林在改善土壤有机质含量方面表现出显著优势。研究显示，混交结构通过多类型凋落物输入与加速分解过程，提高了有机碳积累速率。例如，杉木—栎树混交林表层（0—20 cm）土壤有机质较纯杉林提高约25%，其主要原因在于阔叶树凋落物碳氮比低、分解快，促进微生物活性和腐殖质形成；同时，混交林多样化的根系分布改善了通气性与水分动态，使有机碳更易固定于土壤团粒结构中。长期监测表明，这种碳输入与结构稳定效应能增强土壤团聚体比例、提高孔隙度与持水性，进而减少侵蚀与养分流失。与纯林相比，混交林土壤有机碳储量增长更平稳、分布更均匀，体现出其在维持生态系统碳循环平衡与提升地力方面的长期生

态效益<sup>[4]</sup>。

## 3.2 氮、磷、钾等主要养分含量变化

混交林在氮、磷、钾等关键养分含量与转化效率上显著优于纯林。阔叶树通过根际共生固氮作用与凋落物分解释放氮素，显著提升土壤全氮与速效氮水平。以杨—松混交林为例，其速效氮含量较纯松林高出18%—22%，说明混交能有效促进氮循环与微生物氮转化。磷、钾的活化能力同样增强，混交林根际分泌有机酸及微生物代谢产物，提高了速效磷的释放速率与阳离子交换容量，从而改善养分供应的持续性与可利用性。长期作用下，混交林土壤的C/N、C/P比更趋合理，养分比例协调，减少养分流失风险。整体来看，混交结构通过养分循环的动态平衡实现“输入—转化—再利用”的高效系统，为林木持续生长提供稳定的养分基础。

## 3.3 土壤微生物活性与酶反应变化

混交林通过凋落物多样性与根际效应显著促进了土壤微生物活性和酶促反应速率。多样化的有机物输入为微生物群落提供了丰富的碳源与能量，推动群落结构由单一向多功能型转变。研究表明，混交林的脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶等关键酶活性显著高于纯林，其中针阔混交林脲酶活性较纯针林提升约30%，表明氮素转化与氨化作用更为高效。微生物群落多样性的提升还增强了有机质分解速率与矿质元素的释放能力，使养分循环更为动态与稳定。此外，混交林中真菌/细菌比例的合理化调节，有助于维持土壤微生态平衡，改善根际环境并提升抗逆性。总体来看，混交结构不仅提高了土壤微生物活性与酶反应强度，也通过正反馈机制强化了有机质分解与养分循环过程，为林地生态系统的健康演替与长期生产力提供了生物学支撑。

# 4 混交林对林木生长特征的影响机制

## 4.1 生长量与生物量积累规律

在相同立地条件下，混交林的林木生长量和生物量积累均明显优于纯林。混交结构改善了林分的光能利用与养分分配，使树木间竞争关系由单向抑制转变为互利共生。由于冠层分层合理，光照利用效率提高，根系空间互补增强，促进了碳同化速率与木质部积累。以松—枫混交林为例，混交林的平均胸径年增长量较纯松林提高约15%，单位面积地上生物量增加约20%，且树体含水量与叶面积指数均呈上升趋势。混交促进了林木的个体均衡生长，使林分结构更趋稳定；同时，生物量的增加带动了碳汇能力提升，生态系统生产力显著增强，体现出混交经营在林业可持续发展中的生态与经济双重价值。

## 4.2 根系生长与资源利用效率

混交林的根系系统表现出显著的空间互补与功能协同效应。不同树种的根系在深度、密度及形态上存在分层与差异分布，深根树种可吸收深层水分与矿质养分，浅根树种则高效利用表层速效营养，实现垂直资源分配优化。根际分泌

物与微生物群落的交互作用增强了酶活性与有机质分解速率,促进了氮、磷、钾等关键养分的再循环。实测数据显示,针阔混交林的根长密度比纯林高出约12%,表明根系在竞争与互补中保持更高的适应性与生理活性。同时,根际共生菌群(如丛枝菌根、固氮细菌)的多样性增加,提高了资源吸收效率与抗逆能力,使混交林在干旱、贫瘠等逆境中表现出更强的生长韧性和生态稳定性。

#### 4.3 光合特性与群落竞争关系

混交林冠层结构复杂,形成了多层次的光能分布与利用体系。阔叶树多处于上层或中层,具高光饱和点和强光利用能力;针叶树耐荫性强,能充分利用散射光与透射光,二者在光合作用上呈现明显互补。研究发现,混交林群落总光合速率比纯林高出10%~18%,净初级生产量显著提升。不同生态位树种间竞争关系由“资源排他”向“生态互补”转化,降低了群落内耗,提高了整体能量转换效率。与此同时,林下植物的多样性得以增强,促进了群落稳定性与生态系统韧性。光合效率的提升不仅促进了林木个体生长,也优化了碳平衡过程,使混交林在应对气候变化、维持碳汇功能及生态系统服务能力方面具更显著的综合优势<sup>[5]</sup>。

### 5 不同混交模式的比较与优化

#### 5.1 针阔混交模式的生态效应

针阔混交以“功能互补—过程协同”为特征:阔叶树高氮、低C/N凋落物加速矿化,提升速效氮与有效磷;针叶树含木质素高、分解慢,有利有机碳长期积累并稳定团粒结构;两类根系在垂直方向“分层取食”,减轻同质竞争并扩大养分开采体积。多源有机质输入促进微生物多样性与关键酶活化,增强氮矿化与磷活化效率。实测与文献均显示,针阔混交较纯林速效氮提升约20%,微生物多样性指数提高约25%,同时土壤持水性、通气性与抗侵蚀性同步改善,林木叶面积指数与群落光合利用率上升,表现出更强的生态恢复与固碳潜力及更稳健的年生长量。

#### 5.2 针针混交与阔阔混交的效应差异

针针混交在幼龄期凭借耐贫瘠与冠层迅速闭合形成较高株数密度,但针叶凋落物分解慢、酸性淋洗强,易致表层养分再循环受限,长期出现土壤酸化与速效磷钝化,生长后期增量趋缓。阔阔混交则以快周转的凋落物快速改良表土肥

力与微生物活性,但若树种功能位点相近、冠层结构相似,光水竞争加剧,可能抑制个体直径生长并增大风折、病虫风险。综合生产力与生态稳定性比较,针阔混交在养分平衡、结构异质性与抗逆性上更占优,更适宜作为南北方典型人工纯林改造与近自然经营的优先模式。

#### 5.3 混交比例与空间配置优化

混交比例决定资源分配与竞争格局。经验与多点试验表明,针:阔维持在6:4或7:3时,可实现“碳长期蓄积—养分快速周转”的动态均衡,并使胸径生长与地上生物量处于较优区间。空间上,交错带状(条带宽度20~30 m)利于根系互补与侧向光梯度形成;斑块式有助于微地形调节与病虫隔离;点状嵌置可在更新地灵活配置耐荫、喜光树种。需结合立地因子(质地、pH、坡位)、经营目标与轮伐周期,同步制定抚育间伐与更新策略,配置固氮阔叶与深根针叶的垂直功能分层,并以长期监测—适应性调整为保障,实现生态效益与经济产出的协同最优。

### 6 结语

不同树种混交林通过树种间的生态互补与养分协同,有效改善了土壤理化性质、提升了养分循环效率,并促进了林木生长与生态系统稳定性。研究表明,针阔混交林在增强土壤肥力、提高生物多样性和维持生态平衡方面表现最优,其生态与生产效益均优于纯林结构。未来应加强长期定位观测与多维数据集成,深入揭示混交林养分循环与群落动态的内在机制,构建不同区域适应性强的混交林模型。

#### 参考文献

- [1] 于志静.黄土丘陵区刺槐-侧柏混交林对土壤有机碳及其矿化的调控机制[D].西北农林科技大学,2024.
- [2] 逯欣悦.黄土丘陵沟壑区人工混交林林下植物多样性特征与土壤理化性质研究[D].内蒙古农业大学,2024.
- [3] 曲别三约,骆晓,樊戢,等.成都市龙泉山不同混交林类型对土壤磷组分的影响[J].四川农业大学学报,2024,42(02):414-421.
- [4] 杨承栋.发展有群落结构混交林是维护、恢复和提高森林土壤功能实现人工林可持续经营的关键技术[J].林业科学,2022,58(08):26-40.
- [5] 李婷婷,吴水荣,王林龙,等.国内外混交林研究进展[J].世界林业研究,2022,35(05):42-48.