

晚近北美森林土壤研究动态

罗 汝 英

(南京林业大学, 南京 210037)

摘 要 本文综合介绍了北美森林土壤晚近的主要研究方向、苗头、新趋势以及研究方法技术的发展等情况, 并与中国森林土壤学研究作了相互比较。

关键词 森林; 土壤; 林业; 北美

中图分类号 S714

森林土壤是土壤学与林学交叉的分支学科, 目前国外在这个领域的研究工作, 以北美(特别是美国和加拿大)、北欧、西欧以及澳大利亚等地区发展最快。例如: 以80年代后期英国《林业文摘》所载的有关文献作不完全统计, 可见北美的研究成果约占总数的1/3^[1]。本文就笔者出访见闻及近年的文献资料, 对北美地区森林土壤晚近的研究动态作一简略介绍。

1 晚近的主要研究方向

北美的森林土壤学家每隔4 a举行1次大会, 进行学术交流。1988年夏季在加拿大温哥华举行了第7届大会, 主题是“林地的持续生产力”, 列入大会报告的论文中, 就有一半是讨论林地生产力的现状和前景、评估方法、影响因子及营林措施的效应等问题。与前几届大会的主题相比, 显示从过去那种一般地研究森林与土壤的关系, 发展到着重探讨林业集约化进程中维持、培养地力的问题^[2]。从其他来源的文献资料来看, 研究者所关注的森林土壤问题, 也有相当大的部分与此有关。这种状况表明, 北美森林土壤研究工作是比林业实际经营水平先走一步。

1.1 森林凋落物和森林腐殖质

这是1个最古老的森林土壤学课题, 可以追溯到1878年德国 Ebermayer 的研究, 但至今仍是1个热门项目。这是因为, 维持和培养地力的焦点之一仍是森林凋落物和森林腐殖质的数量、品质和动态, 以及不同林分 and 不同营林措施对这些方面的影响。以1987年的 *Forestry Abstracts* 第48卷为例, 其中刊登的北美森林土壤文献, 约有12%是有关这方面的研究。总的来说, 近年来北美森林土壤学家对凋落物或森林腐殖质类型的兴趣减少了, 主攻的方向是在凋落物的分解速率和养分释放情况。McClaugherty 等指出, 简单的负指数模型不适用于说明长期分解过程^[3]; Fyles 等认为, 在多数情况下, 包含两项的指数方程比单项式更能说明问题^[4]。Shure 和 Bockheim 等的研究都指出, 在凋落物分解过程中, 氮和钙大部分会重

收稿日期: 1992-10-28

新转变为不可动状态,累积于森林腐殖质层内^[6,9]。凋落物中木质部分对分解过程的影响也受到了更多的注意。Edmonds 的研究表明,初始的木质素/氮比率对云杉、铁杉、花旗松及桉木等凋落物的分解速率有重要影响,针叶树木质组织中的氮在分解过程中最易重新转化为不可动状态,而 C/N 比小的桉木凋落物则否^[7]。近年来,研究者开始注意根凋落物动态。Joslin 报道,在105年生的美国白栎林分中,直径小于 5 mm 的细根,其周转率占全部根凋落物总生物量的30%,氮、磷、钾、钙、镁贮量的20%~40%,对养分循环也起重要贡献^[8]。此外,森林腐殖质的络合能力也继续受到关注,因为它与养分迁移和释放有密切关系。McColl 对渗漏水的监测表明,其中的铝是与低分子有机酸及多元酚络合的^[9]。林业措施对凋落物的影响也是受到注意的课题,在第7届北美森林土壤学大会的报告中,就约有1/10涉及这方面^[1]。

1.2 林分与土壤的养分循环

作为了解森林土壤生产力演变的1个重要手段,森林生态系统养分循环的定位研究日益受到重视。自60年代开始形成全球性试验网以来,得出了一系列成果,近年来这项研究仍在持续发展。例如,Johnson 等报道,美国橡树岭实验室20 a 以上的定位观测表明,在阔叶混交林下,土壤表下层的交换性钙、镁都明显降低,钙的降低可归因于它在栎类和山核桃属木质组织中的大量积累,而镁则可能是因淋溶而损失,特别是近年来大量硫在土壤中的沉积,更加速了镁的淋溶;但是,全碳,全氮,速效磷和交换性钾却没有连贯性的升降变化^[10]。Bormann 在加拿大的1次学术讲座上介绍了美国 Yale 大学的定位试验成果,其中提及,经过胡桃林生态系统的水样比较,发现溪流水样中只有 Ca^{2+} , K^+ , Na^+ 浓度比雨水中为高,其他主要营养元素似乎都没有输出;采伐迹地用除莠剂抑制植被恢复时,由于林褥层分解,溪流中除 Ca^{2+} , K^+ 浓度增高外,还出现较多的 NO_3^- ,直到新一代阔叶林生长10 a 后,溪水中各元素含量才恢复到原来水平,而在薄层土上的云杉林,生长20 a 后溪水中各元素浓度仍未恢复到原来的较低水平。

在养分循环研究中最受注意的元素仍是氮,而且有许多研究工作是用数学模型来表达的,有些研究涉及混交对氮循环的影响。Côte 等报告,在加拿大魁北克的杂交杨与欧洲桉木混交的林分下,后一树种能固氮并使之归还土壤,从而成为前一树种的重要氮源^[11]。对于氮循环中的硝化和反硝化等环节,也有较多的报告。Mladenoff 报道林中空地土壤的硝化率为加拿大铁杉林冠下土壤的两倍以上,但对于糖槭林,空地与林冠下的情况差别不大^[12]。Zak 等指出,林分中的物种组成对森林凋落物的硝化率有较大影响,植物种繁多的糖槭-椴木林下硝化率最高,而植物种简单的美国黑栎-美国白栎林下,几乎不发生硝化作用^[13]。还有些研究者指出,湿润土壤最易发生硝化作用,而皆伐也会激发这个过程^[1,2]。

在养分循环研究中,对于磷、钾的工作较少,这是北美森林土壤学的1个薄弱环节。

1.3 林业措施对土壤性状和生产力的影响

在第7届北美森林土壤学大会的报告中,约有1/5是涉及施肥及其他林业措施的效应^[2]。在近年的 *Forestry Abstracts* 中,这方面(特别是施肥)的数量也相当多^[1]。这些工作主要是集中在施肥、整地、混交、皆伐和焚烧等对土壤的效应上。北美的林木施肥研究工作,过去长期落后于欧洲(特别是北欧)和日本的进展,但近年来急起直追,有迎头赶上的势头。北美的林木施肥试验重点是在氮肥,也注意到长效肥料和“三废”利用。试验的树种主要是松、花

旗松、云杉、冷杉、栎、胡桃、槭及杨等，从幼林到老龄林都有，使用的肥料以尿素、硝酸铵为主，有时也以磷、钾肥配合。多数报告说氮有显著肥效，但也有一些报告说氮肥效果不显著^[14]。同时，有相当一部分配合施磷，钾的试验显示这两种元素无显著肥效。后一情况与我国南方林区的一些试验结果完全不同。

此外，焚烧是 1 个争论较多的项目，虽然有些报告说焚烧可增加土壤有效养分的供应量，但若干长期观测结果表明，以焚烧废材小区与未焚烧的小区相比，两者花旗松林分的生长并无显著差异，从而说明焚烧并无长期效应^[15,16]。也有一些研究者注意到采伐、整地、焚烧、间伐等措施导致土壤生产力下降的问题及其相应对策^[17]。

1.4 森林土壤的酸化趋势

虽然北美森林土壤学者尚未直接接触及连栽对土壤肥力及其后续林分的影响问题，但无疑他们已注意到森林引致土壤酸化的可能性。Brand 等通过对 20 片针叶人工林分的定位观测后指出，从 1938 年到 1984 年，46 a 间土壤 pH 平均降低 0.86 单位，但变幅因树种而异：欧洲赤松、班克松林下的土壤 pH 无变化，脂松林下的降低 0.70 单位，白云杉林下的甚至下降 1.30 单位^[18]。Mahendrappa 也指出，同一树种（黑云杉）的林分下，土壤的酸化程度受地位级和采伐强度的制约，立地质量较好、采伐时保留枝叶和采剩物者，土壤的酸化过程可缓和^[19]。

1.5 森林土壤物理性状

森林土壤学研究本来发轫于物理性状方面，但晚近北美在森林土壤物理性状研究方面投入的力量及成果，远远少于化学性状方面。例如：在第 7 届北美森林土壤学大会的论文中，涉及物理性状的仅占 8% 左右。总的来说，北美森林土壤文献中有关物理性状的，主要还是在土壤水势（或势强）与苗木生长的关系上，至于林分与土壤的水分关系，则主要是在生态系统水文循环方面，直接涉及土壤水势（或势强）对生长的效应以及土壤水分动态方面的工作都很少。此外，在土壤容重、含石量与林木生长关系方面，也只有少量的工作成果。

2 值得注意的苗头和动向

在晚近北美森林土壤学文献中，有一些课题目前虽还处在启动阶段或成果尚少，但可能有重要意义或发展前景，值得注意。

2.1 土壤铝的营养功能与毒性

尽管在 70 年代的文献中曾报道许多树种（包括大部分热带树种以及温带的山核桃、栎、松、铁杉等属）体内能大量累积铝，但晚近 Hutchinson 等的砂培试验结果表明，供试幼苗对溶液中的铝浓度反应各不相同。美国红果云杉和白云杉苗在 Al^{3+} 达到 5 mg/L 时生长就受到抑制，而黑云杉苗要到 >20 mg/L 时才达到同等的抑制程度；反之，在 Al^{3+} 浓度达到 5~20 mg/L 时，对北美乔松幼苗生长有促进作用，并且后者对更高浓度的 Al^{3+} 仍有很强的耐力^[20]。Arp 等的研究证实，黑云杉苗吸铝量与解质中的 Al^{3+} 浓度成正比，并且在根组织中铝与磷的累积量也成正比^[21]，但 Hutchinson 等报告说，在黑云杉、白云杉、北美乔松、班克松等苗木新梢中，铝与磷的浓度成反比^[20]。这证明体内吸入的铝妨碍磷的移动，使之沉积于根部。Thornton 等指出，营养液中 Al^{3+} 浓度 >600 μ mol/L 时，糖槭幼苗生长便呈指数曲线形下降。主要原因是铝降低了幼苗体内钙的含量。他们报道，新展叶中铝毒性的临

界浓度(降低干物质20%)为 $137 \mu\text{g/g}$ ^[22]。此外,他们对红果云杉苗的水培试验也得出近似的结果,溶液中的 Al^{3+} 可抑制根系生长,并降低植物组织中各种营养离子的含量^[23]。对于成林, Radwan 等在天然林地的调查分析也证实,北美乔柏的立地指数与叶中铝浓度呈负相关^[24]。

2.2 树木和土壤中的固氮作用

在这个领域中最值得注意的,首先是森林土壤中活跃的非共生固氮作用。Grant 等用乙炔还原法确定,无论是在火炬松林抑或栎林(美国红栎、美国白栎、美国黑栎为主)下,土壤都有显著的非共生固氮作用,其数量与降水输入及其他循环途径输入的氮无关^[25]。Jurgensen 等用乙炔还原法证实,在落矶山脉的针叶林下,木质残屑分解过程中也发生明显的非共生固氮作用,年固氮率为 $0.16 \sim 1.50 \text{ kg/hm}^2$ 。特别是在有大量木质残余物的过熟林下,这种作用更为显著^[26]。另1种值得注意的苗头是树木组织的固氮作用。Kamp 的研究表明,在美洲黑杨树干截面上,从与边材接界的湿心材区取活组织样品,也能用乙炔还原法检出组织内的固氮量(最大值达 5.16 nmol/g)^[27]。在此之前,70年代 Youngberg 等就已指出,一些树种通过叶瘤或在叶面上生存的细菌,也可以起固氮作用^[28]。

所有这些途径,都可能对增加森林生态系统中的氮输入作出重要贡献。所以即使是无根瘤的树种,仍能对增加土壤氮量起重要作用。McClurkin 早已指出这种现象。他报告说,在黄土母质发育的贫瘠土壤上,人工营造的铅笔柏、火炬松和短叶松等林分生长15 a后,土壤表层有机质含量为造林前的1.2~1.3倍,而全氮量为1.8~2.5倍,后者的增加率远较前者为大。这个结果说明,即使是营造针叶林,也能使土壤的含氮量明显增高^[29]。

2.3 工业废料在林地上的施用

这个课题晚近在北美较受注意,主要是在造纸工业废料和有机垃圾等方面。Well 等的试验表明,对9年生和28年生火炬松林地分别施入浆状或固态的造纸厂废料(含氮7%),可促进林木生长^[30]。Cole 等对60年生花旗松林施用城市有机垃圾 142 t/hm^2 ,使材积生长在6 a间增加40%~50%^[31]。Urie 等综述了北美大湖地区林地施用造纸废水废渣的试验结果,认为这方面同时兼有环境上和经济上的效益^[32]。

3 研究方法技术的发展

3.1 数学模型的应用

例如, Dissmeyer 等建立了一系列评估森林土壤资源管理经济效益的数学模型,其中的因子有适生树种、集材方式及与此有关的土壤紧实度、整地措施,等等^[33]。又如, Binkley 用火炬松氮循环的数据对现成的 FORNUTS(简明模型)和 FORCYTE(复杂模型)进行检验,认为各有优缺点,而后者更适于处理研究数据^[34]。Paster 提出了1个模型,用来说明在一定地理范围内生态系统的碳、氮循环对土壤性状的反馈及其与育林的关系^[35]。Good 等利用洋白蜡树苗根面上的各种金属离子组成的数据集,构成1个判别模型,用于指示土壤的水湿程度^[36]。

3.2 新仪器新技术的引入

例如:用连续自动比色分析仪测定土壤有效养分浓度,用等离子体光谱仪分析土壤中各

种无机元素含量等, 已形成森林土壤化验室的一套高效的常规分析技术。用核磁共振仪分析森林土壤有机质的水溶性组分、土壤¹⁵N丰度、某些磷化合物、粘土矿物的化学性质等, 也得到一定范围的应用^[37]。在土壤物理测定方面, Burger等制成了1种用于测定育苗容器内土壤湿度的电子张力计, 它带有1个压力传感器, 感应范围6.8~196.0 kPa, 反应速度10~20 s^[38]; Froehlich等用单探管式张力计测定西黄松和扭叶松林土壤的容重, 效果也很好^[39]。在研究不同立地和土壤类型上特定树种的生长曲线时, 采用TRIM测量系统, 即通过光电扫描木材回盘的办法代替目测计数, 并以微机记录和处理扫描结果, 迅速地直接描出生长曲线。对于测量苗木的株高、冠幅、根长、根幅、地径等项目, 也有人使用了光电扫描加微机处理的检测装置, 大幅度提高了工作效率和精度。

3.3 传统的养分检测技术的改进

在树木组织分析方面, 已作了许多改进, 使之更有效地说明问题。例如: Cotrufo等研究土壤氮供给水平在火炬松针叶上的反映时, 发现针叶和小枝中的水溶性氮和精氨酸态氮的浓度比全氮量更为有用^[40]。农业上过去常用的Nauber幼苗法, 是用密植的麦苗所摄取的养分总量, 来指示土壤各种养分的有效量, 晚近Munson和Timmer等用黑云杉幼苗代替麦苗, 在林地和盆栽条件下检测其从土壤中摄取的氮量, 并查明这个数值常与林褥层全氮量密切相关, 建议以此作为土壤有效氮水平的指标^[41]。Blinn等研究火炬松越冬针叶颜色作为养分水平指标的可能性, 结合针叶养分分析数据, 证明门赛尔色卡可作为半定量标准。因为针叶氮、磷、镁水平与色调呈正相关, 而与色值和色阶均呈反相关关系^[42]。这种比色标准, 比使用彩色照片要准确得多。

4 结语

综上所述, 北美森林土壤工作者的学术活动相当活跃, 他们的研究经费较充足, 设备条件较好, 实验技术水平也较高, 在森林土壤研究领域特别是森林腐殖质、养分状况及其他一些化学性质研究方面, 有较大的发展。在定位试验、数学模型应用等领域, 研究工作都比较深入和系统化, 并且也抓住了一些新苗头。但是, 北美的林业毕竟是以粗放经营为主, 所以研究工作虽已走在生产前面, 但指导思想仍不免受现阶段粗放经营水平的影响, 因而反映集约林业土壤问题的文献还不丰富, 也不够深入。例如: 在连栽对肥力的影响及其反馈、养分存在状态及其有效性、丰产林土壤指标、种子园耕作施肥、农林间作的土壤问题等方面的研究, 就不如我国。此外, 北美森林土壤工作的重点在温带森林土壤, 对亚热带、热带森林土壤的研究很少, 特别是对土壤磷状态及磷肥的研究更为欠缺, 在这方面更是远不如中国森林土壤学者的工作成果。但是, 在另一方面, 尽管热带、亚热带土壤中铝的问题更为突出, 而北美对铝营养和铝毒问题的重视程度却超过我国学者。这个问题应引起我们足够的注意。

参 考 文 献

- 1 For Abs, 1987~1990
- 2 Univ Brit Columbia. Abs Inv Pap Pos 7th Nor Amer For Soil Conf, 1988
- 3 McClaugherty C A. Rapp Inst Ekol Milj Sver Landbr, 1986, (26): 155~163
- 4 Fyles J W et al. Can J For Res, 1987, 17(2): 109~114
- 5 Shure D J et al. Amer Mid Nat, 1986, 115(2): 314~327

- 6 Bockheim J G et al. *Plant Soil*, 1986, 96(3), 393~406
- 7 Edmonds R L. *Can J For Res*, 1987, 17(6), 499~509
- 8 Joslin J D et al. *For Sci*, 1987, 33(2), 330~346
- 9 McColl J G et al. *Abs Inv Pap Pos 7th Nor Amer For Soil Conf*, 1988, 13
- 10 Johnson D W et al. *Ibid*, 1988, 11
- 11 Côte B et al. *Plant Soil*, 1985, 87(1), 195~208
- 12 Mladenoff D J. *Ecol USA*, 1987, 68(5), 1171~1180
- 13 Zak D R et al. *Can J For Res*, 1986, 16(6), 1258~1263
- 14 Miller R E et al. *Can J For Res*, 1986, 16(5), 910~917
- 15 Curran M P et al. *Abs Inv Pap Pos 7th Nor Amer For Soil Conf*, 1988, 25
- 16 Miller R E et al. *Ibid*, 1988, 26
- 17 Walmsley M E et al. *Ibid*, 1988, 52
- 18 Brand D G et al. *Can J For Res*, 1986, 16(6), 1389~1391
- 19 Mahendrappa M K. *Rapp Inst Ekol Milj Sevr Landbr*, 1986, (26), 165~171
- 20 Hutchinson T C et al. *Water Air Soil Pollu*, 1986, 31(1~2), 283~294
- 21 Arp P A et al. *Ibid*, 1986, 31(1~2), 367~375
- 22 Thornton F C et al. *Can J For Res*, 1986, 16(5), 892~896
- 23 Thornton F C et al. *Envi Exper Bot*, 1987, 27(4), 489~498
- 24 Radwan M A et al. *Can J For Res*, 1986, 16(5), 1069~1075
- 25 Grant D et al. *For Sci*, 1987, 33(2), 548~551
- 26 Jurgensen M F et al. *Can J For Res*, 1987, 17(10), 1283~1288
- 27 Kamp B J. *Can J For Res*, 1986, 16(5), 1118~1120
- 28 Youngberg C T et al. *Tree Growth and Forest Soil*. Salem: Oregon Univ Press, 1970, 383~395
- 29 McClurkin D C. *Ibid*, 1970, 339~346
- 30 Well C G et al. *Proc Tech Assoc Pulp Pap Ind 1984 Res Devel Conf*. USA: TAPPI Press, 1984, 85~94
- 31 Cole D W et al. *Ibid*, 1984, 77~84
- 32 Urie D H et al. *Ibid*, 1984, 101~110
- 33 Dissmeyer G E et al. *Abs Inv Pap Pos 7th Nor Amer For Conf*, 1988, 29
- 34 Binkley D. *Rapp Inst Ekol Milj Sver Landbr*, 1986, (26), 85~93
- 35 Pastor J. *Ibid*, 1986, 131~140
- 36 Good B J et al. *Soil sci Soc Amer J*, 1986, 50(6), 1570~1575
- 37 Preston C M. *Abs Inv Pap Pos 7th Nor Amer For Soil Conf*, 1988, 44
- 38 Burgee D W et al. *Hort Sci*, 1987, 22(2), 309~310
- 39 Froehlich H A et al. *For Ecol Mgt*, 1986, 15(4), 285~294
- 40 Cortrufo C et al. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1984, 15(11), 1391~1407
- 41 Munson A D et al. *Abs Inv Pap Pos 7th Nor Amer For Soil Conf*, 1988, 43
- 42 Blinn C R et al. *J For*, 1987, 85(5), 48~49

Luo Ruying (Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, PRC). **Recent Developments in Forest Soil Researches of North America.** *J Zhejiang For Coll*, 1993, 10(2): 203~208

Abstract: This paper deals with a review on the developments of the main research fields, the new problems and trends, and the technology of forest soils in North America. It also gives a short comparison to the related researches in China.

Key words: forests; soils; forestry; North America