

一个新概念:人工纯林土壤性质的极化*

刘增文 段而军 付刚 崔芳芳 高文俊

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 在综合分析人工纯林土壤退化过程和原因的基础上, 尝试性地提出了土壤性质极化的新概念, 即由于单一树种的长期连续生长或连栽, 使土壤性质偏离原平衡态并朝某个方向非平衡或极端化发展的趋势, 且认为它是造成人工纯林连栽障碍的根本原因; 建立单指标和综合指标的土壤极化指数模型, 提出人工纯林土壤极化程度的分级标准和分类体系, 并应用该模型研究了黄土高原南部残塬沟壑区刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.) 人工纯林的土壤性质极化问题, 结果表明其属于旱化兼贫养化极化类型。

关键词 人工林; 土壤退化; 土壤极化; 连栽障碍

中图分类号 S718.55+4 **文献标识码** A

森林的巨大生态功能和环境效应已被人们广泛认识和肯定, 所以大力恢复森林植被是改善生态环境的重要举措。在此过程中, 人工纯林由于造林技术简单、经营管理方便而被广泛应用于商业用材林和生态防护林的营林实践。但是, 随着人工纯林面积的不断扩大和人工纯林生长发育过程的进行, 人们越来越注意到许多人工纯林出现生长发育不良和土壤退化的现象(即连栽障碍), 特别是长期连续生长或者多代连栽的人工纯林。这种现象严重影响和制约着人工林的可持续发展, 所以引起了国内外有关学者的广泛重视, 并对人工纯林的群落组成和结构、土壤生物、物理和化学性质变化等方面展开了大量的研究, 取得了大量但不同的结论。可以概括如下:

“自肥”效应: 由于森林具有庞大的根系和大量的枯落物, 林地养分在土壤表层发生聚集, 从而出现林地土壤较之对照(荒草地)相对肥沃的现象, 被称为森林的“自肥”效应^[1]。“自肥”效应其实是所有植物都具有的一种功能, 然而在不同群落环境条件下, 这种效应的大小和表现形式却有所不同。人工纯林是森林群落类型中最简单的一种形式, 有许多研究表明, 在荒山荒坡上实行人工纯林营造后, 土壤性质得到明显的改善, 土壤肥力也得到一定的提高^[2~6]。

“自贫”效应: 人工林营造后土壤养分状况出现

贫瘠化的趋势, 称之为人工林的“自贫”效应^[7]。如据潘湘海等^[8]研究, 塞罕坝华北落叶松人工林土壤有机质含量、速效氮含量明显降低。杨茂生等^[9]研究也表明, 引种在秦岭南坡的华北落叶松人工林土壤性质显著变差。廖利平等^[10]研究表明, 杉木人工林多代连栽后土壤有机质和N、P、K的含量下降, 而且在某些地方通过施肥也未能改善这种状况。余常兵^[11]、Joshi^[12]等研究表明, 杨树人工纯林的长期种植会使土壤物理性质变差, 土壤有机质、全氮、磷、钾等的含量明显降低。此外, 人工纯林的“自贫”效应还表现在土壤生物活性的降低。据杜国坚等^[13]研究, 杉木连栽林地土壤微生物总数下降23.35%。阎德仁^[14]研究表明, 落叶松人工纯林土壤微生物总量、细菌和放线菌数量下降, 而且随林龄增大土壤微生物活性进一步降低。林思祖等^[15]研究表明, 二代杉木人工林中多酚氧化酶和脲酶活性明显降低, 导致多酚类物质的积累和土壤速效氮转化速度的减缓, 从而影响林木根系的正常发育。

“自毒”效应: 树木在其生长发育过程中, 叶子和根系等器官中会形成或向外分泌一些对自身的种子萌发、幼苗生长发育产生毒害作用的化学物质, 这种现象被称为“自毒”效应^[16]。如据Rice^[17]研究, 苹果、桃树、柑桔均存在“自毒”效应, 所以这些果树不宜连栽。据Chur chow^[18]研究, 辐射松老根和土壤混合的水浸提液明显抑制新一代辐射松幼苗根际微生物

* 国家自然科学基金项目(30471376)和西北农林科技大学人才计划项目(2005)资助

作者简介: 刘增文(1965-), 男, 陕西横山人, 博士, 副教授, 主要从事森林生态学研究。E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

收稿日期: 2006-10-18; 收到修改稿日期: 2007-07-08

物的正常活动。据骆世明等^[19]研究, 柞树根分泌物抑制土壤微生物类群活性是导致柞树天然更新不良的主要原因。舒洪岚等^[20-22]研究表明, 杉木林土壤酸度增加, Al^{3+} 活性增大, 酚类物质积累增多, 从而对杉木根系产生毒害。另据黄付平等^[23]的研究, 马尾松叶、根等浸提液对其种子发芽及苗木生长均有一定的抑制作用。罗侠等^[24]研究表明, 不同浓度的凋落物提取液对天山云杉种子萌发和幼苗生长有不同程度的抑制作用。

“自衰”效应: 人工纯林是以培育目的树种为绝对优势种群的植物群落^[25], 是派生的偏途顶级结构, 植物多样性低下, 群落组成和结构简单, 个体间生态习性比较一致, 生态位高度重叠, 生态系统的物质循环、能量流动乃至信息传递的路径极度简化, 致使其缓冲能力和反馈调节能力较弱。随着人工纯林的长期或多代生长, 各种生态过程单向累积和叠加, 速率逐渐降低, 种内个体之间的竞争日益激烈, 整个系统抗干扰或干扰后的恢复能力大大降低, 从而导致生态系统的稳定性日益衰退, 生物量和生产力下降。

综上所述, 人工纯林营造后会出现许多后果, 在早期或第一、二代生长阶段一般表现良好, 林地土壤会出现一定的自肥现象, 但是, 在生长后期或多代连栽后, 大多数林地会出现自贫、自毒或自衰等土壤退化和林木生长衰退的现象。那么, 引起连栽人工纯林土壤退化和林木生长衰退的根本原因究竟是什么? 值得进一步探讨。

1 土壤性质极化概念的提出

人工纯林是树种组成和结构最为简单的一种人工森林生态系统, 由林木、枯落物和土壤三大分室组成, 并以枯落物分解为纽带, 实现了由土壤—林木—土壤的物质循环利用^[26]。但是, 由于树种的生物学特性的单一性、对物质吸收利用的选择性和对环境效应的特殊性^[27-29], 在同一树种人工纯林的长期经营过程中, 土壤性质往往呈现偏离原平衡态并朝某个方向非平衡或极端化发展的趋势, 如某些生物化学物质或养分越来越富集化, 另一些却越来越贫瘠化, 土壤酸碱性也出现要么向偏酸性发展, 要么向偏碱性发展的趋势, 我们称这种现象为土壤性质的极化。如果土壤性质的极化问题长期得不到解决, 必然导致森林土壤的退化和生长发育受阻, 形成低产低效林分^[30], 进而影响整个森林生态系统的稳

定和可持续发展。所以, 土壤性质的极化可能是导致人工纯林衰退的根本原因。

从土壤极化的过程来看, 它与生态系统中的物质循环有着密切的联系。林木在生长过程中不断地从土壤中吸收有效养分, 同时, 又通过枯落物的形式将部分养分归还土壤, 此外, 随着大气干沉降和降水的过程也有部分养分进入土壤之中, 而土壤养分的最初来源则是形成土壤的母岩矿化所释放的养分。土壤养分的损失途径除了林木、植物吸收利用之外, 还有随渗漏、水土流失等离开土壤。可见, 林地土壤养分始终处于动态变化之中, 当土壤养分输入大于输出时, 土壤养分出现盈余, 表现为森林的“自肥”效应; 相反, 当土壤养分输入小于输出时, 土壤养分出现亏损, 表现为森林的“自贫”效应; 在不同树种、不同配置密度、不同的立地条件和不同的生长发育阶段, 人工纯林的养分循环和利用状况会表现出不同的形式。所以, 人工林到底会出现“自肥”还是“自贫”是各种因素综合作用的结果, 是一个相对的、瞬时的结果, 决不能一概而论。

土壤性质的极化属于地力衰退的范畴, 它既是引起地力衰退的原因之一, 也是地力衰退的表现之一。其实, 在农业上人们早就注意到土壤性质的极化问题^[31-34], 并将其归因于连作障碍, 在生产实践中通过施肥、农作物倒茬轮作和间作套种等方法来预防和治理土壤性质的极化。在林业上, 关于连栽障碍引起的土壤极化问题尚未引起足够的重视, 对导致森林土壤性质极化的原因、过程和后果也缺乏深入的了解。而且, 由于森林生长发育的长期性和经营管理的粗放性, 在生产实践中也缺乏行之有效的防治方法。所以, 作者尝试性地提出人工纯林土壤性质极化的概念, 并通过建立土壤极化指数模型, 初步确定人工纯林土壤极化程度的分级标准和分类体系, 探讨关于人工纯林土壤退化问题的定量研究方向和方法。

2 土壤极化类型与成因

人工纯林的土壤性质极化是外界和内部因素综合作用下的土壤发展过程, 土壤极化的类型和程度与所处的地理气候环境、立地条件、林分结构和生长发育状况及其经营管理方式等密切相关。由于自然界中人工纯林生态系统的多样性, 所以土壤极化的类型也呈现多样化, 但从总体上划分, 包括4个一级类型和12个二级类型, 详见表1。

表 1 人工纯林土壤性质极化类型划分

Table 1 Classification of soil polarization of artificial pure forest

极化类型 ¹⁾ Polarization type		特征及成因 Characteristics and its causes
E 土壤侵蚀	Ed 表土剥蚀	在风沙或水土流失严重的地区, 由于受风力或水力侵蚀的影响, 导致林地土壤表层丧失或者变薄
	Es 淤积或沙埋	在风沙或水土流失严重的地区, 位于下游地区的林地常会被泥沙淤积或埋没
P 物理性质恶化	Pc 土壤板结 ^[35]	由于林地放牧或人为踩踏, 导致林地土壤结构破坏, 土壤被压实、密闭甚至结壳
	Ps 砂质化	由于林木生长发育不良, 土壤有机质含量急剧下降, 土壤结构破坏, 土壤砂粒含量明显增加, 土壤质地由壤质向砂质方向退化
	Pa 旱化 ^[36,37]	由于林木生长旺盛, 强烈蒸腾耗水, 导致根系层中出现相对干燥的层次, 降水和地下水又不能及时补充, 所以长期处于水分亏缺状态
	Pg 潜育化	当林地处于洼地、山谷涧地等排水不良的立地条件下时, 土壤经常处于过湿状态, 出现因 Fe、Mn 还原而生成的灰色斑纹层、或腐泥层、或青泥层、泥炭层, 土壤的生物活动较弱, 有机物矿化作用受抑制
C 化学性质恶化	Ca 酸化 ^[38,39]	土壤生物呼吸产生的碳酸和枯落物分解产生的有机酸使土壤变酸, 特别是针叶林地; 植物固氮作用带来的高氮环境导致强烈的硝化作用加速土壤酸化。此外, 由于环境污染引起的酸雨也加剧了森林土壤的酸化过程
	Cs 盐碱化	在土壤盐碱化容易发生的地段, 由于林分生长衰退, 根系吸水能力下降, 地下水位上升, 导致土壤发生再度盐碱化
	Cst 贫养化 ^[40,41]	由于林木和植物对养分的吸收大于归还、林地采伐或枯落物的清除、水土流失使得土壤养分输入小于输出时, 土壤养分出现亏损, 营养元素与有机质含量下降
	Cm 重金属污染	由于土壤酸化, 氢离子可以自发地与土壤中固相的铝化合物反应, 释放出等量的铝离子。同时, 土壤酸化使得锰、铬、镉等有毒重金属元素的活性增加
	Ct 土壤中毒 ^[15,22]	有些树木在其生长发育过程中, 叶子或根系等器官形成或向外分泌一些对自身或其他植物生长发育不利的化学物质, 使得土壤发生中毒
B 生物性质恶化	B 生物性质恶化 ^[42]	由于林分生长衰退、土壤环境恶化或某些有毒物质的积累, 导致土壤中的动物和微生物数量下降, 种类减少, 酶活性降低

1) E: 土壤侵蚀 Soil erosion; Ed: 表土剥蚀 Soil denudation; Es: 淤积或沙埋 Sediment deposition or sand burying; P: 物理性质恶化 Physical deterioration; Pc: 土壤板结 Crusted; Ps: 砂质化 Sandification; Pa: 旱化 Aridification; Pg: 潜育化 Gleization; C: 化学性质恶化 Chemical deterioration; Ca: 酸化 Acidification; Cs: 盐碱化 Salt alkalization; Cst: 贫养化 Sterilization; Cm: 重金属污染 Heavy metal pollution; Ct: 土壤中毒 Soil toxication; B: 生物性质恶化 Biological deterioration

3 土壤极化的判断

3.1 土壤极化指数模型

根据土壤极化的概念, 它是指土壤性质离开原来的平衡状态, 越来越不适宜于原有林木生长发育的非正常状态, 即土壤极化是相对于平衡状态的土壤而言的。那么, 要判断是否发生了土壤极化, 首先应该确定处于平衡状态的土壤性质。但是, 在自然界中, 由于人类活动的频繁, 很难找到尚未发生变化的绝对的平衡态, 所以, 所谓的平衡态只能是一种相对状态。对于人工纯林来讲, 它的平衡态可以是相同立地条件下的无林荒草地对照、生长发育正常土壤尚未发生极化的幼林或人类破坏较少的天然混交林等。

土壤极化的程度可以通过计算极化指数来做出判断, 极化指数模型如下:

(1) 单指标模型

$$E_i = 100\% \times (X_i - X_{i0}) / X_{i0} \quad (1)$$

式中, E_i 为待评土壤第 i 种性质的极化指数(%); X_i 、 X_{i0} 分别为待评和对照土壤第 i 种性质在某一时期内 (往往选择一年) 的测定指标平均值; $i = 1, 2, \dots, N$ 。

(2) 综合模型

$$E_a = \sum (|E_i| \times \rho_i) \quad E_r = \sum (E_i \times \rho_i) \quad (2)$$

式中, E_a 和 E_r 分别为待评土壤性质的绝对和相对综合极化指数(%); E_i 意义同前; ρ_i 为权重系数, 反映土壤第 i 种性质相对实现当前土地生产力的重要性。

ρ_i 可以通过偏相关分析获得, 计算公式如下:

$$\rho_i = |r_i| - \sum |r_i| \quad (r_i \text{ 为偏相关系数}) \quad (3)$$

当假定所有土壤性质相对实现当前土地生产力同等重要时 (或由于资料欠缺无法获得 ρ_i 时), 模型

(2) 便简化为:

$$E_a = \frac{1}{N} \sum (|E_i|) \quad E_r = \frac{1}{N} \sum E_i$$

(N 为指标总数) (4)

分析模型(2)和模型(4)可知,当 $E_a = E_r$ 时,所有土壤性质向同一方向极化,即要么正向,要么负向;当 $E_a > E_r$ 时,不同土壤性质向不同方向极化,即有的正向,有的负向,且当 $E_r > 0$ 时,土壤性质综合正向极化,当 $E_r < 0$ 时,土壤性质综合负向极化。

此外, $\max(|E_i| \times \rho)$ 反映了各项土壤性质的极化指数绝对值的相对最大值,代表了土壤性质极化的主要方向,所以是表征土壤性质极化的重要指标。

3.2 土壤极化标准与等级划分

根据极化指数(单指标或综合指数)的大小可以对土壤极化程度进行等级划分,如表2。需要指出,

表2 人工纯林土壤性质极化分级

Table 2 Gradation of soil polarization of artificial pure forest

分级 Grade	判断标准 Criteria	对林木生长的影响 Impact on forest
1 基本稳定 Conserve stable	$ E \leq 5\%$	林分稳定,林木生长发育正常
2 弱度极化 Light polarization	$5\% < E \leq 10\%$	林分基本稳定,但林木生长发育受到轻微影响
3 中度极化 Moderate polarization	$10\% < E \leq 15\%$	林分不再稳定,林木生长发育受到严重影响
4 强度极化 Strong polarization	$15\% < E $	林分衰退,林木生长发育受到严重限制

表3 陕西淳化人工刺槐纯林土壤性质极化指数分析(土壤层次 0~50 cm)

Table 3 Indexes of soil polarization of an artificial pure forest of black locust in Chunhua County, Shaanxi Province

土壤性质 Soil properties	5年生刺槐 F_5 5 years Black locust		24年生刺槐 F_{24} 24 years Black locust			荒草地对照 Control
	X_i	$E_i(\text{ck}) \%$	X_i	$E_i(\text{ck}) \%$	$E_i(F_5) \%$	X_{i0}
容重 Bulk density (g cm^{-3})	1.216	-3.57	1.184	-6.11	-2.63	1.261
团粒含量 ¹⁾ Content of aggregates (g kg^{-1})	232.5	-45.68	355.0	-17.06	52.69	428.0
含水量 Moisture (g kg^{-1})	82.4	-21.00	70.7	-32.21	-14.20	104.3
稳渗率 Infiltration (mm min^{-1})	0.72	18.03	0.88	44.26	22.22	0.61
有机质 Organic matter (g kg^{-1})	16.7	-23.74	18.2	-16.89	8.98	21.9
全氮 Total nitrogen (g kg^{-1})	2.42	98.36	1.31	7.38	-45.87	1.22
全磷 Total phosphorus (g kg^{-1})	0.54	-37.93	0.49	-43.68	-9.26	0.87
全钾 Total potassium (g kg^{-1})	18.46	1.93	16.26	-10.22	-11.92	18.11
CEC (mol kg^{-1})	14.39	-23.54	23.62	25.50	64.14	18.82
pH	8.0	2.56	8.4	7.69	5.00	7.8
$E_a^{2)}(\%)$		27.63		21.10	23.69	
$E_r^{3)}(\%)$		-3.46		-4.13	6.92	

1) 团粒含量指 1~5 mm 水稳性团粒 Aggregates mean aggregates 1~5 mm in particle size; 2) E_a : 绝对综合极化指数 Absolute comprehensive polarization index (%); 3) E_r : 相对综合极化指数 Relative comprehensive polarization index (%)

表2中判断标准的临界值的确定基本上是经验的,尚缺乏科学依据。因为不同树种对于土壤极化的忍受程度不同,那么临界值的确定因树而异。所以,准确的临界值确定需要针对具体树种,经过大量的调查和数据分析后得出,表2仅作为一种模式被提出。

4 刺槐人工纯林土壤极化分析

在黄土高原南部的残塬沟壑区,目前分布最广、数量最多的树种是刺槐,这些刺槐纯林大多是20世纪60~70年代营造的,仅陕西淳化、长武、永寿、旬邑、彬县、泾阳和三原等渭北地区就营造了0.95万 hm^2 的刺槐人工林。由于刺槐的萌生能力较强,所以一旦营造可以不断地采伐,让其自然萌生成林。然而,目前刺槐的生长状况却并不理想,在许多立地条件较差的地方刺槐多形成低产林,甚至为“小老头”林,年生长量不足 $1 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ 。而且在刺槐的生产实践中多采用短轮伐期萌生复壮的经营方式,这种方法虽能在一定程度上促进林地生产力的提高,但多代萌生以后林地生产力必然下降,而且也不利于培育大径阶的木材。

为了分析长期连续生长的刺槐纯林土壤性质演化规律与动态,根据对陕西淳化县英烈林场立地条件完全相同的5年生刺槐、24年生刺槐人工林和荒草地对照土壤各项指标的测定^[4],按照以上极化模型(1)和模型(4)计算了林地土壤性质的极化指数,见表3。

极化指数分析结果表明, 由荒草地—刺槐幼林(5 a)的发展过程中, 土壤性质发生综合强度极化, 绝对综合极化指数为 27.63%, 且不同性质极化方向不同, 导致土壤相对综合负向极化。在各项土壤性质中, 容重、pH 和全钾含量基本稳定; 稳渗率、全氮含量发生正向强度极化; 团粒含量、湿度、有机质含量、全磷含量和 CEC 均发生负向强度极化。

由刺槐幼林(5 a)—刺槐成熟林(24 a)的发展过程中, 土壤性质发生综合强度极化, 绝对综合极化指数为 23.69%, 且不同性质极化方向不同, 导致土壤相对综合正向极化。在各项土壤性质中, 容重和 pH 基本稳定; 有机质含量发生正向弱度极化; 全磷含量发生负向弱度极化; 湿度和全钾含量发生负向中度极化; 团粒含量、稳渗率和 CEC 发生正向强度极化; 全氮含量发生负向强度极化。

由上可见, 在由荒草地—刺槐幼林(5 a)—刺槐成熟林(24 a)的人工林生长发育过程中, 不同阶段土壤性质的极化方向和程度出现差异。如土壤有机质含量在荒草地—刺槐幼林(5 a)阶段为负向强度极化, 而在刺槐幼林(5 a)—刺槐成熟林(24 a)阶段为正向弱度极化; 全氮含量在荒草地—刺槐幼林(5 a)阶段发生正向强度极化, 而在刺槐幼林(5 a)—刺槐成熟林(24 a)阶段为负向强度极化。分析其原因, 与当地造林技术和刺槐生长发育规律有关。因为, 当地在刺槐造林时, 采用炼山后水平阶整地造林的方法, 由于整地时将大量的生土翻到了表层, 所以在刺槐幼林中土壤有机质含量会较之荒草地有明显的降低, 表现为负向强度极化, 但在此阶段, 由于经过整地后土壤有机质矿化分解速率加快, 土壤 N 含量迅速增加。在刺槐从幼林到成熟林的生长发育过程中, 由于林地枯落物的积累和分解, 土壤有机质含量逐渐增加, 所以表现出正向弱度极化; 而随着林木的生长, 对土壤 N 的吸收量远大于归还量, 所以土壤 N 出现逐渐亏损, 表现出负向强度极化。

此外, 从总的趋势来看, 在由荒草地—刺槐成熟林(24 a)的发展过程中, 土壤性质发生综合强度极化, 绝对综合极化指数为 21.10%, 但由于不同性质极化方向不同, 导致土壤相对综合负向极化。在各项土壤性质中, 容重发生负向弱度极化, 全氮含量和 pH 发生正向弱度极化; 全钾发生负向中度极化; 稳渗率和 CEC 发生正向强度极化; 团粒含量、湿度、有机质含量和全磷含量则发生负向强度极化。

综合以上分析表明, 陕西淳化县的刺槐人工林地土壤性质极化方向应属于旱化(Pa)兼贫养化

(Cst)类型。

5 讨 论

“土壤极化”是作者提出的新概念, 它能较好地解释包括农作物、蔬菜和树木在内的连栽障碍问题。因为连栽的后果不一定是养分的匮乏, 在某些情况下, 即使土壤养分含量较高, 林木仍然不能正常生长, 所以对森林尤其是人工纯林的土壤性质极化问题研究, 不论在理论上还是在实践中均具有非常重要的意义。本文尝试性地提出了人工纯林土壤性质极化的定义、极化指数模型、极化程度判断标准和极化类型的划分, 试图对人工纯林土壤退化问题予以进一步的理论阐述并提出定量化研究方法。由于土壤极化是一个非常复杂的过程, 包括土壤的物理、化学和生物等多方面性质的变化, 所以, 需要对土壤性质进行长期和全方位的定位跟踪监测。此外, 土壤极化是相对于平衡状态土壤而言的一种偏向发展趋势, 因此对于平衡状态土壤的认定和研究就显得十分重要。在土壤极化综合模型中, 权重系数是一个重要的参数, 因为同样的极化指数值对于不同树种和不同立地条件下的人工林而言可能具有不同的意义, 所以, 通过全面调研确定各项土壤因子对人工林实现当前生产力的偏相关程度或贡献率大小, 从而进一步确定不同指标的权重系数是综合考察土壤极化问题的关键。

参 考 文 献

- [1] 肖慈英, 阮宏华, 屠六邦. 宁镇山区不同森林土壤生物学特性的研究. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1 077~ 1 081. Xiao C Y, Ruan H H, Tu L B. Biological characteristics of different forest soils in Nanjing Zhenjiang mountain area (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1 077~ 1 081
- [2] 安韶山, 常庆瑞, 李璧成, 等. 不同林龄植被培肥改良土壤效益研究. 水土保持通报, 2001, 21(3): 22~ 27. An S S, Chang Q R, Li B C, et al. Benefits of different age forest vegetation on soil fertilization and amelioration (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(3): 22~ 27
- [3] 林德喜, 韩金发, 肖正秋, 等. 米老排对土壤理化性质的改良. 福建林学院学报, 2000, 20(1): 12~ 16. Lin D X, Han J F, Xiao Z Q, et al. Mytilaria laosensis improved on the soil physical and chemical properties (In Chinese). Journal of Fujian College of Forestry, 2000, 20(1): 12~ 16
- [4] 胡振宇, 王金锡, 彭培好, 等. 川中丘陵区防护林改良土壤作用研究. 四川林业科技, 2003, 24(3): 5~ 9. Hu Z Y, Wang J X, Peng P H, et al. Studies on soil amelioration of the protection forests in the hilly areas of central Sichuan (In Chinese). Journal of

- Sichuan Forestry Science and Technology, 2003, 24(3): 5~ 9
- [5] 史玉虎. 三峡库区端坊溪小流域防护林土壤改良效应研究. 环境科学与技术, 2000, 23(总第90期): 46~ 49. Shi Y H. Study on soil improvement of shelter forest in Duanfangxi valley within the Three Gorges Reservoir Area (In Chinese). Environmental Science and Technology, 2000, 23(90): 46~ 49
- [6] 夏汉平, 余清发, 张德强. 鼎湖山3种不同林型下的土壤酸度和养分含量差异及其季节动态变化特性. 生态学报, 1997, 17(6): 83~ 91. Xia H P, Yu Q F, Zhang D Q. The soil acidity and nutrient contents, and their characteristics of seasonal dynamic changes under 3 different forests of Dinghushan Nature Reserve (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(6): 83~ 91
- [7] Keeves A. Some evidence of loss of productivity with successive rotations of *Pinus radiata* in southeast of South Australia. Australian Forestry, 1996, 30(6): 51~ 63
- [8] 潘湘海, 朱晓青, 李永东, 等. 塞罕坝华北落叶松人工林土壤肥力的研究. 河北林业科技, 2001(6): 5~ 7. Pan X H, Zhu X Q, Li Y D, et al. Study on soil fertility of artificial forest of *Larix Principis Rupprechtii* in Saihanba (In Chinese). Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2001(6): 5~ 7
- [9] 杨茂生, 谢会成. 引种的华北落叶松人工林对土壤影响的研究. 西北林学院学报, 2002, 17(3): 35~ 37. Yang M S, Xie H C. Effect of introduced Larch forests on soil (In Chinese). Journal of Northwest Forestry College, 2002, 17(3): 35~ 37
- [10] 廖利平, 陈楚莹, 张家武, 等. 人工林生态系统持续发展的调控对策研究. 应用生态学报, 1996, 7(3): 225~ 229. Liao L P, Chen C Y, Zhang J W, et al. Regulating strategies to sustainable development of plantation ecosystems (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 1996, 7(3): 225~ 229
- [11] 余常兵, 陈防, 万开元. 杨树人工林营养及施肥研究进展. 西北林学院学报, 2004, 19(3): 67~ 71. Yu C B, Chen F, Wang K Y. Advances in the study of fertilization on poplar plantation (In Chinese). Journal of Northwest Forestry College, 2004, 19(3): 67~ 71
- [12] Joshil M, Bargali K, Bargali S S. Changes in physico-chemical properties and metabolic activity of soil in poplar plantations replacing natural broad leaved forests in Kumaun Himalaya. Journal of Arid Environments, 1997, 35(1): 161~ 169
- [13] 杜国坚, 张庆荣, 洪利兴, 等. 杉木连栽林地土壤微生物区系及其生化特性和理化性质的研究. 浙江林业科技, 1995, 15(5): 14~ 19. Du G J, Zhang Q R, Hong L X, et al. Study on soil microbiota and its biochemical properties and physical chemistry properties of *Cunninghamia lanceolata* succession cultivation stand (In Chinese). Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 1995, 15(5): 14~ 19
- [14] 阎德仁. 落叶松人工林土壤肥力与微生物含量的研究. 东北林业大学学报, 1996, 24(3): 46~ 50. Yan D R. Study on soil fertility and content of microbes in Larch plantations (In Chinese). Journal of Northeast Forestry University, 1996, 24(3): 46~ 50
- [15] 林思祖, 黄世国, 曹光球. 杉木自毒作用的研究. 应用生态学报, 1999, 10(6): 661~ 664. Lin S Z, Huang S G, Cao G Q. Autointoxication of Chinese fir (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(6): 661~ 664
- [16] 曹潘荣, 骆世明. 茶园的他感作用. 华南农业大学学报, 1994, 15(2): 129~ 133. Cao P R, Luo S M. Studies on allelopathy of tea plant *Camellia sinensis* (L.) Kuntze (In Chinese). Journal of South China Agricultural University, 1994, 15(2): 129~ 133
- [17] Rice E L. Allelopathy. 2nd Ed. Orlando: Academic Press, 1984. 422
- [18] Chur chou M. Effects of root residues on growth of *Pinus radiata* seedlings and a mycorrhizal fungus. Annals of Applied Biology, 1978, 90: 407~ 416
- [19] 骆世明, 林象联, 曾任森, 等. 华南农区典型植物的他感作用研究. 生态科学, 1995, 14(2): 114~ 128. Luo S M, Lin X L, Zeng R S, et al. Allelopathy of typical plants in agroecosystem of South China (In Chinese). Ecologic Science, 1995, 14(2): 114~ 128
- [20] 舒洪岚, 马晓玲. 杉木林地力退化及持续经营对策. 江西林业科技, 1999(1): 20~ 22. Shu H L, Ma X L. Land degeneration and sustainable management of forest of *Cunninghamia lanceolata* (In Chinese). Jiangxi Forestry Science and Technology, 1999(1): 20~ 22
- [21] 陈代喜, 莫泽莲. 人工林地力衰退研究进展. 广西林业科学, 2000, 29(3): 115~ 118. Chen D X, Mo Z L. Advances in the study on land degeneration of artificial forest (In Chinese). Guangxi Forestry Science, 2000, 29(3): 115~ 118
- [22] 马祥庆, 刘爱琴, 黄宝龙. 杉木人工林自毒作用研究. 南京林业大学学报, 2000, 24(1): 12~ 16. Ma X Q, Liu A Q, Huang B L. A study on self poisoning effects of Chinese fir plantation (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University, 2000, 24(1): 12~ 16
- [23] 黄付平, 蔡灿星, 黎向东. 马尾松叶、根等浸提液对其种子发芽及苗木生长的影响. 广西农业大学学报, 1995, 14(1): 65~ 68. Huang F P, Cai C X, Li X D. Effects of leaves and roots aqueous extracts of *Pinus massoniana* on its seed germination and seedling growth (In Chinese). Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science, 1995, 14(1): 65~ 68
- [24] 罗侠, 潘存德, 黄闻敏, 等. 天山云杉凋落物提取液对种子萌发和幼苗生长的自毒作用. 新疆农业科学, 2006, 43(1): 1~ 5. Luo X, Pan C D, Huang M M, et al. Autotoxicity of *Picea schrenkiana* litter aqueous extracts on seed germination and seedling growth (In Chinese). Xinjiang Agricultural Sciences, 2006, 43(1): 1~ 5
- [25] 朱守谦, 朱军. 人工林地力衰退的原因及解决的对策. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 31~ 36. Zhu S Q, Zhu J. Causes of forest depletion and preventive strategies (In Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1992. 31~ 36
- [26] 林业部科技司编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994. 73~ 192. Department of Science and Technology, Ministry of Forestry. ed. Long-term Research on China's Forest Ecosystem (In Chinese). Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 73~ 192
- [27] 刘增文, 强虹. 森林生态系统养分循环研究中若干问题讨论. 南京林业大学学报, 2002, 26(4): 27~ 30. Liu Z W, Qiang H.

- Discussion on the problems in the research of nutrient cycle in forest ecosystem (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University, 2002, 26(4): 27~ 30
- [28] 崔国发. 人工林地力衰退机理及其防止对策. 世界林业研究, 1996, 9(5): 61~ 68. Cui G F. Depletion mechanism of forest plantation productivity and preventive strategy (In Chinese). World Forestry Research, 1996, 9(5): 61~ 68
- [29] 马祥庆, 黄宝龙. 人工林地力衰退研究综述. 南京林业大学学报, 1997, 21(2): 77~ 82. Ma X Q, Huang B L. Advance in research on site productivity decline of timber plantations (In Chinese). Journal of Nanjing Forestry University, 1997, 21(2): 77~ 82
- [30] 孙长忠, 沈国防. 我国人工林生产力问题的研究(I) — 影响我国人工林生产力的自然因素评价. 林业科学, 2001, 37(3): 72~ 77. Sun C Z, Shen G F. Study on the problems of forest plantation productivity of China (I) — To probe into the natural factors of influencing the plantation productivity (In Chinese). Scientia Silvae Sinica, 2001, 37(3): 72~ 77
- [31] 宗良纲, 陆丽君, 罗敏, 等. 茶园土壤酸化对氟的影响及茶叶氟安全限量的探讨. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 102~ 105. Zong L G, Lu L J, Luo M, *et al.* Effects of soil acidification by tea plantation on fluoride and discussion of safety level of tea fluoride (In Chinese). Journal of Safety and Environment, 2006, 6(1): 102~ 105
- [32] 吴晓玲, 周宝利, 侯永侠. 连作、轮作对辣椒不同品种生育和土壤肥力、微生物种群的影响. 辽宁农业科学, 2006(2): 25~ 29. Wu X L, Zhou B L, Hou Y X. Influences of continuous and rotational cropping on growth, soil fertility and microbial communities of different varieties of pimiento (In Chinese). Liaoning Agricultural Sciences, 2006(2): 25~ 29
- [33] 吕卫光, 余廷园, 诸海涛, 等. 黄瓜连作对土壤理化性状及生物活性的影响研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 125~ 127. Lu W G, Yu T Y, Zhu H T, *et al.* Effects of cucumber continuous cropping on the soil physicochemical characters and biological activities (In Chinese). Chinese Journal of Eco Agriculture, 2006, 14(2): 125~ 127
- [34] 王新珠. 保护地蔬菜连作障碍成因及其防治. 中国农村小康科技, 2006(4): 40~ 41. Wang X Z. Causes of continuous cropping obstacle and its control of protective vegetable field (In Chinese). Chinese Countryside Well off Technology, 2006(4): 40~ 41
- [35] 方代有. 论粤西退化桉树林地的水土保持生态修复. 亚热带水土保持, 2005, 17(3): 22~ 25. Fang D Y. Ecological restoration of degraded forest of *Eucalyptus globules* in Western Guangdong (In Chinese). Subtropical Soil and Water Conservation, 2005, 17(3): 22~ 25
- [36] 侯庆春. 黄土高原人工林地和草地土壤干层初步研究. 中国水土保持, 1999, 5(5): 11~ 13. Hou Q C. Preliminary study on dry layer of soil of artificial forestland and grassland in Loess Plateau (In Chinese). Soil and Water Conservation in China, 1999, 5(5): 11~ 13
- [37] 焦峰, 温仲明, 焦菊英. 黄土丘陵区人工小叶杨生长空间差异及其土壤水分效应. 西北植物学报, 2005, 25(7): 1303~ 1308. Jiao F, Wen Z M, Jiao J Y. Spatial growth differences of planted *Populus simonii* and their ecological effects on soil moisture in hilly Loess regions (In Chinese). Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2005, 25(7): 1303~ 1308
- [38] 唐鸿寿. 土壤酸化对油松生长的影响. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1): 21~ 23. Tang H S. Effect of soil acidification on Chinese pine growth (In Chinese). Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2001, 7(1): 21~ 23
- [39] 吴云, 杨剑虹, 魏朝富. 重庆茶园土壤酸化及肥力特征的研究. 土壤通报, 2004, 35(6): 715~ 719. Wu Y, Yang J H, Wei C F. Chongqing tea garden soil acidification and fertility characters (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35(6): 715~ 719
- [40] 庞学勇, 刘庆, 刘世全. 川西亚高山云杉人工林土壤质量性状演变. 生态学报, 2004, 24(2): 261~ 266. Pang X Y, Liu Q, Liu S Q. Changes of soil fertility quality properties under subalpine spruce plantation in Western Sichuan (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2): 261~ 266
- [41] 吴生广. 辽宁西部半干旱地区油松纯林改造的研究. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(3): 320~ 323. Wu S G. Study on reforestation of Chinese pine pure forest in western area of Liaoning (In Chinese). Journal of Shenyang Agricultural University, 2005, 36(3): 320~ 323
- [42] 张柏习, 孟鹏. 辽宁省沙地樟子松人工纯林地力衰退与持续发展的对策. 防护林科技, 2005(3): 86~ 89. Zhang B X, Meng P. Strategies to soil degradation and sustainable development of artificial forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* in Liaoning Province (In Chinese). Protection Forest Science and Technology, 2005(3): 86~ 89
- [43] 刘增文, 李雅素. 黄土高原残塬沟壑区刺槐人工林生态系统养分循环与平衡. 生态学报, 1999, 19(5): 630~ 634. Liu Z W, Li Y S. Nutrient cycling and balance analysis of blacklocust forest ecosystem in gullied Loess Plateau area (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 630~ 634

A NEW CONCEPT: SOIL POLARIZATION IN PLANTED PURE FOREST

Liu Zengwen Duan Erjun Fu Gang Cui Fangfang Gao Wenjun

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract A new concept of soil polarization was presented and defined as the non equilibrium or polarizing tendency of soil development that deviated from its original status of equilibrium due to long-term or continuous growth of the same single specie of trees, which was thought to be the fundamental obstacle to continuous growing of planted pure forest. Based on this principle, both single and comprehensive index models were established, and criteria for gradation and a system for classification of soil polarization were also planned out. In addition, these models were applied to a case study of planted pure forest of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in a gullied area, south in the Loess Plateau. Results show that the soil therein falls in the polarization category of aridification plus sterilization.

Key words Artificial forest; Soil degradation; Soil polarization; Obstacle to continuous planting