北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

关于理想森林及其经营的遗传学思考

康向阳

Genetic thinking on ideal forest and its management

Kang Xiangyang

引用本文:
康向阳. 关于理想森林及其经营的遗传学思考[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(6):1–9. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240093
Kang Xiangyang. Genetic thinking on ideal forest and its management[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6):1–9. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240093

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240093

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

结构化森林经营对东北阔叶红松林森林质量的影响

Impacts of structure–based forest management on forest quality of broadleaved Korean pine forests in northeastern China

北京林业大学学报, 2019, 41(5): 19–30. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20190032

瑞典南部Ostad区私有林多目标森林经营中期规划

Medium term planning of multi–objective forest management in private forest of Ostad Estate, southern Sweden

北京林业大学学报, 2019, 41(2): 97–105. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20180220

21世纪以来我国首创的森林经营方法

Forest management method originated by China since the 21st century

北京林业大学学报, 2019, 41(12): 50–57. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190325

面向县级森林经营规划编制的辅助程序设计与应用

Design and application of assistant program for county–level forest management planning

北京林业大学学报, 2020, 42(12): 24–31. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200078

辽宁仙人洞国家级自然保护区森林生态服务物质量评估及权衡与协同

Material quality assessment and trade–off synergies of forest ecological service in Xianrendong National Nature Reserve, Liaoning Province of northeastern China

北京林业大学学报, 2023, 45(9): 83–94. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220055

大兴安岭盘古林场森林碳汇木材复合经营规划

Forest carbon sink–timber compound management planning of Pangu Forest Farm in Great Xing’an Mountains of northeastern China

北京林业大学学报, 2020, 42(8): 1–11. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190331

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240093

关于理想森林及其经营的遗传学思考

康向阳
（林木遗传育种全国重点实验室，林木花卉遗传育种教育部重点实验室，城乡生态环境北京实验室，
北京林业大学生物科学与技术学院，北京 100083）

摘要:我国是当今全球森林资源增长最多的国家。如何在此基础上科学、生态、节俭地提高森林生态系统稳定性和林地生产力，充分发挥森林的多功能作用，是我国林业界今后相当长的时间内必须面对的问题。本文首先基于森林永续利用思想理论的回顾，提出遗传学层面的理想森林概念，即拥有与分布区自然地理相适应的树种组成及群体遗传结构，优势树种持续保持丰富的群体遗传多样性，以及自然稀疏和自然更新能力，且生长等目标性状相关基因的正向等位变异高度聚合，可在更短时间内形成与立地环境相匹配的生态适应性和最高生产力的森林。通过不同森林类型的遗传特点分析，进一步提出基于遗传学和生态学原理，充分利用自然选择和竞争等生物间及其与环境间的互作机制等自然力，并采取一定的人工辅助措施促进森林群体遗传进展和稳定性，培育生产力高的健康森林的理想森林经营概念。认为遗传基础窄化的商品林适合采取法正林类模式集约经营，而遗传基础宽泛的商品林则适合采取理想森林经营。并针对我国森林遗传品质劣化的问题，提出从良种抓起，铸牢森林遗传基础，推动森林遗传进展，重塑森林遗传品质的理想森林经营基本路径。建议在今后的森林质量提升工作中，应以理想森林为目标，建立森林经营国家机制，重构国家公益林和商品林比重，严格森林分类管理和分类经营，加强森林基础科学研究，按种子区划育种、制种和用种，通过专业化的理想森林经营，实现国家森林越采越多、越采越好。

关键词：理想森林；经营；国家机制；商品林；遗传进展；遗传品质；自然稀疏；自然更新
中图分类号：S75　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000−1522(2024)06−0001−09
引文格式：康向阳. 关于理想森林及其经营的遗传学思考 [J]. 北京林业大学学报，2024，46(6)：1−9. Kang Xiangyang. Genetic thinking on ideal forest and its management[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6): 1−9.

Genetic thinking on ideal forest and its management

Kang Xiangyang
(State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, School of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: China is the country with the largest increase in forest resources in the world today. How to scientifically, ecologically and economically improve the stability of forest ecosystems and forest productivity on this basis, and fully leverage the multifunctional role of forests is a problem that the forestry industry in China must face for a considerable period of time in the future. This article firstly proposes a new concept of an ideal forest at genetic view based on sustainable utilization theory of forests, i.e., an ideal forest possesses a tree species composition and population genetic structure corresponding to the distribution area's natural geography, in which the dominant tree species maintain rich population genetic diversity as well as self-thinning and natural regeneration capabilities. Forward allelic variation of target trait genes such as growth was highly aggregated, forming a forest with ecological adaptability and the highest productivity that matches its site condition in a shorter period. Then, an ideal forest management concept was proposed

收稿日期: 2024−04−01　**修回日期:** 2024−05−18
基金项目: “十四五”国家重点研发计划(2021YFD2200105)。
作者简介: 康向阳，博士，教授。主要研究方向：林木细胞遗传与细胞工程育种。Email：kangxy@bjfu.edu.cn　地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生物科学与技术学院。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

through analyzing the genetic characteristics of different forest types, which bases on the genetic and ecological principle, making full use of natural forces, such as natural selection, species competition and an interaction mechanism between organisms and environments, and taking certain artificial auxiliary measures to promote forest population genetic stability to cultivate healthy forests with high productivities. It is believed that the commercial forests with narrow genetic basis are suitable for intensive management of normal forest. However, the commercial forests with broad genetic basis are suitable for ideal forest management. Focused on the problem of forest genetic quality deterioration in China, a basic route of the ideal forest management that starting improved varieties, strengthening forest genetic foundation and promoting forest genetic progress to reshape forest genetic quality was put forward. It is suggested that we should aim at building the ideal forests by establishing a national forest management system, reconstructing the proportion of national public welfare forests, commercial forest and strict implementing sort management when the improved forest quality is conducted in the future. We should also strengthen the forest basic scientific research, and breeding, produce and use seeds according to seed zone division. The more national forests are cut, the better national forests grow under the condition of professional ideal forest management.

Key words: ideal forest; management; national mechanism; commercial forest; genetic progress; genetic quality; natural-thinning; natural regeneration

建国以后尤其是近 30 年来，我国通过持续国土绿化，森林覆盖率达到 23.04%，成为全球森林资源增长最多的国家[1]。但总体上仍然缺林少绿，森林质量欠佳。覆盖率远低于全球 31% 的平均水平，人均森林蓄积只有世界人均水平的 1/7[1]。乔木林平均蓄积量只有 90 m^3/hm^2，约是世界平均的 84%，不及德国等林业发达国家的 1/3；森林年均生长量为 4.23 m^3/hm^2，仅为德国、芬兰等林业发达国家的 1/2 左右[2]。因此，2021 年 5 月 18 日，国务院办公厅印发《关于科学绿化的指导意见》（国办发〔2021〕19 号），提出践行“绿水青山就是金山银山”的理念，走科学、生态、节俭的绿化发展之路；实施森林质量精准提升工程，优化森林结构和功能，提高森林生态系统质量、稳定性和碳汇能力等[3]。指导意见的出台反映了国土绿化指导思想的重大转变，对推动国土绿化高质量发展具有重要意义。

如何推进科学绿化和森林质量提升工程？笔者认为首先应该有一个明确的行动目标，以便更有针对性地提出一个切合实际的工程实施计划，否则在制定工作计划以及具体实施过程中可能抓不住根本，容易发生工作跑偏等问题。因此，从遗传学角度提出了理想森林（ideal forest）的概念及其科学经营的相关思考，并希望能起到抛砖引玉的作用，精准、高效地推进我国正在进行的科学绿化和森林质量提升工作，让国家的森林早日达到理想森林状态。

1 森林永续利用思想理论与理想森林

1962 年，周恩来总理对原林业部指示：“林业的经营要合理采伐，采育结合，越采越多、越采越好、青山常在、永续利用”，这实际就是理想森林的一个朴素定义[4]。通过科学培育和经营，森林不但“青山常在、永续利用”，而且“越采越多、越采越好”，显然是我们所期望的“理想森林”。其中“青山常在、永续利用”是目标，而通过森林面积的扩大和单位面积上林木蓄积量的增加，达到“越采越多、越采越好”，是森林永续利用的核心和保障[4]。那么，如何才能通过科学培育和经营实现森林永续利用？历代专家学者和劳动群众进行了诸多卓有成效的研究探索和实践，为实现森林永续利用提供了重要的理论和技术支撑。

早在我国春秋时期，《管子·八观》中就有“山泽虽广，草木毋禁”“草木虽美，禁发必有时”的论述[5]。战国时期的《孟子·梁惠王》同样认为“斧斤以时入山林，材木不可胜用也”[6]。北魏贾思勰在其所著《齐民要术·卷五》中记述了桑、榆、杨、柳等树种的经营利用模式，如毛白杨压条栽培“三年，中为蚕檛”，如“岁种三十亩，三年九十亩，一年卖三十亩，得钱六十四万八千文”，则“周而复始，永世无穷”[7]；而“种柳千树，则足柴”，因为采取“头木林”经营，“十年以后，髡一树得一载；岁髡二百树，五年一周”[7]。这些都是中国劳动人民和学者们朴素的生物资源保护与合理利用思想以及实践经验的总结。

国外永续利用思想萌芽于 11 世纪中叶的欧洲，直到 17 世纪采伐原始林难以满足工业革命对木材的巨大需求以后，人工林培育和森林资源永续利用研究开始兴起[8−9]。18 世纪初，Carlowitz 提出了人工

造林以及营造和保持能永续利用森林的思想，被奉为森林永续利用理论的创始人。此后，Hartig 提出森林永续利用原则，主张选择生长量高的树种，如针叶纯林等，并有计划采伐，保证永续经营[8,10]。Hundeshagen 创立了影响广泛的法正林（normal forest）学说，要求设置与采伐周期等数的各龄级等面积的同龄纯林，每年按龄级皆伐收获，实现永续利用等[8,10]。法正林及其众多衍生出的相关理论都具有一个保持永续的共同原则，就是采伐量始终不超过林地各时期增加的木材生长量，其本质是追求栽培范围内人工林最高木材产量的持续性和稳定性[8,10]。法正林经营理论对世界林业发展产生了重要影响，解决了西方工业发展的木材供给需求问题，同时在一定程度上也起到了保护和扩大森林资源的作用。

随着人工林的大面积发展，纯林生态稳定性变差，更易受到病虫和风雪灾害影响；连续栽培导致立地衰退，工业发展导致劳力成本上升、人工林经济效益显著下降等，这些问题的出现促使人们开始了对单纯木材生产的传统人工林经营理论的反思以及新发展路径的探索[10−13]。1867 年，Hagen 首次提出了森林多效益永续经营思想[10]。1898 年，Gayer 提出了“人类应尽可能地按照森林的自然规律来从事林业生产活动”的近自然森林经营（close-to-natural forest management）理念[10−13]。Möller 发展了近自然森林经营思想，提出恒续林（continuous-cover forest）概念，以突出近自然森林经营的目标状态，并经过多年的实践后，提出了关于恒续林的经营法则[10−11]。其基本指导思想和原则是效法自然，即通过适树、混交、异龄、择伐等人工栽培管理措施[13]，尽可能使主要造林树种的人工林与其自然演替下的天然林的林分结构相近似，发挥森林的多功能效益等。但其提出后一直存在争议，直到 20 世纪 70 年代后才开始比较有规模的试验[11−13]。目前，德国、奥地利、瑞士等欧盟国家普遍开始采用近自然森林经营。

此后，一些新的基于生态学原理的森林经营理论不断涌现，其中影响较大的包括森林多效益主导利用经营（或称森林分类经营），以及森林可持续经营等[10−21]。这些理论实际上是森林资源分类管理和近自然森林经营等永续利用思想理论整合的结果。谢守鑫[17]认为我国森林分类经营更科学合理的提法应该是森林资源分类经营管理。但这种将管理的原则、方法和指标等与经营的原则、方法和指标等混合在一起应用，必然会导致各应用环节和过程的复杂性。如国际热带木材组织（ITTO）出版的 2 本《热带天然林可持续经营标准与指标的应用手册》甚至包括了 7 个标准、24 个方面的 66 个指标及其下属 117 个分指标[20]。国际林业研究中心（CIFOR）制定的森林可持续经营也包括 6 个原则、24 个标准和 98 个指标[20]。森林健康是可持续经营的基础，其评价指标体系同样复杂而多样[21]。由于指标众多，且一些指标为定性描述，部分指标间还相互制约，导致实际执行过程中难以全面落实，甚至有可能出现舍本求末等偏差。

在林业中，经营和管理经常结合使用，固然森林经营中包括管理行为，但经营单独使用时更偏重于森林生产组织，属于经营学范畴，而森林资源分类或功能性分类则是管理学范畴的概念。森林功能性分类是实现其可持续经营的基础，而在森林分类管理的基础上开展分类经营，再给出一个更为明确且契合森林本质的经营目标，应该更有利于把握森林经营的关键问题，以及操作性更强的经营路径和技术措施等[18]。因此，提出基于遗传学的森林永续经营利用目标——理想森林，即拥有与分布区自然地理相适应的树种组成及群体遗传结构，优势树种持续保持丰富的群体遗传多样性，以及自然稀疏和自然更新能力，且生长等目标性状相关基因的正向等位变异高度聚合，可在更短时间内形成与立地环境相匹配的生态适应性和最高生产力的森林。而在向理想森林推进的每一个经营轮次中，都有当前经营状态下的相对理想森林。这样的理想森林具有可自我调节并适应环境变化的遗传基础，所形成的森林生态系统也就自然而然地具备了多功能性和相应的服务能力。

2　森林的遗传特点与理想森林经营

从我们给出的定义看，理想森林应该具有最佳的环境适应性、高水平的遗传多样性、持续丰产性以及自然稀疏和自然更新能力。其中，森林具有与分布区自然地理相适应的树种组成及群体遗传结构，决定了优势树种能否适应当地环境并保证群体生态稳定性；持续保持丰富的群体遗传多样性、且生长等人类需要的目标性状相关基因的正向等位变异高度聚合，决定了优势树种在保持最佳的环境适应性的同时，能否可以在最短时间内形成与立地环境匹配的最大生产力和持续丰产性；自然稀疏和自然更新能力的形成，则是借助自然力实现森林生态系统稳定和可持续经营利用的最佳路径等。

经营活动具有目的性、经济性等特点，决定了森林经营的相应属性。森林经营的目的性决定了经营对象必须有木材价值或其他功能的开发利用价值；而经济性要求森林经营要产生经济效益，而且最好

是在保持森林生态稳定性的前提下，用尽可能少的投入获得更多的木材等林产品以及最大的经济效益。因此，可以从森林功能、生态保护以及经营效益等层面将森林简单分为两类：其一是重建或更新容易、且木材等经营可持续效益高的森林，即适合木材等经营的商品林；其二是重建或更新困难、以及木材经营可持续效益低甚至负效益的森林，即不适合木材经营的公益林、或适合森林游憩等其他类别经营的多效林等。目前，我国及澳大利亚、菲律宾、美国、瑞典、新西兰、法国、加拿大、印度等多数国家将森林划分为这样的两类[14−18]或三类[16−18]。奥地利、日本等国家划分的多类林[17−18]实际也可以合并为上面的两类或三类。理论上而言，其中的商品林类森林可以通过科学培育和经营，越采越多且越采越好，大部分具备永续利用遗传基础的森林可以实现向理想森林的转变。而大多数国家的公益林基本都是遗传基础宽泛的天然林，多位于比较偏远、高寒地区，主要担负野生动植物保护、水源涵养、自然景观以及休闲游憩、康养健身等作用[14−19]。

就商品林而言，根据其遗传基础可以简单分为两类，一种是遗传基础窄化的同龄林，一种是遗传基础宽泛的同龄林或异龄林。其中，遗传基础宽泛的同龄林或异龄林类型主要是天然林，或是基于遗传多样性丰富的种子园种子营造的人工林。天然林因分布区自然条件差异，或为单一树种组成的异龄林，或为多树种组成的异龄林。众所周知，无人为干扰的自然环境下，自然更新是树木的“本能”。林分郁闭前的树木首先受到其分布区自然环境的选择，不适者淘汰，初步形成与当地环境相适应的群体遗传结构；而当林分郁闭后，高生长竞争导致自然稀疏，从而形成与其生境变化一致的地理种源变异[22]。这是长期自然选择下形成的最佳环境适合度的“理想森林”，但并不是人类所期望的土地木材生产力形成最快的“理想森林”。其生长相对缓慢，是因为天然林中的树木生长等性状相关有利基因随机分散保存于不同的基因型内，未经历选择或属于自然随机选择[22]，也就是说天然林并不是理想品种[23]的基因型集合体。因此，天然林的遗传基础决定了其不能在相对更短的时间内形成土地最大生产力。而要想推动天然林向理想森林方向转变，主要问题是如何促进正向选择，即提高林分生长等目标性状相关基因的正向等位变异频率。

就基于遗传多样性丰富的种子园种子营造的人工林而言，有单一树种组成的同龄林，也有多树种组成的近自然林等；造林树种多为针叶树或无性繁殖困难的阔叶树，生长较为缓慢，生长周期比较长；造林用种的育种群体材料源自造林地同一种子区范围内收集的优树，具有丰富的遗传多样性和良好的适应性；一些树种造林种子甚至是经过多世代轮回选择的高级种子园种子，生长等目标性状相关基因的正向等位变异高度聚合，林地生产力显著提高等。其中，同龄林尤其是同龄纯林个体间差异较小，竞争力相近，自然稀疏能力较差，易发生人工林群体衰退[24]，导致大面积病虫害发生[11,24]；郁闭度较高且不能自然稀疏，导致难以自然更新。而异龄、混交的近自然林个体间遗传差异较大，具有一定的自然稀疏能力和自然更新能力，但存在造林、抚育以及择伐采收成本高、技术要求高、木材培育周期长等问题[25]。这类森林均具备向理想森林方向转变的遗传基础，而实现的关键是培育自然稀疏和自然更新能力，防止森林遗传劣变的发生，并尽可能简化技术难度，降低经营成本。尤其需要指出的是，近自然森林经营模式还存在一个尚未被人们认知的遗传风险性，就是其经营虽然有保留优质母树的要求，但目标树培育以及“献血式”择伐[25]，同时还要兼顾复层异龄、密度调控等经营技术特点，森林内最为优良的植株可能较早被采伐利用，导致保留的落种母树并不一定是森林的最优株系，如此多代负向选择的结果，存在可能导致森林遗传品质劣变的风险。目前，近自然林森林经营尚未完成多轮实践，森林遗传品质劣变问题有待时间证明，需要引起我们尽早重视。

遗传基础窄化的同龄林类型基本都是基于单系品种，或者少数无性系或家系组成的混系品种（品系）营造的人工林等[23]。这类人工林由于采用优良品种造林，生长速度快，可以快速成林，并提供木材等经济林产品，但其对立地质量和抚育管理水平要求也高。遗传基础高度窄化，各植株的遗传组成和生活习性相似甚至相同，林相整齐，易于管理甚至机械化作业，但林分无自然稀疏能力，如不能及时保证水养供给或通过疏伐等措施进行密度调整，易发生人工林群体衰退[24]。树木异交的生物学特性决定无性系品种难以通过产生种子实现自然更新，而家系品种即使能够自然更新，也会因近交引起后代遗传品质劣变，从而导致森林生产力下降等。显然，此类商品林缺乏向理想森林转变的遗传基础，无自然稀疏能力且经营周期较短，难以借助自然力均摊造林和抚育管理成本，只适合采取法正林类的模式集约经营。其栽培经营应选择水养条件较为优越的栽培区域和立地，采用短周期栽培树种及其良种甚至当代理想品种[23]，并注意利用品种与环境互作效应，实行高度集约化栽培，其中以木材类经营为目标的森林采取皆伐收获，高效、快速生产大量木材。甚至可以

将这类集约化生产木材等经济林产品的商品林树种视为木本作物[24]经营，在满足社会现实需求的同时减少天然林采伐，为理想森林经营的时空腾挪提供支撑。

综上所述，从遗传基础看，森林有两种，即遗传基础窄化的森林和遗传基础宽泛的森林。而从森林经营看，可以划分为三类，即执行严格生态保育的公益林、按理想森林经营的商品林以及集约经营的商品林。所谓理想森林经营就是基于遗传学和生态学原理，充分利用自然选择和竞争等树木间及其与环境间的互作机制等自然力，并采取一定的人工辅助措施促进森林群体遗传进展和稳定性，培育生产力高的健康森林。这样的理想森林尽管经营周期长，但因主要靠自然力经营，其成本低、木材产量高且生态稳定，也可以作为多功能经营的兼用林，应该是未来国家森林经营的主体。理想森林经营与法正林经营、近自然林经营等主要森林经营理论的技术特征对比如表 1。

大多数森林的立地环境和现实人工成本决定其不可能采取如作物般的经营管理措施。从遗传学角度看，理想森林经营的技术关键主要包括选用当地适宜树种，采用当地种子区优良种子进行辅助更新并保证宽泛的遗传基础，适时地去劣疏伐，促进形成自然稀疏和自然更新能力等，其余交给自然力，相信自然会比我们做得更好。至于理想森林经营是否混交及其树种选择和配置，应该效法当地的天然林树种组成及其林分结构。对于缺少混交树种的地带，强制营建混交林可能会事与愿违，事实是这些地带的纯林同样也可以形成稳定的生态系统。

3　我国森林质量较差的遗传原因解析

对比欧美等林业发达国家的森林，处于相同气候带的我国森林乔木林平均蓄积量和年均蓄积生长量均相对较低，且稳定性差[1−2]。原因是多方面的，有环境影响问题，也有指导思想偏差问题；有认识问题，也有技术政策问题，相互交织一起[26]。如果主要归因于自然环境较差的影响，那么，在相同立地条件上也可以见到蓄积量较高的林分，甚至在生长期较短且极为贫瘠的浑善达克沙地的塞罕坝也可以实现 136 m^3/hm^2 的林木蓄积量[27]等，又如何解释？仔细分析其中的原因，应该与森林的整体遗传品质比较差最为相关。

表 1　理想森林经营与其他主要森林经营理论的技术特征对比

Tab. 1　Comparison of technical feature of ideal forest management and other forest management theory

特征 Feature	法正林经营 Normal forest management	近自然林经营 Near natural forest management	理想森林经营 Ideal forest management
经营目的 Management purpose	木材生产 Timber production	木材生产为主 Mainly timber production	木材高效生产且多效 Effective timber production and multi-function
造林方法 Afforestation method	单一树种造林 Single tree species afforestation	按主要原生树种块状混交造林 Mass mixed afforestation by exploiting native tree species	按主要原生树种及其遗传结构造林 Afforestation by exploiting native tree species and their population genetic structure
树种结构 Tree species structure	同龄纯林 Even-aged pure forest	择伐过程中形成异龄混交林 Uneven-aged mixed forest formed by selective cutting	第1代同龄林; 第2代后异龄林 Even-aged forest in the first generation; uneven-aged forest after the second generation
抚育管理 Tending management	水肥管理 Water and fertilization management	择伐, 目标树培育 Selective cutting, target tree cultivation	去劣疏伐 Thinning by cutting inferior trees
采伐方式 Harvesting way	有计划皆伐 Planned clear cutting	成熟目标树择伐或小块状皆伐, 周围母树落种 Harvesting mature target trees by selective cutting or massed clear cutting, mother trees remained	成熟林块状皆伐, 保留最优落种母树 Mature target trees should be selectively harvested or cut in small pieces, and surrounding mother trees should be sown
更新方式 Regeneration way	重新造林 Re-afforestation	自然更新 + 种子园良种人工辅助更新 Natural regeneration + artificial assisted regeneration by improved varieties derived from seed orchard	优良落种母树自然更新 + 种子园良种人工辅助更新 Natural regeneration by seeds from superior parent trees + artificial assisted regeneration by improved varieties derived from seed orchard
自然稀疏 Natural-thinning	弱 Weak	中 Moderate	强 Strong
遗传基础 Genetic basis	窄化 Narrowing	宽泛 Broad	宽泛 Broad
遗传品质 Genetic quality	因造林品种而异 Varies with afforestation variety	不确定或下降 Uncertainty or decrease	逐代提高 Increase by generation
经营周期 Management cycle	短 Short	长 Long	相对较短 Relatively short
经营成本 Management cost	高 High	中 Moderate	低 Low

从天然林看，我国现有天然林 13 867.77 × 10^4 hm^2，占全国森林面积的 63.55%[28]。而在新中国成立之初，因长期农垦、战乱、火灾、樵采以及日寇盗伐的结果，仅保留有 0.828 亿 hm^2 森林[29]。此后因国家建设需要，一些林区开始大面积皆伐生产木材，交通便利地区的优良森林几乎损失殆尽，导致现在约有 94% 的天然林为次生林和过伐林[2]等低质低效林。20 世纪 70—80 年代，一些地区为了促进天然林尽快恢复，采取了人工辅助更新等措施，但跨区调拨甚至动员群众采集等来源的种子大多品质低劣或适应性差，造林后甚至难以成林[30]。虽然国家一直要求加强次生林和过伐林的抚育管理，但仍有一些地区为了短期利益而在抚育时采取“拔大毛”式采伐，导致森林遗传品质劣化严重[26,30−31]。尽管目前我国还现存约占全国森林总面积 4%[31]的原始林或接近原始状态的森林，但其主要分布在交通不发达地区，或属于风景名胜区和水源涵养林，其树种或种源与周边差异较大，即使可以采种，也大多因种源差异而难以在其分布区之外利用，也不能寄希望于利用这些原始林的优良种质来改良我国的森林遗传品质问题。

从人工林看，我国现有人工林 7 954.28 × 10^4 hm^2，占 36.45%[28]。人工林面积增速较快，但大多数树种人工林的良种化水平较低。原因在于国家开展系统林木育种始于 20 世纪 80 年代，当时大量的天然林已经被采伐，一些树种的选优只能是“矬子里拔将军”，收集的育种资源遗传品质较差。由于育种时间短、投入严重不足且时断时续，至今主要造林树种的良种使用率才达到 65%[23]，且多数树种尚处于第一育种世代，遗传品质不高，甚至仍然由母树林供种[23,32]。由于投入不足，育种计划也没有覆盖树种的主要种子区，一些地区采用非本种子区的外地种源造林，树木因不适应而影响生长甚至衰退死亡[30−31]。一些树种早期造林并无良种使用，仅仅满足于“绿化”，随意采种、采条的现象较为普遍等。此外，我国乔木人工林约有 88% 为组成单一同龄纯林[2]，特别是占全部森林面积的 57%[28]的公益林中有很大部分遗传基础较窄甚至是无性系人工林，基因型相近或一致，竞争力相似，无自然稀疏能力，又因公益林身份而难以被采伐更新等，存在人工林群体衰退风险甚至已经发生，如“三北”地区发生的沙枣（*Elaeagnus angustifolia*）、杨树（*Populus* spp.）、樟子松（*Pinus sylvestris* var. *mongholica*）人工林大面积衰退死亡[24,33−34]，以及当前正在全国范围内发生的马尾松（*P. massoniana*）等松树中松材线虫（*Bursaphelenchus xylophilus*）危害等[35−36]。如果我们的森林经营政策和策略不加以改变，人工林群体衰退的危害不仅仅是国家大量木材资源损失、森林病虫害防治成本剧增，同时还会导致一些树种的优良种质资源流失，这更是伤及国家森林经营遗传基础的根本问题。

我国国土绿化取得的卓越成就[1,29]举世瞩目，而森林遗传品质劣化问题也是客观存在的，有其形成的时代背景和客观原因，关键是当今如何面对现实并采取一定的技术措施加以解决，快速推进国土绿化和森林质量提升。河北省塞罕坝机械林场等为我国森林资源高效培育树立了榜样。用半个多世纪时间，塞罕坝人不仅创造了由一株树到 7.46 万 hm^2 人工林海的奇迹，而且证明了在立地环境相对较差的地区也可以实现树茂林丰，更让我们看到当森林环境形成后便可截尘、生壤，有了土壤就可以保水保肥，森林开始进入良性发展阶段的事实。我国水养等条件更好的地区完全有可能通过改善森林经营方法超过塞罕坝，甚至超过欧美等林业发达国家的森林经营水平。

4 关于推动我国理想森林经营的建议

如何推动国家森林质量提升，使其整体达到甚至超过塞罕坝的经营水平，直至达到理想森林状态？从良种抓起，铸牢森林遗传基础，推动森林遗传进展，重塑森林遗传品质，是提升国家森林质量的基本途径。在此仅从遗传管理角度提出我国理想森林经营的建议。

（1）建立森林经营国家机制，为理想森林经营提供政策保障。森林是国家财富，是后代子孙生存的根基。因此，森林质量是国之大者，森林经营应有国家意志、国家机制、国家举措和国家行动。一般国际上公益林所占面积比例为 5% ~ 15%[16]。目前，我国公益林与商品林的面积之比达到 57∶43[28]。对于木材对外依存度达到 50% 以上的我国而言，如此庞大的公益林面积，国家如何保证足够的投入以维持其功能？是否存在林地资源浪费问题？能否从中调整出一批可经营林地作为商品林生产木材？这些问题一直是我国林业界争论的问题[15−16,26,37]。此时，非常有必要对现有公益林和商品林进行重新评估和规划，重构国家公益林比重，严格森林分类管理和分类经营。其中，公益林的管理应由国家主导；单纯作为产业的集约化商品林的经营适合采取企业运营的市场机制；而理想森林经营具有多功能林的作用，且经营周期长，其进入采育平衡之前应该由国家主导，或是建立森林生态效益补偿机制加以推动。欧美以及新西兰、日本等国家的成功经验值得借鉴，通过一系列扶持政策推动森林分类管理和分类经营，改善了生

态环境，满足了国家木材需求，甚至成为国家支柱产业[11−18]。而在构建国内国际双循环相互促进新发展格局的今天，我国应该在“绿水青山就是金山银山”的思想理念引领下，按照《关于科学绿化的指导意见》要求，出台配套的国家森林经营机制和扶持政策，组建一批专业队伍，加大投入力度，并引导资本和劳动力向山林转移，通过理想森林经营重塑国家森林遗传品质和生态价值。从而藏富于山，聚财于林，功在当代，福泽千秋。

（2）加强森林基础科学研究，为理想森林经营提供理论支撑。公益林与商品林有共同的培育目标，就是生态系统相对稳定的健康森林。树种之间的协调性以及环境适应性是长期自然选择的结果，掌握树种和立地环境间、树种之间以及树种内个体之间的作用关系，对于理想森林经营至关重要。如研究掌握主要树种的地理变异规律，保证适地适种源的造林用种基本要求；掌握主要树种与伴生树种甚至林下植被的时空关系，保证混交树种和谐共生，充分利用森林空间；掌握主要树种群体遗传多样性以及生长和材质等性状群体遗传变异规律，促进森林群体遗传进展，避免在长期持续栽培过程中因遗传多样性丧失而导致的遗传脆弱性；掌握森林自然稀疏和自然更新机制，保证森林形成自我调节和更新能力等。实际上一些树种的造林地点对种源的影响极为显著[32]；林冠树木与林下植被、土壤甚至地衣苔藓和菌根菌等存在相互作用[38−40]；甚至有的树种具有半寄生性，在生长过程中需要找到足够强大的寄主为自己提供养分[41]等。实际工作中尤其要重视主要环境因子对树木遗传表现的作用，如在水为主要限制因子的半干旱和干旱地区，只有利用当地种源，并效法自然植被结构组成来种植才能持久；要增进防护效果，可效法树种自然密度，采取小网格化种植；如要加大防护林的地表覆盖度，应该到更为干旱的地区寻找适宜树种；如果选用杨树等非乡土高大乔木建设防护林，应注意及时疏伐降低密度，并在林分成熟时及时轮伐采收重建，防止人工林群体衰退的发生，保证其防护功能的正常发挥等。如不了解森林遗传基础而盲目造林甚至违背科学常识造林，必然会造成损失。

（3）按种子区划育种和制种，为理想森林经营提供优质良种。遗传品质是森林健康和高效经营的根本。因过度采伐，我国的天然林大多数为低质低效的次生林和过伐林[2]，而大多数人工林的造林用种也均来源于这些天然林，遗传基础先天不足。而大多数森林立地环境为荒山荒地，灌水施肥等栽培措施大多难以实施，森林的遗传基础关键且重要。要推动理想森林经营，一些低质低效林以及遗传基础窄化的人工林迫切需要皆伐并采用良种重建，从根本上改善森林的遗传基础，否则如何抚育经营都是徒劳的。而且在理想森林经营过程中，人工辅助自然更新等都需要有一定的良种投入。因此，国家应加大林木常规育种的投入，按地理变异规律布局规划重要树种育种区，按育种区开展种质资源收集保存工作，构建该育种区的育种群体，不断推动基于轮回选择的常规育种进程，并通过在不同种子区营建的种子园为相关区域提供优质良种[22−23,32]。欧美以及澳大利亚、新西兰、巴西、智利等国家支持开展持续育种并将良种应用于造林，使其森林质量持续提升，直至实现采育平衡甚至大量对外出口[15,32,42]，这值得我们学习借鉴。

（4）着力森林遗传品质培育，推动理想森林经营可持续发展。完全依靠自然力恢复并不是最优策略[16]。当前，有的地方因人工成本高，或因为懒政、怠政而放弃了森林抚育管理；有的地方甚至仍然存在借抚育而“拔大毛”采伐增收等问题[27,31]；一些遗传品质严重劣变的过伐林、次生林也因尚存的所谓“生态价值”而舍不得改造等，这些问题能否解决，事关未来森林的发展走向，必须从国家层面加以规范。就今后确定按理想森林经营的商品林而言，提升森林的遗传品质最为关键。其中，对于未受到干扰或有轻微干扰的天然林以及种子园良种营造的人工林，当森林郁闭后生长量开始下降时，适时通过去劣疏伐腾出水养空间，促进目标树生长，同时提高林分生长等目标性状的正向等位变异基因频率。当森林达到经济成熟树龄时，采取斑块状皆伐，并按一定密度保留最优植株作为落种母树，以保证自然更新及其遗传品质。如果林地自然更新不良，或考虑防止近交及遗传基础窄化问题，可采用种子区内各目标树种的种子园良种分批次飞播等措施来人工促进天然更新，加快利于自然稀疏的异龄、复层森林结构形成。而对于天然林中遗传品质严重劣变的过伐林、次生林，或者有意转化为理想森林经营的遗传基础窄化的人工林，需要皆伐并采用种子园良种重新造林，其后采取如前所述相同的遗传管理过程经营即可。如此逐步将商品林向理想森林推进，在促进森林遗传进展，重塑森林遗传品质和生态价值的同时，实现森林越采越多、越采越好。

我们需要立即行动起来，如果今天不能有所作为，就永远不会拥有优质的森林。相信未来在国家的推动下，按理想森林经营的森林将达到采育平衡甚至蓄积超过采伐，国家木材的对外依存度和市场木材价格必将显著降低，而属于木材集约经营类的

商品林也必然因效益降低而逐渐转为理想森林经营，国家森林开始进入树茂林丰、生态稳定的良性发展状态。

参 考 文 献

[1] 耿国彪. 保持生态文明建设战略定力, 科学推动国土绿化高质量发展: 访国家林业和草原局局长关志鸥 [J]. 绿色中国, 2021(11): 8−11.
Geng G B. Maintain the strategic determination of ecological civilization construction and scientifically promote the high-quality development of national land greening[J]. Green China, 2021(11): 8−11.

[2] 张会儒, 雷相东. 森林经理与森林质量精准提升 [J]. 国土绿化, 2017(8): 13−15.
Zhang H R, Lei X D. Forest management and precise enhancement of forest quality[J]. Land Greening, 2017(8): 13−15.

[3] 国务院办公厅. 关于科学绿化的指导意见 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 2021(17): 178−182.
General Office of the State Council. Guiding opinions on scientific greening[J]. The Bulletin of the State Council of the People's Republic of China, 2021(17): 178−182.

[4] 王长富. 试论森林永续利用理论 [J]. 林业经济, 1985(4): 5−8.
Wang C F. A study on the theory of sustainable use of forest[J]. Forestry Economics, 1985(4): 5−8.

[5] 管仲. 管子 [M]. 北京: 中华书局, 2022.
Guan Z. Guanzi[M]. Beijing: Zhonghua Book Company (PRC State-Run Publication), 2022.

[6] 孟轲. 孟子 [M]. 上海: 上海古籍出版社, 2013.
Meng K. Mengzi[M]. Shanghai: Shanghai Ancient Books Publishing House, 2013.

[7] 贾思勰. 齐民要术 [M]. 上海: 上海古籍出版社, 2006.
Jia S X. Qimin yaoshu[M]. Shanghai: Shanghai Ancient Books Publishing House, 2006.

[8] 于政中. 世界森林经理的现状及发展趋势 [J]. 世界林业研究, 1989(1): 29−36.
Yu Z Z. Current status and development trends of forest management in the world[J]. World Forestry Research, 1989(1): 29−36.

[9] 黄世忠. 可持续性和可持续发展的缘起和演进 [J]. 财会月刊, 2024, 45(1): 3−9.
Huang S Z. Origins and evolution of sustainability and sustainable development[J]. Finance and Accounting Monthly, 2024, 45(1): 3−9.

[10] 王红春, 崔武社, 杨建州. 森林经理思想演变的一些启示 [J]. 林业资源管理, 2000(6): 3−7.
Wang H C, Cui W S, Yang J Z. Some insights into the evolution of forest management thinking[J]. Forestry Resource Management, 2000(6): 3−7.

[11] 陆元昌, 栾慎强, 张守攻, 等. 从法正林转向近自然林: 德国多功能森林经营在国家、区域和经营单位层面的实践 [J]. 世界林业研究, 2010, 23(1): 1−11.
Lu Y C, Luan S Q, Zhang S G, et al. From normal forest to close-to-nature forest: multi-functional forestry and its practice at national, regional and forest management unit levels in Germany[J]. World Forestry Research, 2010, 23(1): 1−11.

[12] 邵青还. 对近自然林业理论的诠释和对我国林业建设的几项建议 [J]. 世界林业研究, 2003(6): 1−5.
Shao Q H. An elucidation to nature-approximating forestry and forestry target[J]. World Forestry Research, 2003(6): 1−5.

[13] 许新桥. 近自然林业理论概述 [J]. 世界林业研究, 2006(1): 10−13.
Xu X Q. Survey on theory of nature-approximate forestry[J]. World Forestry Research, 2006(1): 10−13.

[14] Berck P, Bentley W. Hotelling's theory, enhancement, and the taking of the Redwood National Park[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1997, 79(2): 287−298.

[15] 张耀启. 新西兰林业分类经营的再认识 [J]. 世界林业研究, 2003(3): 52−57.
Zhang Y Q. New Zealand's forest land use specialization[J]. World Forestry Research, 2003(3): 52−57.

[16] 张会儒. 当前森林经营需要注意的几个问题 [J]. 中国林业产业, 2019(6): 61−66.
Zhang H R. Several issues requiring attention in current forest management[J]. China Forestry Industry, 2019(6): 61−66.

[17] 谢守鑫. 我国森林资源分类经营管理的哲学思考与实践剖析 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
Xie S X. Philosophical thinking and analysing on the practice of China's forest resources classification management[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.

[18] 李荣玲. 世界主要林业国家林业分类经营情况综述 [J]. 林业资源管理, 1999(2): 20−26.
Li R L. Overview of forestry classification management situation in the major forestry countries worldwide[J]. Forestry Resource Management, 1999(2): 20−26.

[19] Hall J E. Canada's model forest program: a participatory approach to sustainable forest management in Canada[J]. Commonwealth Forestry Review, 1997, 76(4): 261−263.

[20] 陆文明. 森林可持续经营的标准和指标体系及其国际进展 [J]. 中国林业, 1999(5): 37−38.
Lu W M. Criteria and indicator systems for sustainable forest management and their international progress[J]. Forestry China, 1999(5): 37−38.

[21] 沈剑波, 雷相东, 舒清态, 等. 国内外森林健康评价指标体系综述 [J]. 科技导报, 2011, 29(33): 72−79.
Shen J B, Lei X D, Shu Q T, et al. Review on forest health evaluation index system[J]. Science and Technology Review, 2011, 29(33): 72−79.

[22] 康向阳. 论林木常规育种与非常规育种及其关系 [J]. 北京林业大学学报, 2023, 45(6): 1−7.
Kang X Y. On conventional and unconventional tree breeding and their relationships[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2023, 45(6): 1−7.

[23] 康向阳. 关于我国林木育种向智能分子设计育种发展的思考 [J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(3): 1−7.
Kang X Y. Thoughts on the development of forest tree breeding

towards intelligent molecular design breeding in China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(3): 1−7.

[24] 康向阳. 关于无性系林业若干问题的认识和建议: 以杨树为例 [J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(9): 1−7.
Kang X Y. Cognition and suggestions on some issues related to clonal forestry: taking poplar as an example[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(9): 1−7.

[25] 许新桥. 近自然林业理论评价 [J]. 林业经济, 2006(2): 24−28, 32.
Xu X Q. Opinion of theory of close-to-nature forestry[J]. Forestry Economics, 2006(2): 24−28, 32.

[26] 刘于鹤, 林进. 加强森林经营提高森林质量: 从编制实施森林经营方案出发 [J]. 林业经济, 2008(7): 6−10.
Liu Y H, Lin J. Strengthening forestry management to increase forestry quality: from planning & implementation of forestry operation program[J]. Forestry Economics, 2008(7): 6−10.

[27] 孙双印. 塞罕坝森林可持续经营管理现状及对策建议 [J]. 天津农林科技, 2019(2): 39−40.
Sun S Y. Sustainable management status and countermeasures of Saihanba forest[J]. Science and Technology of Tianjin Agriculture and Forestry, 2019(2): 39−40.

[28] 崔海鸥, 刘珉. 我国第九次森林资源清查中的资源动态研究 [J]. 西部林业科学, 2020, 49(5): 90−95.
Cui H O, Liu M. Analysis on the results of the 9th national forest inventory[J]. Journal of West China Forestry Science, 2020, 49(5): 90−95.

[29] 张蕾. 半个世纪的奋进: 中国林业 50 年发展成就和展望 [J]. 中国林业, 1999(10): 4−7.
Zhang L. Half a century of endeavor-achievements and prospects of China's forestry development in the past 50 years[J]. Forestry China, 1999(10): 4−7.

[30] 李莲芳, 韩明跃, 郑畹, 等. 云南松低质低效林的成因及其分类 [J]. 西部林业科学, 2009, 38(4): 94−99.
Li L F, Han M Y, Zheng W, et al. The causes of formation of low quality forest of *Pinus yunnanensis* and their classification[J]. Journal of West China Forestry Science, 2009, 38(4): 94−99.

[31] 王祝雄, 吴秀丽, 刘羿. 科学加强森林经营创新推进森林质量持续提升 [J]. 国土绿化, 2017(12): 14−17.
Wang Z X, Wu X L, Liu Y. Scientifically strengthening forest management and innovatively promoting the continuous improvement of forest quality[J]. Land Greening, 2017(12): 14−17.

[32] 康向阳. 林木遗传育种研究进展 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2020, 44(3): 1−10.
Kang X Y. Research progress of forest genetics and tree breeding[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2020, 44(3): 1−10.

[33] 康向阳. 北京与雄安新区园林树种应用需重视的问题及建议 [J]. 北京园林, 2019, 35(3): 3–7.
Kang X Y. Problems and suggestions on the application of landscape tree species in Beijing and Xiong'an New Area that need to be valued[J]. Beijing Landscape Architecture, 2019, 35(3): 3–7.

[34] 路伟伟, 吴波, 白建华, 等. 樟子松人工林退化原因及研究展望 [J]. 科学通报, 2023, 68: 1286−1297.
Lu W W, Wu B, Bai J H, et al. Causes and research prospects of the decline of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation[J]. Chinese Science Bulletin, 2023, 68: 1286−1297.

[35] 余海滨, 陈沐荣. 广东松材线虫病发生规律研究 [J]. 云南农业大学学报, 1999(增刊 1): 103−110.
Yu H B, Chen M R. The occurrence and development of pine wilt disease *Bursaphelenchus xylophilus* in Guangdong Province[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 1999(Suppl. 1): 103−110.

[36] 刘强, 吴志伟, 林世滔, 等. 松材线虫病发生点格局及影响因素 [J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2530−2538.
Liu Q, Wu Z W, Lin S T, et al. Spatial point pattern analysis of pine wilt disease occurrence and its influence factors[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(9): 2530−2538.

[37] 徐畅, 霍鑫鑫, 程宝栋, 等. 我国现行公益林政策与森林多种效益发挥的思考 [J]. 世界林业研究, 2023, 36(5): 126−131.
Xu C, Huo X X, Cheng B D, et al. Reflections on current ecological non-commercial forest policies in China and multiple forest benefits realization[J]. World Forestry Research, 2023, 36(5): 126−131.

[38] Deng J, Fang S, Fang X, et al. Forest understory vegetation study: current status and future trends[J]. Forestry Research, 2023, 3: 6.

[39] Smith M L, Bruhn J N, Anderson J B. The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms[J]. Nature, 1992, 356: 428−431.

[40] 杨国亭, 宋关玲, 高兴喜. 外生菌根在森林生态系统中的重要性 (Ⅰ): 外生菌根对宿主树木的影响 [J]. 东北林业大学学报, 1999, 27(6): 72−77.
Yang G T, Song G L, Gao X X. The significance of ectomycorrhizas in forest ecosystems: the influence of ectomycorrhizas on host trees[J]. Journal of Northeast Forestry University, 1999, 27(6): 72−77.

[41] Taide Y B, Babu L C, Abraham C C. Influence of host species in the initial growth and development of sandal (*Santalum album* Linn.)[J]. Indian Journal of Forestry, 1994, 17(4): 288−292.

[42] Ruotsalainen S. Increased forest production through forest tree breeding[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2014, 29(4): 333−344.

（责任编辑　范　娟　赵田芸
责任编委　赵秀海）