

林木矮林萌芽更新的影响因素研究

赵姣^{1,2}, 章志海^{1,2}, 张杰^{1,2}, 金晓芳^{1,2}, 肖祖飞^{1,2}, 张海燕^{1,2}, 江婉玥^{1,2}, 陈丽容^{1,2}, 叶凯^{1,2}, 王紫泉^{1,2}, 李卫东^{1,2}, 金志农^{1,2*}

(1. 南昌工程学院, 江西南昌 330099; 2. 江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心, 江西南昌 330099)

摘要 为实现林地的快速恢复和重建, 满足生态环境的需求, 矮林作业是森林经营的重要方式。在林木矮林作业中, 萌芽更新是首要的一步, 它对植株后期生物量积累和经济产量的影响至关重要。伐桩方式、采伐季节和强度、激素和养分 4 个因素是影响林木矮林萌芽更新的主要因素, 需根据树种的不同生物学特性选择合适的萌芽更新技术来保障林地的质量。该研究对森林的恢复和重建、林木的培育和人工林的开发利用提供了重要的指导。

关键词 矮林; 萌芽更新; 伐桩方式; 采伐方式; 激素; 养分

中图分类号 S72 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)07-0027-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.07.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Review on the Influencing Factors of Germination and Regeneration of Coppice Forest

ZHAO Jiao^{1,2}, ZHANG Zhi-hai^{1,2}, ZHANG Jie^{1,2} et al (1. Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330099; 2. Jiangxi Province Camphor Tree breeding and Development and Utilization Engineering Research Center, Nanchang, Jiangxi 330099)

Abstract In order to realize the rapid restoration and reconstruction of forest land and meet the needs of ecological environment, coppice forest operation is an important way of forest management. Budding regeneration is the first step in the operation of dwarf forest, which is very important to the accumulation of biomass and economic yield in the later stage of plant. Four factors of cutting pile mode, cutting season and intensity, hormone and nutrient are the main factors affecting the germination renewal of coppice forest. It is necessary to select the appropriate germination regeneration technology according to the different biological characteristics of tree species to ensure the quality of forest land. This study provides important guidance for forest restoration and reconstruction, forest cultivation and plantation development and utilization.

Key words Coppice forest; Budding regeneration; Cutting pile mode; Cutting mode; Hormone; Nutrient

矮林是利用树木地下茎和伐桩上的休眠芽或不定芽形成新植株的过程, 以达到林地的恢复和重建, 维持林地的生产力。与以往的连根刨掉大树以重新造林相比, 萌芽更新植株具有生长快、适应性强、生态效应广等特点。目前, 矮林作业于樟树^[1]、杉木^[2]、杨树^[3]等林木生产实践中应用广泛, 在森林生态系统的保护、林木栽培与经营以及森林培育中发挥了重要的作用。在矮林作业中, 萌芽是首要的一步, 它对植株后期的生物量积累和经济产量的影响至关重要。鉴于此, 笔者研究了伐桩方式、采伐时间和强度、养分水平和激素对林木矮林萌芽更新的影响, 对林地的恢复和重建、经济林的开发利用提供了重要指导。

1 伐桩方式对林木矮林萌芽更新的影响

1.1 伐桩高度 萌芽更新的物质基础是伐桩上的休眠芽和不定芽。休眠芽由原生分生组织形成, 几乎所有的阔叶树都能由休眠芽生长萌条, 休眠芽保持萌发的能力因树种生物学特性的不同而差别较大; 不定芽由次生分生组织形成。伐桩高度对林木萌芽更新的影响主要与萌条的萌生部位有关, 植物的叶腋、侧枝、主干和主干基部和地下茎等部位均有萌芽

更新的潜力。不同的物种位置效应差异显著, 一般而言离根茎处越近, 萌芽能力越强。田晓萍等^[2]研究表明, 随着伐桩高度的增加, 杉木萌芽数量、株高和基径呈下降趋势, 但不同处理间萌条的成活率无显著差异, 主要原因有: ①萌芽的位置效应; ②靠近植株基部萌条可由伐桩的老根系和萌条的新根系共同提供营养和水分等, 促进了萌条的更新和生长发育, 这与高健等^[4]、陈梦侠等^[5]研究结果一致。对于自然萌生能力很强且位置效应明显的树种, 则在一定的伐桩高度内萌条生长状况良好, 但超过一定的范围呈现降低的趋势。毕君等^[6]发现刺槐的伐桩高度低于 30 cm 时, 伐桩萌芽力均等。尾巨桉以 5~10 cm 伐桩高度最适宜, 但其他伐桩高度的萌芽率均达到 91% 以上, 且处理间差异显著^[7]。随着伐桩高度的增加, 芳樟、米老排、水曲柳等树种均呈现出先增加后降低的趋势^[8-10]。对于靠不定芽萌发萌条的树种来说, 伐桩所含潜伏芽或不定芽数量是影响萌芽更新的主要因素^[11-12]。大叶相思、马占相思、油茶等树种主要依靠伐桩高度的增加来提高萌芽更新能力^[13-15]。李景文等^[16]研究表明, 根据树种的萌芽更新能力分为线性和非线性类型, 槭树的萌芽数量与伐桩高度呈直线关系, 水曲柳、胡桃楸和黄檗呈对数关系, 榆树呈现指数型增长。伐桩高度对部分树种的萌芽更新影响不大。方升佐等^[17]发现杨树的萌芽更新呈现随伐桩高度的增高而萌条数量增加的趋势, 但萌条大部分会死亡, 仅留下 1~2 根。因此, 要根据林木的生物学特性来采用适宜的砍伐高度。

1.2 伐桩直径 伐桩直径对林木萌芽条的更新影响显著。Johnson^[18]观测到赤桉伐桩的萌芽率在一定的径级范围内随直径的增大而增加, 随后萌芽率下降。大部分树种均呈现出单

基金项目 江西省教育厅科研技术项目“外源激素对樟树矮林萌芽更新特性和精油产量的影响”(GJJ161117); 江西省科技厅重点研发计划“柠檬樟优良品种选育及繁殖关键技术研究”与示范(20181ACF60002); 江西省科技厅重点研发计划“四种樟属植物 l-型或 d-型芳樟优良品种选育及其产业化关键技术研究”与示范(20171ACH80016); 2018 年国家大学生创新创业训练计划资助项目(2018002)。

作者简介 赵姣(1987—), 女, 湖南湘乡人, 副教授, 博士, 从事林木栽培与繁育研究。* 通信作者, 研究员, 从事林木栽培与繁育研究。

收稿日期 2019-08-29; **修回日期** 2019-10-14

峰的发展趋势^[19-20]。综合前人的研究有如下原因:部分学者认为,随着植株树皮厚度的增加(和基径呈正相关关系),机械阻力增大,从而阻碍萌条的发育^[21];其次,与伐桩内的营养物质密切相关,伐桩直径越大所能储存的营养物质增多,且植株根系发达,有利于萌条的生长。但随着树龄和直径的增加,超过一定范围后,植株的代谢和分生能力呈降低趋势,伐桩所能产生不定芽的能力降低^[16]。另外,伐桩直径的大小决定了萌条生长空间的宽窄,竞争也会相应改变,从而影响萌条的更新能力^[14]。因此,林木的萌芽数量随着伐桩直径的增大而呈先增多再减少的规律,在相同立地条件下以中等等级萌条数量生长较好。

伐桩直径主要影响林木矮林萌芽更新数量,对萌条高度和直径等其他指标的影响因树种而异。赤桉、刺槐等树种萌条数量均随伐桩直径的增加而增大,且在一定范围内处于稳定水平,随后呈降低趋势,但对萌条高度和萌条直径影响不显著^[23-24]。而伐桩直径对马占相思树萌条高、直径的生长有极显著影响,但不影响萌条数量^[14]。也有研究表明,伐桩直径与伐桩萌条数量、萌条高度和萌条直径相关性低^[2]。陈梦侠等^[5]发现伐桩基径对杉木不同月份萌芽更新指标的动态变化影响不显著。

2 采伐方式对林木矮林萌芽更新的影响

2.1 采伐季节

不同季节林木采伐会改变林下的湿度、养分等林下环境,从而影响林下物种的生长^[25]。李根秋等^[26]研究发现沙柳不同季节砍伐后的再萌生能力顺序为春季>秋季>冬季>夏季,且萌生枝条的生长状况也是春季最好。杉木等树种的研究结果一致^[27]。采伐季节影响林木萌芽更新的机理主要为:①不同季节砍伐气候因素不同,而林木萌芽更新需要适宜的温度、光照和水分等条件。以杉木为例,休眠芽萌发的最佳温度在18~24℃,温度过高会导致水分散失严重,不利于伐桩的萌发;另外要考虑萌条的越冬情况,生长季节内砍伐的林木在低温来临之前要完成木质化进程,否则植株在冬季易受冻害的影响^[10]。同时,砍伐季节阴雨连绵,伐桩萌条也会因光照不足而木质化程度低,严重影响成活率。②温度会间接影响伐桩萌芽的内源激素状况。研究发现,杉木初春伐桩萌芽内促生长类激素大于抑制类,且激素的比例有利于林木休眠的解除,因此萌芽能力强^[2]。而夏季植株体内的激素比例则相反。③不同季节植株体内营养运输状况不同^[28]。方升佐等^[17]研究发现杨树的萌芽更新与伐桩内糖分和矿物质的含量密切相关。非生长季节植株代谢低,大部分营养物质储存在树体下部,一旦外界环境适宜,萌条能迅速进入旺盛生长;而生长季节营养物质主要供应冠层的生长,当采伐时树冠中营养物质会随之带走,不定芽的萌芽和萌条的生长均受限制^[6]。因此杉木、桉树、杨树等大部分树种均以冬季砍伐最宜^[29-31],而春季砍伐萌条生长较好。

砍伐时间的选择要注意结合植株的生物学特性。秃瓣杜英、锥栗和枫香、大叶相思等萌芽力强的树种,采伐季节对伐桩的萌芽率无显著影响,但对萌条的高度、生长基径影响明显,一般以冬季砍伐生长状况最佳;而南酸枣、桉木等萌芽

力弱的树种对采伐季节要求比较严格^[32]。毛竹一般在秋冬季砍伐,主要原因是生长季代谢旺盛,植株砍伐后产生伤流而损失营养物质,同时要考虑隔年换叶的习性^[33]。

2.2 采伐次数

长期矮林经营的人工林要合理考虑采伐周期以达到最佳的经济和生态效益。一般来说,采伐次数过多会降低伐桩的萌生能力。研究表明,多次采伐的情况下,植株光合器官少,一方面不能大量满足根系所需有机物供应,新陈代谢慢,不利于地上部分的水肥供应^[34],即使采伐初期刺激植株体内生长类激素的产生并调动机体的能量以供应萌条的发育,但后期的生长会受到抑制^[35];另一方面,植株的衰老会提前发生,如木质部栓塞和NSC含量的降低等^[36]均影响矮林萌芽更新能力。但部分研究得出了相反的结果:多次采伐会增加创口面积,从而刺激较多的休眠芽萌发^[37]。针对萌芽能力比较强的树种,采伐次数对萌芽更新能力的影响不显著,但影响后期的生长。大叶相思如果轮伐期长,萌芽林生长则不良^[38]。林木采伐周期过长,林木过于郁闭也会影响林分的光照、温度和水分环境,中强度的间伐反而均能增加伐桩的萌芽条数。

3 外源激素对林木矮林萌芽更新的影响

大量研究表明,影响休眠芽萌发的因素包括直接因素和间接因素^[39-40],其中温度是树木萌芽的条件,激素是主要调控因素,而光照等其他外界条件主要通过改变机体内激素的水平而间接诱导萌芽更新。国内外学者在外源激素对林木伐桩上休眠芽或侧芽萌发的影响方面进行了相关研究。林木休眠芽休眠的解除与内源激素的平衡有重要关系,且激素之间存在相对合适的比例关系。不同物种的适合比例不同,超过或低于此范围均不利于休眠芽的萌发,但也可以利用人工辅助外源激素打破休眠芽的休眠,促使其萌发。植物激素是植物新陈代谢中产生的天然化合物,它能以极微小的量影响到植物生长发育,如6-苄基腺嘌呤(6-BA)、赤霉素(GA₃)、 α -萘乙酸(NAA)、细胞分裂素(CTK)、吲哚丁酸IBA^[41-42]。其中休眠芽休眠主要由GA₃来解除,萌发主要由CTK来促进,IBA的影响不显著,而ABA主要起抑制和平衡作用。

林木伐桩萌芽时内激素的变化非常显著。研究表明,杉木伐桩内GA₃的含量最高^[43],ABA含量仅为其1/20。与休眠芽相比,栓皮栎萌芽中GA₃、玉米素和生长素大幅度增加,而ABA的含量下降为50%^[44]。不同激素组配(单一和复合因素)对矮林萌芽更新指标的影响不同,田晓萍^[2]对杉木的研究结果表明,6-BA主要影响萌条的数量,NAA对萌条高度影响较大;GA₃:ABA=150:1为最佳的浓度组配,可促进休眠芽的萌发。6-BA与NAA或者GA的组合处理对梨树叶芽和新梢萌芽成枝有促进作用,并在一定程度上随着6-BA浓度的增加而效果更优^[45]。外源激素对大樱桃休眠芽休眠的解除、桉树幼苗的发育发挥了积极作用^[46-47]。外源激素对林木后期的生长也有显著影响。赤霉素和芸苔素内酯均能提高杜仲矮林的生物量和胶产量^[48]。因此,可通过调节伐桩休眠芽内激素的平衡达到调控萌芽更新的目的。

4 养分对林木矮林萌芽更新的影响

养分(尤其是氮素代谢和氮素的供应)对林木萌芽更新的影响主要表现在萌芽生长的后期。根据能量分配权衡假说,矮林同一伐桩上的萌苗会相互竞争资源,如水分、光照、养分等^[49],形成资源的再分配。林木萌芽更新的营养假说表明^[50],树木萌生能力和萌条的生长发育与母树根系和土壤中储存的营养相关。Teixeira 等^[51]对 7 年生尾叶桉砍伐后萌芽内的营养状况表明,土壤和母树根系是萌生初期植株营养的主要来源;砍伐 60 d 后,营养主要来源于土壤,但 K、Mg 元素除外。随着砍伐时间的延长至砍伐第 330 d,几乎所有的 P 和 Ca 元素均由土壤供应,而 N 元素的 9.2%、K 元素的 23.9%、Mg 元素的 12.6% 由母树根系供应。养分影响矮林萌芽更新主要表现在伐桩内的营养水平,植株体内的养分水平不够时会降低萌条更新的能力。施肥能有效促进矮林的萌芽更新,使优势萌条增多^[52-53],在杉木、尾叶桉上效果非常显著。施肥的效果在前期非常显著,植株体内的养分含量显著增加;但随着时间的推移,施肥和萌芽生长的正相关关系减弱。萌芽中的全氮含量可作为预测萌芽生长的生理指标之一,全氮含量在萌芽的初期至盛期逐步增加,随后下降。氮主要是通过改变植株体内的碳氮代谢,增加叶绿素含量从而提高光合作用来促进萌芽更新。田晓萍等^[2]研究表明,不同肥料对杉木萌芽更新指标(包括萌条数量、高度和基径等)的影响效应为 P>N>K。N、P、K 3 种养分的配比为 1.0:1.0:0.5 时,即肥料量分别为 100、100 和 50 g/株时植株萌芽更新的效果最好。肥料的综合配比通过肥效之间的相互作用,效果明显高于不施肥或施单一一种肥^[54]。试验结果表明,桉树施单一元素肥料,肥效效应不明显甚至产生负效应^[55]。养分对林木矮林萌芽更新的影响要根据具体情况来讨论,生长在立地条件差的植物有时会通过植物自身调节激发出强的萌芽更新能力^[56-57],或通过其他方式来补偿养分的不足。因此,只有当土壤养分成为植物生长的限制性资源时,施肥效果才显著。目前施肥对林木矮林萌条其他生理指标的影响研究较少,养分对萌芽更新的影响机制有待进一步研究。

5 展望

矮林发生的基础是林木形成了休眠芽或不定芽,这些结构需要一定外界条件的刺激才会激发生长,比如砍伐破坏植株地上和地下部分的平衡,或者温度、光照等条件的适宜,以及外源激素或营养物质的影响时,休眠芽会打破休眠或不定芽会形成,过渡到萌芽状态。利用林木萌芽更新特征的矮林作业模式在樟树、杉木等树种上应用广泛,是解决原材料短缺的快速途径。今后需要加强林木矮林萌芽更新的生物学、生理机制和分子机制的研究,以及利用林木矮林萌芽更新的理论基础来构建高产高效的矮林作业模式,以期更好地为林木生产的经济效益最大化和生态环境的保护提供重要的指导。

参考文献

[1] 张国防,陈存及,邢建宏,等. 芳樟工业原料林营建中的若干问题[J]. 林业工程学报,2004,18(3):7-10.
[2] 田晓萍. 杉木萌芽更新的研究[D]. 福州:福建农林大学,2008.
[3] 戴丽莉,贾黎明. 杨树短轮伐期矮林培育国内外研究进展[J]. 世界林

业研究,2014,27(4):36-41.
[4] 高健,刘令峰,叶镜中. 伐桩粗度和高度对杉木萌芽更新的影响[J]. 安徽农业大学学报,1995,22(2):145-149.
[5] 陈梦侠,田晓萍,曹光球,等. 伐桩基径及高度对杉木萌芽更新的影响[J]. 亚热带农业研究,2015,11(1):11-14.
[6] 毕君,王振亮,黄则舟,等. 采伐季节 伐桩直径 桩高及树龄对刺槐萌芽更新的影响[J]. 河北林业科技,1993(4):21-24.
[7] 梁国清. 巨桉二代萌芽更新适宜伐根高度的选择[J]. 引进与咨询,2003(7):12-13.
[8] 张耀雄. 不同栽培技术对芳香樟穗条产量的影响[J]. 亚热带植物科学,2015,44(1):52-55.
[9] 张显强. 米老排人工林萌芽更新研究[D]. 南宁:广西大学,2016.
[10] 荆涛,马万里, JONI KUJANSUN, 等. 水曲柳萌芽更新的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(4):12-15.
[11] DEBELL D S. Stump sprouting after harvest cutting in Swamp Tupelo [R]. Research Papers. Southeastern Forest Experiment Station, 1971.
[12] HARRINGTON C A. Factors influencing initial sprouting of red alder[J]. Canadian journal of forest research, 1984, 14(3):357-361.
[13] 黄世能,郑海水. 不同伐桩高度和林分密度对大叶相思萌芽更新的影响[J]. 林业科学研究,1992,5(5):611-616.
[14] 黄世能. 不同伐桩直径及高度对马占相思萌芽更新影响的研究[J]. 林业科学研究,1990,3(3):242-249.
[15] 彭金彬. 油茶低产林不同伐桩高度改造效果分析[J]. 防护林科技,2015(4):54-55.
[16] 李景文,聂绍荃,安滨河. 东北东部林区次生林主要阔叶树种的萌芽更新规律[J]. 林业科学,2005,41(6):72-77.
[17] 方升佐,徐锡增,吕士行,等. 杨树萌芽更新及持续生产力[J]. 南京林业大学学报,2000,24(4):43-48.
[18] JOHNSON P S. Growth and structural development of red oak sprout clumps[J]. Forest science, 1975, 21(4):413-418.
[19] 伊力塔,韩海荣. 山西灵空山林区辽东栎萌芽更新规律研究[J]. 林业资源管理,2007(4):57-61.
[20] 郭有燕. 陕北黄土丘陵区文冠果种群生殖生态与类型划分[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
[21] LOCKHART B R, CHAMBERS J L. Cherrybark oak stump sprout survival and development five years following plantation thinning in the lower Mississippi alluvial valley, USA[J]. New forests, 2007, 33(2):183-192.
[22] JOHANSSON T. Sprouting ability and biomass production of downy and silver birch stumps of different diameters[J]. Biomass & bioenergy, 2008, 32(10):944-951.
[23] 张加正,黄松秋,陈伽. 不同直径伐桩对赤桉萌芽更新影响的初步研究[J]. 浙江林业科技,1994(4):35-37.
[24] EVANS J. Silviculture of broadleaved woodland[J]. Journal of applied ecology, 1984, 22(2):608-609.
[25] 滕贵波. 辽东山区不同季节林木采伐对林道影响的调研报告[J]. 农业开发与装备,2016(12):50,58.
[26] 李根秋,安珍. 采伐季节对沙柳平茬后再萌生能力的影响[J]. 林业机械与木工设备,2014,42(12):31-33.
[27] 丁国华,程淑婉,叶镜中. 杉木不同季节采伐伐桩萌芽的内源激素动态[J]. 福建林学院学报,1996,16(2):109-113.
[28] 程淑婉,王改萍. 杉木伐桩萌芽的氮素营养[J]. 浙江农林大学学报,1995,12(2):133-138.
[29] 陈端吕,夏世华,周富康,等. 第二代杉木人工林的更新方式与技术[J]. 中南林学院学报,2001,21(4):59-61.
[30] 丁国华,叶镜中. 采伐季节对杉木伐桩休眠芽萌发的影响[J]. 南京林业大学学报,1995,19(2):51-54.
[31] 张兆国,周蛟,梁学源,等. 直干桉薪炭林萌发试验研究[J]. 西南林学院学报,1996,16(4):279-284.
[32] 朱光权,杜国坚,吴永丰,等. 马褂木等优良菇木树种萌芽更新技术研究[J]. 浙江林业科技,2004,24(3):2-8.
[33] 黄怀青. 毛竹林采伐技术问题的探讨[J]. 林业勘察设计,1998(2):68-70.
[34] 易青春,张文辉,唐德瑞. 采伐次数对栓皮栎伐桩萌苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(4):147-154.
[35] WAN X C, LANDHÄUSSER S M, LIEFFERS V J, et al. Signals controlling root suckering and adventitious shoot formation in aspen (*Populus tremuloides*) [J]. Tree physiology, 2006, 26(5):681-687.
[36] LUOSTARINEN K, KAUPPI A. Effects of coppicing on the root and stump carbohydrate dynamics in birches [J]. New forests, 2005, 29(3):289-303.

- 大学,2007.
- [49] LAWRENCE R, WHALLEY R D B, REID N, et al. Short-duration rotational grazing leads to improvements in landscape functionality and increased perennial herbaceous plant cover[J]. *Agriculture, ecosystems and environment*, 2019, 281: 134-144.
- [50] 杨增增, 张春平, 董全民, 等. 补播对中度退化高寒草地群落特征和多样性的影响[J]. *草地学报*, 2018, 26(5): 1071-1077.
- [51] 孙磊, 格桑拉姆, 王向涛, 等. 藏北高寒退化草地免耕补播效果研究[J]. *高原农业*, 2018, 2(2): 162-166, 117.
- [52] 杨文彦, 张学顺. 草甸草原松土补播试验报告[J]. *畜牧兽医科技信息*, 2014(5): 123.
- [53] 张乐. 内蒙古典型草原区退化草地修复工程措施评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
- [54] 郭艳菊, 马晓静, 于双, 等. 补播对退化荒漠草原土壤有机碳及其分布的影响[J]. *草地学报*, 2019, 27(2): 315-319.
- [55] 时龙, 郭艳菊, 于双, 等. 不同补播模式对荒漠草原土壤团聚体稳定性的影响[J]. *中国草地学报*, 2019, 41(3): 83-89.
- [56] 罗冬. 不同改良措施对短花针茅荒漠草原植被和土壤的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [57] 李飞, 禹朴家, 神祥金, 等. 退化草地补播草木樨、黄花苜蓿的生产力和土壤碳截获潜力[J]. *草业科学*, 2014, 31(3): 361-366.
- [58] 吴文荣. 滇东南退化暖性草从草地植被恢复的技术研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2004.
- [59] 管春德. 云南宣威市宝山镇山地灌丛植被恢复效果的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [60] 张璐, 郝乙台, 齐雨雪, 等. 草原群落生物量和土壤有机质含量对改良措施的动态响应[J]. *植物生态学报*, 2018, 42(3): 317-326.
- [61] 郑周敏. 黄土高原不同封育年限草地土壤理化和生物学性质变化[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [62] 夏小伟, 靳瑰丽, 安沙舟, 等. 伊型绢蒿荒漠草地围封后的土壤动态[J]. *草业科学*, 2016, 33(4): 573-583.
- [63] 肖金玉, 蒲小鹏, 徐长林. 禁牧对退化草地恢复的作用[J]. *草业科学*, 2015, 32(1): 138-145.
- [64] 刘建. 宁夏盐池县沙化草地植被变化及围封措施效果研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [65] 尹卫, 田海宁, 杨国柱, 等. 青海湖南岸地区几种豆科牧草天然草地补播试验[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2019(12): 117-120.
- [66] 彭中山. 退化高寒草甸补播施肥后的生长发育及其生物量季节变化分析[J]. *南方农业*, 2019(15): 153-154, 157.
- [67] 杨增增, 张春平, 董全民, 等. 补播对中度退化高寒草地群落特征和多样性的影响[J]. *草地学报*, 2018, 26(5): 1071-1077.
- [68] 王伟, 徐成体, 曾鹏. 补播对高寒草甸生物量和养分的影响[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2017, 47(6): 9-14.
- [69] 郑华平, 陈子萱, 牛俊义, 等. 补播禾草对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. *草业学报*, 2009, 18(3): 28-33.
- [70] 董世魁, 温璐, 李媛媛, 等. 青藏高原退化高寒草地生态恢复的植物-土壤界面过程[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [71] 冯忠心, 周娟娟, 王欣荣, 等. 补播和刈破草皮对退化亚高山草甸植被恢复的影响[J]. *草业科学*, 2013, 30(9): 1313-1319.
- [72] 赵新全. 三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [73] 韩建国. 草地学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [74] 王莹, 张英俊, 戎郁萍. 草地植被恢复技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003.
- [75] 杜伟. 不同处理措施对退化草甸草原植被和土壤的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
- [76] 秦燕, 刘文辉, 何峰, 等. 施肥与切根对退化羊草草原土壤理化性质和酶活性的影响[J]. *草业学报*, 2019, 28(1): 5-14.
- [77] 杨铭. 青海省退化草地改良技术研究[J]. *养殖与饲料*, 2018(9): 135-136.
- [78] 白玉婷, 卫智军, 闫瑞瑞, 等. 施肥对羊草割草地牧草产量及品质的影响[J]. *中国草地学报*, 2017, 39(4): 60-66.
- [79] 代景忠. 切根与施肥对羊草草甸草原割草场植被与土壤的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [80] 欧为友. 氮磷钾肥不同施肥配方对高寒草甸植物群落生物量的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2016(9): 162-165.
- [81] 王守顺, 于健龙. 围栏封育+人工补播措施对“黑土滩”退化草地生物量的影响[J]. *青海草业*, 2018, 27(1): 11-13, 10.
- [82] 王伟, 梁存柱, 刘钟龄, 等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究IV. 恢复演替过程中植物种群动态的分析[J]. *干旱区资源与环境*, 1999(4): 44-55.
- [83] 闫志坚, 孙红. 不同改良措施对典型草原退化草地植物群落影响的研究[J]. *四川草原*, 2005(5): 1-5.

(上接第29页)

- [37] JYRKI H, JORMA I. Effect of repeated harvesting on biomass production and sprouting of *Betula pubescens* [J]. *Biomass and bioenergy*, 2001, 20(4): 237-245.
- [38] 黄世能, 郑海水, 翁启杰. 不同轮伐期和重复采收对大叶相思萌芽更新和林分产量的影响[J]. *林业科学研究*, 1995(5): 528-534.
- [39] 王改萍. 杉木休眠芽萌发的氮素代谢和氮素营养研究[J]. *林业科技开发*, 2000, 14(6): 11-13.
- [40] 马闯, 张文辉, 薛瑶芹, 等. 邻体竞争和环境因子对栓皮栎伐桩萌芽表型特征的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(10): 71-80.
- [41] LUCKWILL L C. Studies of fruit development in relation to plant hormones. II. The effect of naphthalene acetic acid on fruit set and fruit development in apples [J]. *Journal of horticultural science*, 1953, 28(1): 25-40.
- [42] KENDE H, ZEEVAART J. The five "classical" plant hormones [J]. *The plant cell*, 1997, 9(7): 1197.
- [43] 高健, 程淑婉. 杉木伐桩休眠芽萌发时的内源激素状况[J]. *林业科学研究*, 1994(5): 550-554.
- [44] 薛瑶芹. 栓皮栎无性繁殖及其在种群恢复中的作用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [45] 王红清, 刘国杰, 孙华, 等. 生长调节剂对水晶梨叶芽萌发及成枝的影响[J]. *中国果树*, 2004(6): 8-10.
- [46] 段成国, 李宪利, 高东升, 等. 剥鳞和激素处理对大樱桃花芽休眠解除及内源激素变化的影响[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(4): 615-620.
- [47] TAYLOR J S, BLAKE T J, PHARIS R P. The role of plant hormones and carbohydrates in the growth and survival of coppiced *Eucalyptus* seedlings [J]. *Physiologia plantarum*, 1982, 55(4): 421-430.
- [48] 刘慧东, 王璐, 朱景乐, 等. 基于短周期矮林模式的外源激素提高杜仲胶产量的效果[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(5): 46-52.
- [49] MIDGLEY J J. Why the world's vegetation is not totally dominated by resprouting plants; because resprouters are shorter than reseeder [J]. *Ecography*, 1996, 19(1): 92-94.
- [50] 朱万泽, 王金锡, 罗成荣, 等. 森林萌生更新研究进展[J]. *林业科学*, 2007, 43(9): 74-82.
- [51] TEIXEIRA P C, NOVAIS R F, BARROS N F, et al. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil [J]. *Forest ecology & management*, 2002, 160(1): 263-271.
- [52] 张志鸿, 翁启杰. 整地施肥对尾叶桉萌芽林生长影响的研究[J]. *广东林业科技*, 2003, 19(2): 22-25.
- [53] 江松远, 杨曾奖, 徐大平, 等. 施肥对尾叶桉萌芽林生长的影响[J]. *林业科学研究*, 2002, 15(6): 666-671.
- [54] 杨少林, 丁维民. 杉木萌芽更新幼林施肥试验总结[J]. *江西林业科技*, 1995(3): 29.
- [55] 周文龙, 杨曾奖. 桉树施肥及营养诊断中的几个问题[J]. *广东林业科技*, 1994(4): 5-10.
- [56] KOOP H. Vegetative reproduction of trees in some European natural forests [J]. *Vegetatio*, 1987, 72(2): 103-110.
- [57] VERWIJST T. Environmental correlates of multiple-stem formation in *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* [J]. *Vegetatio*, 1988, 76(1/2): 29-36.