



李雅,卢杰.森林凋落物特性及其输入对土壤碳库的影响[J].黑龙江农业科学,2023(8):134-138,148.

森林凋落物特性及其输入对土壤碳库的影响

李雅,卢杰

(西藏农牧学院 高原生态研究所/西藏高原森林生态教育部重点实验室/西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站/西藏自治区高寒植被生态安全重点实验室, 西藏 林芝 860000)

摘要:森林凋落物是陆地生态系统的重要组成部分,它影响土壤有机质的形成,植物养分的供应,以及土壤碳的吸收和储存。通过对相关文献的查阅,从凋落物量动态、凋落物分解,以及凋落物持水性等方面分析了森林凋落物的特性。其中凋落物分解受到很多因素的影响,如气候、凋落物质量及土壤动物等因素。通过整理相关研究成果,综述了森林凋落物输入不同处理对土壤团聚体以及土壤有机碳储量的影响。

关键词:森林凋落物;土壤团聚体;土壤有机碳

森林凋落物是指由植物地上部分产生并归还回地表的所有有机质的总称,通常由落叶、落枝、植物繁殖器官等部分组成,在促进森林生态系统物质循环等方面发挥着重要作用^[1]。国际上对森林凋落物的研究已经从凋落物的特征,逐渐深入到凋落物的生态功能上,如对土壤肥力以及植物生长等方面的影响^[2]。此外,森林生态系统是陆地生物圈的主体,它不但自身维持着大量的碳库,而且还维持着庞大的土壤碳库^[3]。土壤团聚是指大小不一的团聚体借助不同有机物质和无机物质结合在一起的过程,主要包括形成和稳定的过程。土壤团聚体的形成涉及诸多过程,涵盖物理方面、化学方面和生物方面^[4]。土壤有机碳是由动植物和微生物的残体、排泄物、分泌物、部分分解产物和土壤腐殖质等组成的一个复杂有机复合体,其动态变化主要依赖于碳源的输入和输出,尤其与碳源物质在土壤中的分解、转化密切相关^[5]。

全球气候变化可引起植物生产力发生变化,从而引起凋落物输入量发生变化^[6],进而对土壤有机碳的动态造成影响^[7]。在森林生态系统中,通过去除凋落物和添加凋落物等不同处理,从而改变凋落物的输入来研究凋落物输入不同处理对土壤有机碳和土壤团聚体的影响^[8-9]。本文主要以森林凋落物量动态、凋落物分解、凋落物持水

性,以及凋落物输入对土壤团聚体和土壤有机碳储量的影响为着手点,查阅文献资料,综合探讨了森林凋落物特性及其输入对土壤碳库的影响,以期对森林凋落物的充分利用和森林养护提供参考。

1 森林凋落物特性

德国学者 Ebermayer 最早开始有关森林凋落物的研究,随后,国内外很多学者开展相关研究。主要从森林凋落物的凋落量动态、森林凋落物分解的影响因素以及森林凋落物持水性等方面开展研究。

1.1 凋落量动态

森林凋落量是指单位时间、单位面积的森林地段上所有森林凋落物的总量^[10]。森林凋落量主要受到生物因素和非生物因素的影响。生物因素主要包括森林类型、森林发育状况、林分密度以及树种的生物学特性等,非生物因素主要包括海拔、温度、纬度、降雨量等^[11]。Cserešnyes 等^[12]研究了林龄对匈牙利白云岩丘陵上人工林凋落物数量的影响,通过研究发现累积凋落物总量首先随着林分年龄显著增加,在 61~80 a 林龄级达到最大值,然后在最老的林分中显著减少,而在超过 80 a 林龄的林分中凋落物减少的原因可能是生产力下降所造成的。王启其^[13]对杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林凋落物量进行了监测,发现杉木人工林总凋落物量表现出明显的季节动态。由于该实验所在地受台风影响较大,在 2 月、5 月和 7 月雨水较多,可能是造成月凋落物动态出现三峰型的原因。徐旺明等^[14]对亚热带 4 种类型森林的凋落物量进行调查,发现 4 种森林类型凋落物量

收稿日期:2023-03-24

基金项目:科技部国家野外科学观测站(生态系统)运行补助项目(2021-2025);西藏高原森林生态教育部重点实验室研究生创新计划项目(XZA-JYBSYS-2023-20)。

第一作者:李雅(1998—),女,硕士研究生,从事森林生态学研究。E-mail:2462741565@qq.com。

通信作者:卢杰(1973—),男,博士,教授,博导,从事森林生态学的研究与教学工作。E-mail:tibetlj@163.com。

大小排序为樟树(*Cinnamomum camphora*)-马尾松(*Pinus massoniana*)混交林>枫香(*Liquidambar formosana*)林>马尾松林>樟树林。因此,森林凋落物量与森林类型关系密切。Wang 等^[15]调查了有关纯杉木林和次生阔叶林凋落物产量等相关内容,发现两种森林的凋落物总量都遵循双峰分布模式,凋落物量也与两种森林的气温有关,两种森林的凋落物都有明显的季节性。在调查期间,纯杉木林凋落物总量的年变化显著高于次生阔叶林。

1.2 凋落物分解

凋落物分解过程是森林生态系统物质循环和能量流动的关键环节,是有效养分回归土壤的方式之一,直接影响森林初级生产力水平甚至生态系统可持续发展^[16]。影响凋落物分解的因素复杂多样,而控制凋落物分解速率的主要因素是气候、凋落物质量和土壤动物等。

1.2.1 气候 凋落物分解作用的控制机理涵盖了物理、化学和生物环境过程,相互作用较为复杂,凋落物分解的外在环境起到了主要作用,特别是气候因子等因素^[17]。如升温 and 降水量的合理分配可以提高凋落物分解速率,促进碳排放^[18]。此外,有不少学者证明凋落物的分解速率受温度影响更大,气温和降水量越高,凋落物的分解速率越快,因此凋落物在土壤中累积的数量越少^[19]。

Wu^[20]在中国东北地区进行了积雪深度操纵试验,以评估积雪深度对红松(*Pinus koraiensis*)和蒙古栎(*Quercus mongolica*)落叶层分解可能产生的短期和长期的影响。发现加雪处理显著降低了凋落物 C/N 和木质素/N 比率并加速了凋落物质量损失,而除雪处理则相反。可能是由于积雪可使凋落物与冷空气隔绝,使微生物在冬季保持活跃,从而加速了凋落物的分解过程。韦昌林等^[21]以河西走廊干旱荒漠区的灌木红砂(*Reaumuria songarica*)和珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)凋落物为研究对象,研究了降水强度对凋落物分解的影响。发现不同降水强度下调落物分解速率不同,凋落物分解速率在降水增加时最快,而在降水减少时分解速率较慢。可能是由于降水量增加使得微生物的代谢过程加强,潮湿的环境对真菌类微生物的活动也有好处,促进了凋落物的分解。郭剑芬等^[22]研究发现,气候带上凋落物分解速率大小依次为热带>亚热带>温带>寒温带。

1.2.2 凋落物质量 凋落物质量是影响凋落物分解的重要参数之一,其主要表现为物理性质和

化学性质两方面。如凋落物的透水性较差,这可能是因为它的表面常含有角质层、蜡质层所造成的。此外,凋落物的质地比较硬,对微生物的分解产生了不利的影响,可能会造成凋落物的分解速率下降^[23-24]。目前,以全氮、全磷、木质素/N、pH 和 C/N 等为主要的化学性质研究指标,其中 C/N 和木质素/N 是最能准确预测凋落物分解速率的两个重要指标^[25]。

杨林等^[26]通过研究发现,在川西高山林线交错带,植物凋落物的分解速度与凋落物初始质量存在着一定的相关性,且草本凋落物的分解速度最快,而乔木、苔藓类凋落物的分解速度最慢。在初始质量指标中,木质素/N 是影响凋落物分解速度的重要因子,并且随着凋落叶初始木质素/N 的增加凋落物的分解速率呈现下降的趋势。陈法霖等^[27]进行了退化红壤丘陵区森林凋落物初始化学成分与分解速率的相关性研究,发现影响凋落物分解的关键因子是木质素含量,同时凋落物 C、N、P 含量与分解速率关系密切。张雨雪等^[28]研究发现随着凋落物的分解,凋落物 C/N 比率逐渐降低,分解速率减慢。在影响凋落物分解速率的因素中,凋落物 P 含量与分解速率存在显著正相关关系,这可能是由于 P 含量的升高为酸性磷酸酶提供了更多的底物,使其活性得到了加强,导致凋落物分解速率加快。魏强等^[29]以兴隆山森林主要树种为研究对象,通过对其凋落叶分解与凋落物初始质量关系的分析,揭示了影响凋落物分解速度的关键因子是木质素/N,且凋落叶初始木质素/N 越高,凋落物分解速率越低。

1.2.3 土壤动物 土壤动物是生态系统物质循环的主要参与者之一,土壤中动物和微生物的相互作用可以促进土壤有机残体的分解和转化^[30]。土壤动物是影响森林凋落物分解的关键因子,枯枝落叶的分解是在土壤动物形成的食物网中进行的。在这个网中,分解微生物直接分解枯枝落叶,中型和小型土壤动物则通过对微生物的取食和土壤动物间的捕食作用将从凋落物中获得的物质、能量释放到土壤中^[31]。

Yang 等^[32]通过野外实验,研究了西双版纳自然条件下不同碳氮比森林(热带次生林、常绿阔叶林和热带雨林)土壤动物对植物凋落物分解的贡献,发现热带雨林中的凋落物腐烂比其他两个地方更明显。土壤动物群的影响使初始碳氮比高的凋落物中氮浓度增加,而碳浓度降低。发现土壤动物群对热带雨林凋落物分解的影响显著,同

时该研究揭示了保护热带雨林土壤动物多样性对养分循环过程的重要性。Tan 等^[33]研究了在高山和亚高山地区的冻融期间土壤动物群对凋落物分解的影响,在这项研究中,土壤动物在所有冻融阶段对凋落物分解的贡献随着体型的增加呈增加趋势。一方面,更多的土壤动物可以进入网孔较大的凋落物袋,大型动物较高的迁移能力也可能对凋落物分解产生更强的影响。另一方面,大型动物的存在可以物理地将凋落物分解成小碎片,然后增加微生物可用的表面积并促进其活动,加快凋落物分解速率。王利峰等^[34]调查了川西高山林线交错带土壤动物对岷江冷杉(*Abies fabri*)和高山杜鹃(*Rhododendron simsii*)凋落物分解的影响,发现土壤动物对凋落物分解有一定的促进作用。其中,岷江冷杉凋落物分解较快,造成这种现象的原因可能是高山杜鹃凋落物中木质素的含量较高而纤维素和半纤维素含量较低,且高山杜鹃凋落物 C/N 和木质素/N 高于岷江冷杉。

1.3 凋落物持水性

凋落物层在涵养水源和养分平衡方面发挥着重要的作用^[35],枯枝落叶落至林地表面,不仅可以吸收水分,还可以使林地表面的粗糙度增加,从而延缓和降低地表径流,使土壤水分的下渗能力增强^[36]。国内外很多学者对不同区域内的多种类型森林的凋落物做了大量有关凋落物持水性的研究,此外,凋落物持水性受到很多因素的影响,如不同的林分类型等因素^[37]。

唐禾等^[38]研究了抚育间伐对枯落物持水能力的影响,结果表明,枯落物分解程度对枯落物的持水能力产生影响,持水能力随着分解程度的增高而增强。在轻度间伐的条件下,枯落物持水能力最强,在重度间伐的条件下,枯落物持水能力最弱,可能是由于轻度间伐可以提高枯落物对雨水的截留能力,从而使其能更好地保持土壤水分,而重度间伐则不利于枯落物对雨水的截留。汪菊英^[39]采用浸水法测定不同林分(阔叶次生林、杉木林、马尾松阔叶混交林、马尾松林)凋落物持水性,发现不同林分凋落物持水性有差异。其中,阔叶次生林持水性最强,马尾松林持水性最弱,可能是由于不同林分凋落物分解程度有差异,对凋落物持水性造成影响,这个结果说明不同林分类型对凋落物持水性产生影响。Gun 等^[40]以亚热带地区桂林市 4 种类型的石灰岩森林为研究对象,通过野外取样调查了亚热带石灰岩森林凋落物的现存量,并采用浸水法探讨了凋落物的水文效应。

通过调查发现,青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)林枯落物持水量最大,化香(*Platycarya strobilacea*)林枯落物持水量最小。因此,在气候相似的地区,可以发展适应性强、材质优良、水土保持和截留能力强的青冈林。

2 森林凋落物输入对土壤碳库的影响

凋落物输入处理对土壤有机碳储量的影响主要表现在土壤团聚体结构和碳的分布改变上,而凋落物输入调控试验^[41]可用于评估凋落物输入的改变对土壤有机碳的影响。

2.1 对土壤团聚体的影响

土壤团聚体是土壤结构的基本单位^[42],有研究显示,土壤团聚体可以对土壤有机质起到保护作用,同时团聚体的形成还依赖于凋落物转化而来的大分子有机物^[43]。王志康等^[44]研究发现,去除凋落物能够使土壤团聚体稳定性显著降低。这是由于凋落物是土壤中大分子有机物的主要的直接和间接来源,这些大分子有机物是团聚作用中关键的胶结物质,凋落物的去除直接使胶结物质的储量下降。Wang 等^[45]选择了 3 种典型的亚热带森林类型(阔叶林、毛竹林和杉木林),研究了森林类型对不同粒级团聚体($>2.000\text{ mm}$ 、 $0.250\sim 2.000\text{ mm}$ 、 $0.053\sim 0.250\text{ mm}$ 和 $<0.053\text{ mm}$)的稳定性、团聚体相关有机碳和酶的功能性的影响。研究表明,不同亚热带森林类型土壤团聚体中的酶活性存在显著差异,不同数量和质量的凋落物投入会影响森林土壤团聚体和土壤有机碳储量。阔叶林和毛竹林的大团聚体比例、团聚体稳定性、大团聚体结合碳含量和大部分团聚体结合酶活性均高于杉木林,表明阔叶林和毛竹林由于矿物保护和相对较高的微生物活性,表现出较大的固碳能力。因此,不同森林类型的凋落物输入是不同团聚体组分间酶活性的主要控制因素,可能在调节有机碳库容量和稳定性方面发挥重要作用。

Xiao 等^[46]研究表明,根系的投入可以增加土壤有机碳储量。根系的投入诱导土壤团聚体数量的增加,从而诱导了土壤中碳的固存。Wu 等^[47]研究表明,经过两年的凋落物输入操作后,与对照相比,根排除处理明显减少了土壤大团聚体部分,并相应减少了土壤大团聚体中的碳含量。相比之下,地上凋落物的去除和添加对这些性质没有显著影响。总体而言,地下凋落物输入的减少,可以通过降低大团聚体的比例和大团聚体中的碳含量来减少有机碳库,该研究突出了根系在调节土壤碳固存中的重要性。

2.2 对土壤有机碳储量的影响

国内外学者进行了大量有关凋落物输入对土壤有机碳含量影响的试验,但结果差异较大。彭琳等^[48]通过试验发现添加外源凋落物后慈竹(*Bambusa emeiensis*)林土壤有机碳储量增加,而去除凋落物后慈竹林土壤有机碳含量明显减少。研究中加入绵竹(*bambusa intermedia*)凋落物后土壤有机碳含量高于加入杉木凋落物的处理,这可能与绵竹凋落物为薄纸质较之杉木凋落物的革质性状更容易被分解有关。付淑月等^[49]研究了凋落物输入对刺槐林土壤有机碳的影响,研究结果显示,将地上凋落物去除处理的土壤有机碳含量明显提高了 55.4%,而将地上凋落物加倍处理却没有明显的改变。分析认为,这是由于该地区特殊的生态环境,长期遭受植被破坏以及水土流失导致土壤有机碳储量较低。土壤微生物因长期缺少碳源,其碳同化率较高,且受外源碳的影响较大。Wei 等^[50]通过研究发现,在自然生态系统中,不间断的凋落物输入有利于土壤有机碳的形成,并强调了土壤真菌在促进有机碳形成中的关键作用,重复添加凋落物促进了真菌生长并促进了微生物对凋落物碳的同化。

Zhao 等^[51]研究显示,根系的输入会对土壤有机碳储量产生影响,更高的根系生物量有利于土壤有机碳的固存。Chen 等^[52]评估了地上和地下凋落物输入对中国 4 个不同气候区天然次生林(北方森林、温带森林、亚热带森林和热带森林)新有机碳形成和旧有机碳保持的相对影响,结果表明,与地上凋落物输入相比,地下根凋落物输入可能导致更高的新有机碳形成和更低的旧有机碳保留。此外,凋落物输入后,新有机碳和旧有机碳的变化幅度因林分类型而异,热带森林的土壤有机碳比温带和亚热带森林的土壤有机碳对地下根系输入更敏感。Liu 等^[53]研究发现,在亚热带森林中,排除根系显著降低了 0~10 cm 土层的土壤碳浓度和微生物生物量,因此,地下碳输入的减少会导致土壤碳储量的减少。

3 结语

土壤有机碳是陆地生态系统中最大的碳库,其储量超过了植被与大气碳库的总和,森林土壤有机碳主要由植物凋落物通过土壤生物的分解、转化而形成。森林凋落物是森林生态系统中最主要的物质循环媒介,是维持土壤养分的重要来源库和归还库,具有较高的研究价值。近年来,国内外学者围绕凋落物量动态、凋落物分解、凋落物持

水性等方面进行研究。其中,围绕凋落物分解特征及其影响机制的研究逐渐增多,对凋落物分解驱动机制的研究也由单一气候因子向全球氮沉降、气候变暖等多因子交互作用转变。此外,凋落物对土壤的影响主要体现在土壤水源涵养、土壤呼吸以及土壤碳库等方面。凋落物输入不同处理对土壤有机碳储量产生影响,但对不同研究区域之间的影响存在差异,造成这种现象的原因可能是不同区域,以及不同气候条件下土壤微生物对凋落物输入量的响应不同而导致的。在以后的深入研究中,可以采用同位素标记技术,追踪凋落物叶或凋落物根的分解产物在土壤团聚体或土壤有机碳组分中的分布,来区分凋落物叶或根对土壤有机碳的相对贡献。

参考文献:

- [1] 韩学勇,赵凤霞,李文友. 森林凋落物研究综述[J]. 林业科技情报,2007(3):12-13,16.
- [2] 郭伟,张健,黄玉梅,等. 森林凋落物生态功能研究进展[J]. 安徽农业科学,2009,37(5):1984-1985,1987.
- [3] POST W M, EMANUEL W R, ZINKE P J, et al. Soil carbon pools and world life zones [J]. Nature, 1982, 298 (5870): 156-159.
- [4] 陈昊,马帅,王小治. 土壤团聚体形成和稳定机理研究进展[J]. 现代农业科技,2023(2):150-155.
- [5] 李东,高明. 土壤有机碳循环研究进展[J]. 江西农业学报,2008(2):60-63,75.
- [6] CROWS E, LAJTHA K, FILLEY T R, et al. Sources of plant-derived carbon and stability of organic matter in soil: implications for global change[J]. Global Change Biology, 2009,15(8):2003-2019.
- [7] 洪小敏,魏强,李梦娇,等. 亚热带典型森林地上和地下凋落物输入对土壤新老有机碳动态平衡的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(3):825-835.
- [8] 韩中海,詹超,史贝贝,等. 凋落物输入不同处理对暖温带麻栎林表层土壤有机碳的影响[J]. 河南林业科技,2022,42(2):1-5,18.
- [9] 吕思扬,宋思意,黎蕴洁,等. 氮添加和凋落物增减对华西雨屏区常绿阔叶林土壤团聚体及其碳氮的影响[J]. 水土保持学报,2022,36(1):277-287.
- [10] 廖军,王新根. 森林凋落量研究概述[J]. 江西林业科技,2000(1):31-34.
- [11] 凌华,陈光水,陈志勤. 中国森林凋落量的影响因素[J]. 亚热带资源与环境学报,2009,4(4):66-71.
- [12] CSERESNYES I, CSONTOS P, BOZSING E. Stand age influence on litter mass of *Pinus nigra* plantations on dolomite hills in Hungary[J]. Botany,2006,84(3):363-370.
- [13] 王启其. 杉木人工林凋落物量及其季节动态[J]. 南昌工程学院学报,2007(4):21-24.
- [14] 徐旺明,闫文德,李洁冰,等. 亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征[J]. 生态学报,2013,33(23):7570-7575.
- [15] WANG Q, WANG S, XU G, et al. Conversion of secondary

- broadleaved forest into Chinese fir plantation alters litter production and potential nutrient returns[J]. *Plant Ecology*, 2010, 209(2): 269-278.
- [16] 张悦, 张艺凡, 马怡波, 等. 森林生态系统凋落物分解影响因素研究进展[J]. *环境生态学*, 2023, 5(4): 45-56.
- [17] BAILEY L, ELLIS S J, MCNEIL J. Suicide risk in the UK trans population and the role of gender transition in decreasing suicidal ideation and suicide attempt[J]. *Mental Health Review Journal*, 2014, 19(4): 209-220.
- [18] 谷永建, 吕璇泽, 陶千冶, 等. 气温和降水量对东灵山阔叶林凋落物分解特征的影响[J]. *第四纪研究*, 2021, 41(4): 1156-1168.
- [19] 梁东, 王一新, 马强, 等. 植物凋落物分解研究进展[J]. *吉林林业科技*, 2019, 48(4): 37-40, 43.
- [20] WU Q. Short and long-term effects of snow-depth on Korean pine and Mongolian oak litter decomposition in Northeastern China[J]. *Ecosystems*, 2020, 23(3): 662-674.
- [21] 韦昌林, 李毅, 单立山, 等. 降水变化对典型荒漠植物凋落物分解的影响[J]. *草地学报*, 2022, 30(5): 1280-1289.
- [22] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 等. 森林凋落物分解研究进展[J]. *林业科学*, 2006(4): 93-100.
- [23] 林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展[J]. *生态学杂志*, 2004(1): 60-64.
- [24] 田兴军, 立石贵浩. 亚高山针叶林土壤动物和土壤微生物对针叶分解的作用(英文)[J]. *植物生态学报*, 2002(3): 257-263.
- [25] 李强, 程旭, 姜韬, 等. 森林凋落物分解研究进展[J]. *河北林果研究*, 2012, 27(4): 396-401.
- [26] 杨林, 邓长春, 陈亚梅, 等. 川西高山林线交错带凋落叶分解速率与初始质量的关系[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(12): 3602-3610.
- [27] 陈法霖, 江波, 张凯, 等. 退化红壤丘陵区森林凋落物初始化学组成与分解速率的关系[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 565-570.
- [28] 张雨雪, 胡伟芳, 罗敏, 等. 闽江口秋茄凋落叶分解碳氮磷元素动态特征与水解酶活性[J]. *生态学报*, 2019, 39(12): 4242-4254.
- [29] 魏强, 凌雷, 王多锋, 等. 甘肃省兴隆山森林主要树种凋落叶分解速率与初始质量的关系[J]. *水土保持通报*, 2019, 39(1): 9-15, 36.
- [30] 张瑞清, 孙振钧, 王冲, 等. 西双版纳热带雨林凋落叶分解的生态过程 I. 凋落叶分解动态[J]. *植物生态学报*, 2006(5): 780-790.
- [31] 柯欣, 赵立军, 尹文英. 青冈林土壤动物群落结构在落叶分解过程中的演替变化[J]. *动物学研究*, 1999(3): 48-54.
- [32] YANG X, CHEN J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, Southwestern China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 910-918.
- [33] TAN B, WU F, YANG W, et al. Soil fauna significantly contributes to litter decomposition at low temperatures in the alpine/subalpine forests[J]. *Polish Journal of Ecology*, 2015, 63(3): 377-386.
- [34] 王利峰, 和润莲, 杨林, 等. 川西高山林线交错带土壤动物对岷江冷杉和高山杜鹃凋落物分解的贡献[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(11): 3689-3697.
- [35] 苏志尧, 陈北光, 古炎坤, 等. 广州白云山风景名胜区几种森林群落枯枝落叶层的持水能力[J]. *华南农业大学学报*, 2002(2): 91-92.
- [36] 伍倩, 闫文德, 梁小翠, 等. 亚热带 4 种典型人工林凋落物持水特性[J]. *中南林业科技大学学报*, 2015, 35(12): 76-81, 94.
- [37] 梁锋娜, 张锦新, 沈亚芝, 等. 森林凋落物持水性影响因素分析[J]. *热带农业工程*, 2019, 43(1): 101-102.
- [38] 唐禾, 陈永华, 张建国, 等. 抚育间伐对麻栎次生林枯落物持水性的影响[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(4): 104-109, 115.
- [39] 汪菊英. 不同林分类型地表凋落物量及其持水能力研究[J]. *安徽林业科技*, 2014, 40(1): 16-18.
- [40] GUN S, HOU M, QU L. Stock and hydrological characteristics of four limestone secondary forest litters in subtropical China[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2023, 55(2): 595-604.
- [41] NADELHOFFERK J, BOONE R D, BOWDEN R D, et al. The dirt experiment: litter and root influences on forest soil organic matter stocks and function[J]. *Forests in Time: The Environmental Consequences of 1000 Years of Change in New England*, 2004: 1-19.
- [42] LIU Y, HU C, HU W, et al. Stable isotope fractionation provides information on carbon dynamics in soil aggregates subjected to different long-term fertilization practices[J]. *Soil and Tillage Research*, 2018, 177: 54-60.
- [43] DUNGAIT J A J, HOPKINS D W, GREGORY A S, et al. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance[J]. *Global Change Biology*, 2012, 18(6): 1781-1796.
- [44] 王志康, 祝乐, 许晨阳, 等. 秦岭天然林凋落物去除对土壤团聚体稳定性及细根分布的影响[J]. *生态学报*, 2022, 42(13): 5493-5503.
- [45] WANG S, WANG Z, FAN B, et al. Litter inputs control the pattern of soil aggregate-associated organic carbon and enzyme activities in three typical subtropical forests[J]. *Forests*, 2022, 13(8): 1210.
- [46] XIAO L, ZHANG W, HU P, et al. The formation of large macroaggregates induces soil organic carbon sequestration in short-term cropland restoration in a typical karst area[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 801: 149588.
- [47] WU J, ZHANG D, CHEN Q, et al. Shifts in soil organic carbon dynamics under detritus input manipulations in a coniferous forest ecosystem in subtropical China[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 126: 1-10.
- [48] 彭琳, 王晓君, 黄从德, 等. 凋落物输入改变对慈竹林土壤有机碳的影响[J]. *水土保持通报*, 2014, 34(1): 129-132.
- [49] 付淑月, 王天秀, 张清月, 等. 刺槐林凋落物输入量变化对土壤有机碳的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 49(6): 18-26.

High Yield Cultivation Technology of Organic Soybean in Cold Region

LI Wei¹, LIU Jianxin¹, BI Yingdong¹, LIU Miao¹, FAN Chao¹, LIANG Wenwei¹, YANG Guang¹, LAI Yongcai²

(Institute of Crop Tillage and Cultivation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150023, China;2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to promote the popularization and application of organic soybean planting technology in cold regions of Northern China, this paper analysed and summarized each key technical link in the process of organic soybean cultivation based on a detailed analysis of the production situation of organic soybean in cold regions. This paper discussed the key technical of the organic soybean cultivation process, such as land selection and preparation, fertilization, seed selection and treatment, sowing, field management, weeding, pest control, harvesting and storage, archives management. This will provide technical support for the establishment of standardized organic soybean production plot and comprehensively improve the yield and quality of organic soybeans in cold regions.

Keywords: cold region; region soybean; high-yield cultivation technology

(上接第 138 页)

[50] WEI Y, XIONG X, RYO M, et al. Repeated litter inputs promoted stable soil organic carbon formation by increasing fungal dominance and carbon use efficiency[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2022, 58(6): 619-631.

[51] ZHAO Y, WANG M, HU S, et al. Economics and policy-driven organic carbon input enhancement dominates soil organic carbon accumulation in Chinese croplands [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(16): 4045-4050.

[52] CHEN Z, SHEN Y, TAN B, et al. Decreased soil organic carbon under litter input in three subalpine forests[J]. *Forests*, 2021, 12(11): 1479.

[53] LIU X, LIN T C, VADEBONCOEUR M A, et al. Root litter inputs exert greater influence over soil C than does aboveground litter in a subtropical natural forest[J]. *Plant and Soil*, 2019, 444: 489-499.

Characteristics of Forest Litter and Its Input Effect on Soil Carbon Pool

LI Ya, LU Jie

(Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agricultural & Animal Husbandry University / Key Laboratory of Tibet Plateau Forest Ecology, Ministry of Education / Nyingchi National Forest Ecosystem Observation & Research Station of Tibet / Key Laboratory of Alpine Vegetation Ecological Security in Tibet, Nyingchi 860000, China)

Abstract: Forest litter is an important part of terrestrial ecosystem, which affects the formation of soil organic matter, the supply of plant nutrients and the absorption and storage of soil carbon. By consulting the relevant literature, the characteristics of litter were analyzed from the aspects of litter dynamics, litter decomposition and litter water holding capacity. Among them, litter decomposition was influenced by many factors, such as climate, litter quality and soil animals. The effects of different treatments of forest litter input on soil aggregates and soil organic carbon storage were summarized by sorting out relevant research results.

Keywords: forest litter; soil aggregates; soil organic carbon