

中国沙棘平茬萌蘖种群的密度动态及其调节规律

李甜江^{1,2}, 李允菲¹, 田涛³, 贺斌², 徐德兵⁴, 高甲荣¹, 李根前^{1,2}

(1. 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224; 3. 陕西省公路局 西安苗圃, 陕西 西安 710068; 4. 云南省林业科学院, 云南 昆明 650204)

摘要: 以样地每木检尺资料为基础, 依据“空间差异代替时间变化法”以及“样地编年序列法”的原理, 探讨了中国沙棘 *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* 平茬萌蘖种群的密度动态及其调节规律。结果表明: 通过萌蘖植株、分蘖和构件密度制约的出生与死亡调节, 中国沙棘从个体数量、分株形态、构件生物量分配等不同层次维持种群适宜的数量和结构。①种群通过萌蘖植株的出生与死亡调节不断改变着种群密度, 依次可将种群密度动态分为上升、下降和平稳等3个阶段。②种群通过分蘖的出生与死亡调节, 不断改变着萌蘖植株的形态。随着种群基盖度的增大, 合轴型分株的比例下降而单轴型分株的比例上升。③种群通过构件的出生与死亡调节, 不断改变着构件的生物量分配。随着种群基盖度的增大, 枯枝生物量分配上升而叶片生物量分配下降, 克隆器官和根系的生物量分配均呈下降趋势。④研究对象的生物量分配已趋于平稳, 亟待再次平茬或创造林窗恢复种群的繁殖、生长和存活能力。由此可得出结论: 中国沙棘平茬后, 通过克隆植株、分蘖及构件的密度制约出生与死亡调节, 使种群形成与环境资源供应水平相适应的个体数量与分株形态, 从而实现对生境资源的合理利用以及种群持久性的维持。图3表1参22

关键词: 森林生态学; 平茬萌蘖; 密度动态; 克隆生长型; 生物量分配; 调节规律; 中国沙棘

中图分类号: S718.54 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2011)05-0713-07

Density dynamics with model adjustments for stump sprouts of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*

LI Tian-jiang^{1,2}, LI Yun-fei¹, TIAN Tao³, HE Bin², XU De-bing⁴, GAO Jia-rong¹, LI Gen-qian^{1,2}

(1. Forestry College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China; 3. Xi'an Nursery of Shaanxi Highway Bureau, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 4. Yunnan Academy of Forestry, Kunming 650204, Yunnan, China)

Abstract: Stumping is one of the important methods for tending management and restoration of population stability. In order to understand the adjustment regulation of density change which could provide scientific basis for population restoration and management of stump sprout, the density dynamic of stump sprout population was studied. Based on measurement of all individuals in a population of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* at different successional stages, model adjustments of density dynamics and stump sprouts in the Mu Us sandy lands of north central China were analyzed using a spatial series substituted for a time series and plots arranged by age. In a model with variables of individual number, ramet morphology, and biomass adjustments were made by changing sprout and survival rates of regenerated plants, ramet number, and plant density. Results showed that (1) population density had three stages increasing, decreasing and steady in turn; (2) morphological changes of regenerated plant included an increased population base diameter a decreased ratio of complex axis and an increased ratio of single axis; (3) biomass distribution constantly changed with sprout and

收稿日期: 2010-12-26; 修回日期: 2011-01-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31070551, 30371193); 国际科技合作项目(2008DFA32270)

作者简介: 李甜江, 博士研究生, 从事森林生态学与森林培育学等研究。E-mail: litianjiang92@yahoo.com.cn。通信

作者: 李根前, 教授, 从事森林生态学与森林培育学等研究。E-mail: lgenqian@swfc.edu.com

survival adjustments. As the population base diameter increased, the dead branch biomass ratio increased and leaf biomass ratio decreased. Meanwhile, the ratios of clonal organs and mean root all decreased. Since growth and survivability could improve with a further stump sprouting, individual number and ramet morphology could be improved by adjusting the sprout and survival rate of clonal plants and ramets to help realize a rational utilization of the resource and maintenance of the population. [Ch, 3 fig. 1 tab. 22 ref.]

Key words: forest ecology; stump sprout; density dynamics; clonal growth pattern; biomass distribution; adjustment rule; *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*

林木平茬是利用树种(主要是阔叶树种)的萌芽能力,截去已成活苗木或幼树的大部分主干,促使其长出新干或新茎的一种技术措施^[1]。其中,有些树种平茬后依靠伐桩萌蘖,如许多杨树 *Populus* spp.,有些树种同时依靠伐桩和根系萌蘖,如沙棘 *Hippophae* spp.。目前,林木平茬多用于林分更新或复壮,研究内容集中在平茬效果及平茬技术方面,研究对象主要是一些萌芽力较强的用材林树种、防护林树种和薪炭林树种,也涉及经济林树种,甚至蔬菜(茄子 *Solanum melongena*,番茄 *Lycopersicon esculentum* 等)^[2-8]。平茬是沙棘抚育管理和恢复种群稳定性的重要手段之一,通过平茬不但可以获得燃料和饲料,而且还能够促使根系和伐桩大量萌蘖,从而达到更新复壮之目的^[9-12]。中国沙棘 *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* 是沙棘属植物资源数量最大的类群,集中分布在黄土高原、毛乌素沙地以及鄂尔多斯高原等地区,以森林草原、干草原和荒漠为背景,自然灾害频繁,干旱危害严重,因此,造林成效较差。所幸的是经过数十年的不懈努力,该地区已经营造了大面积的沙棘林,并在生态环境治理中发挥着巨大的作用^[13-15]。如何使现有的沙棘林持续地发挥其生态功能和经济功能是很多林业科技工作者长期探索的热点之一。研究表明:中国沙棘可通过林窗更新、林缘扩散以及平茬更新维持群落的稳定性和持久性^[16-18]。关于平茬萌蘖种群动态的系统研究目前尚无报道。本研究以中国沙棘为对象,试图通过平茬萌蘖种群的密度动态研究,掌握种群数量消长调节规律,为种群恢复及平茬萌蘖林的经营管理提供科学依据,同时丰富克隆植物种群生态学的研究内容。

1 研究区概况

研究区位于陕西省靖边县,地处陕、甘、宁、蒙4省(区)交界地区,介于37°29'~38°01'N,108°17'~109°20'E。属于中温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温为7.8℃,极端高温为35.8℃,极端低温为-28.5℃,≥10℃积温为2 904.9℃;年均降水量仅为394.5 mm,且集中在8月和9月,年平均相对湿度为54%,年蒸发量为2 361.6 mm;年均日照时数为2 768.8 h,年均无霜期为130 d。总体气候特征是四季分明,光照充足,降水贫乏,干旱和大风危害严重。自然地貌属于黄土高原和鄂尔多斯高原的过渡地带,以风沙土、黄绵土和盐土为主;土壤耕性良好但保水保肥能力较差,普遍缺乏有机质。地带性植被属干草原,以旱生植物为主。由于长期的破坏,大面积植物群落极少保存,主要草本及灌木种类有沙米 *Agriophyllum squarrosum*,刺沙蓬 *Salsola ruthenica*,沙柳 *Salix psammophila*,柠条 *Caragana korshinski* 等,主要乔木树种有旱柳 *Salix matsudana* 和小叶杨 *Populus simonii* 等^[19]。样地选设在沙石岭林场万亩林基地,地处毛乌素沙地南缘,土壤为风沙土,地势较平坦,生境条件基本一致。

2 材料与方 法

2.1 研究材料

本次调查对象是中国沙棘人工林经过平茬后形成的萌蘖林,更新前林分年龄为20 a。中国沙棘为小乔木或灌木,广泛分布于我国北部干旱半干旱地区,它不仅是优良的多用途树种(multiple purpose tree),又是典型的克隆植物(clonal plant),其根系是兼具深根性树种和浅根性树种根系特征的“复合型”根系,侧根(特别是1级侧根)在水平延伸过程中可产生大量不定芽,这些不定芽在第2个生长季萌发出土成苗,使其具有极强的根蘖能力^[20]。平茬后,中国沙棘也能依靠伐桩进行萌蘖^[9]。

2.2 研究方法

2.2.1 样地选择与设置 根据“空间差异代替时间变化法”的原理,样地选择采用典型抽样法,即在全

面踏查比较的基础上，选择处于不同发育阶段但立地条件和优势植物种类一致的地段设置样地 6 块。幼林样地面积 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ ，成林样地面积 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。样地设置后，将其划分成 $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 的小格子样方，并以小格子样方为单元进行种群参数测定。

2.2.2 样地每木检尺 以小格子样方为单元，逐一对样地内的植株进行测定。由于中国沙棘萌蘖植株可分为单轴型(独立的 1 个植株)和合轴型(拥有 2 个以上的分蘖)，因此，调查前必须正确识别以确定适宜的调查方法。一般情况下，单轴型和合轴型植株根据形态特征、基部弯曲走向及距离判断。难以确定时，通过挖掘来识别。对于单轴型植株，主要测定高度、地径(或胸径)、冠幅(垂直的 2 个方向)等常规指标以及年龄(伐倒查数年轮)；对于合轴型植株，先测定丛径、总蘖数、活蘖数和死蘖数，然后选取其中最大的以及接近平均值的分蘖测定高度、地径(或胸径)和年龄。统计分析时，单轴型植株记为株，而合轴型植株记为丛，合轴型内的植株记为蘖。

2.2.3 生物量测定 地上生物量测定采用全刈法，即根据每木检尺结果，选择生长参数适中的小格子样方，将小格子内的植株全部收获并分为干、枝(分为活枝和死枝)和叶，称量；克隆器官及根系测定采用全挖法，即将相应小格子样方内的地下部分全部挖出，分别对克隆器官和根系进行称量。然后，将上述构件取一定数量的样品带回实验室烘至恒量，据此推算种群总生物量、各构件生物量干质量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)及其比例(%)。其中，克隆器官和根系依据其分布和形态特征区分，克隆器官随地形呈水平走向，表皮厚并似肉质状，是萌蘖植株之间的连接器官；根系则斜向下生长，根毛丰富但表皮较薄。

2.2.4 克隆生长型统计 克隆生长型采用克隆生长型系数法进行统计分析。克隆生长型系数是指种群中单轴型植株数量占植株个体总数的百分比。计算公式为： $C_{Ai}=A_{Si} \times 100/A_{Ti}$ 。其中： i 为样地序号， C_{Ai} 为样地 i 的克隆生长型系数， A_{Si} 为样地 i 的单轴型植株数目， A_{Ti} 为样地 i 的植株个体总数^[21]。

2.2.5 密度动态及其调节 种群密度动态分析采用样地编年序列法，种群年龄以最大 3 株的平均值为准；密度制约以种群基盖度为自变量进行分析，基盖度为样地平均地径与密度之乘积。因为木本植物群落中个体差异很大，因此，种群密度制约同时取决于个体数量和个体大小，基盖度则包含了这 2 个方面的信息。

3 结果与分析

3.1 种群密度动态与调节

3.1.1 种群密度动态 中国沙棘平茬萌蘖种群密度随种群年龄变化的动态关系，可分为 2 个阶段拟合：由于 4 a 以前种群个体数量处于增长阶段，没有整个分株的死亡，因此，4 a 以前的种群密度动态依据样地 2 的资料，采用“倒逐年龄累加法”，追踪其动态过程，即第 1 年的种群(初始种群)由 4 a 个体组成，第 2 年的种群由 4 a 和 3 a 个体共同组成，其余依次类推。4 a 以后的种群由于发生了稀疏现象，因此，其密度动态采用样地 3，样地 4，样地 5，样地 6 的数据进行拟合。经过比较选择，得到如下回归方程：

$$D = 15\ 937A^{1.2713}, 0 \leq A \leq 4, r = 0.989, P < 0.05; \quad (1)$$

$$D = 811\ 997A^{1.612}, 5 \leq A \leq 10, r = 0.994, P < 0.01. \quad (2)$$

式(1)(2)中： A 为种群年龄(a)， D 为相应的种群密度[株(或丛)· hm^{-2}]。

从式(1)，式(2)和图 1 可见：中国沙棘平茬萌蘖种群的密度动态可分为 3 个阶段，4 a 以前随着种群年龄的增大而迅速上升，5 ~ 8 a 期间随种群年龄的增大而急剧下降，9 ~ 10 a 期间随着种群年龄的增大而缓慢下降并趋于保持在一定水平上。

3.1.2 种群密度调节 对于中国沙棘平茬萌蘖种群来说，密度动态首先体现在萌蘖植株(包括单轴型与合轴型)的数量消长上。由表 1 和图 1 可见：4 a 以前种群的出生率很高，种群密度随着种群年龄的增大

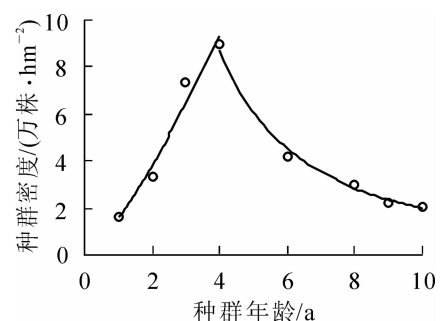


图 1 中国沙棘平茬萌蘖种群密度动态

Figure 1 Density dynamics of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* sprout population

而迅速上升；5~8 a期间，种群的出生率较低或死亡率较高，种群密度随着种群年龄的增大而迅速下降；9~10 a期间，种群的死亡率逐渐降低，从而使种群密度维持在一定水平上。由此表明：中国沙棘通过萌蘖植株的出生与死亡调节不断改变着种群密度(个体数量)，其变化过程可分为上升、下降和平稳等3个阶段。

表 1 中国沙棘平茬萌蘖种群基本参数

Table 1 Parameters of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* sprout population

样地编号	种群年龄/a	种群密度/(株·hm ⁻²)	种群基盖度/(m·hm ⁻²)	克隆生长型/%	蘖死亡率/%
1	2	65 000	0.63	42.31	7.50
2	4	90 000	2.06	55.56	14.36
3	6	42 000	1.90	26.67	27.63
4	8	30 000	3.86	36.11	44.44
5	9	22 083	5.07	45.28	48.95
6	10	20 800	5.17	53.85	35.51

3.2 萌蘖植株克隆生长型动态及其调节

3.2.1 萌蘖植株的克隆生长型动态 种群内个体之间的竞争，不仅使萌蘖植株的数量发生了变化，同时还改变了萌蘖植株的克隆生长型。为了解克隆生长型的动态变化过程，采用稀疏阶段样地 3，样地 4，样地 5，样地 6 号资料进行分析。根据回归结果，得到如下方程(图 2)：

$$y_3 = 18.026e^{0.194x}, r = 0.971, P = 0.029. \quad (3)$$

式(3)中： y_3 表示克隆生长型系数， x 表示种群的基盖度。由表 1 可见：萌蘖初期(4 a)以前，蘖的死亡率低，种群的单轴型和合轴型植株比例接近；萌蘖中期(5~8 a)，蘖的出生率和死亡率都较高种群以合轴型分株为主；萌蘖后期(9~10 a)，蘖的死亡率逐渐下降，种群的单轴型和合轴型植株比例接近。由图 2 和式 (3)可见：随着种群基盖度的增大，克隆生长型系数呈指数函数上升，即单轴型植株的比例上升、合轴型分株的比例下降。由此表明：在稀疏过程中，克隆生长型系数随着种群基盖度的增大而上升，基盖度小时种群以合轴型分株为主，基盖度大时种群以单轴型分株为主，即种群在个体形态水平对密度做出响应。

3.2.2 克隆植株的克隆生长型调节 克隆生长型的改变，是由于合轴型分株(萌蘖丛)内蘖的密度制约死亡所导致。为了解合轴型植株内部分蘖之间的调节规律，对 4 a 种群的典型萌蘖丛进行了调查和统计，并做如下分析。丛内蘖数与蘖存活状况的关系：为了解萌蘖丛内蘖数与蘖存活状况的关系，以丛内蘖数为自变量，以蘖的存活指标为因变量进行回归分析，得到如下方程：

$$y_4 = 1.112 5x^{0.764 6}, r = 0.979 5, P < 0.01; \quad (4)$$

$$y_5 = -1.626 5 + 0.538 6x, r = 0.981 7, P < 0.01; \quad (5)$$

$$y_6 = 55.028 + 99.254/x, r = 0.765 3, P < 0.01. \quad (6)$$

式(4)~(6)中， x 表示合轴型分株(萌蘖丛)内的蘖数， y_4 ， y_5 ， y_6 分别表示萌蘖丛内的活蘖数、死蘖数以及蘖的存活率(%)。式(4)表明：活蘖数与丛蘖数之间呈幂函数关系，丛蘖数每增加 1 个对数单位，活蘖数将增加 0.764 6 个对数单位；式(5)表明：死蘖数随丛蘖数的增加呈直线上升，丛蘖数每增加 1 个单位死蘖数将增加 0.538 6 个单位；式(6)表明：蘖的存活率与蘖数之间呈变形双曲线关系，随着丛蘖数的增加，存活率逐步下降并趋近于 55%。由此可见：丛内蘖数的增加将使活蘖数和死蘖数同时增加，但其存活率最终将趋于一定水平。通过丛内分蘖的存活与死亡调节，中国沙棘平茬萌蘖种群实施对分株克隆生长型(即个体形态)的调控。丛内蘖数与丛生性状的调节：为了解丛内蘖数与丛生性状的调节，以丛

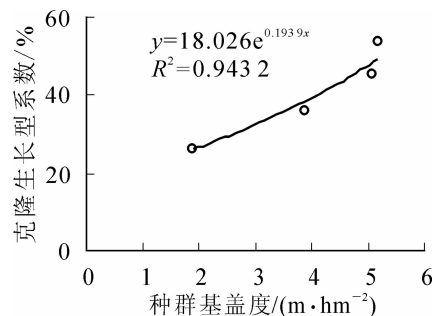


图 2 克隆生长型系数与种群基盖度的关系
Figure 2 Relationship between index of clonal growth form and the total base diameter of population

内蘖数为自变量、以丛的生长指标为因变量进行回归分析，得到如下方程：

$$y_7 = 0.2917x^{0.4188}, r = 0.7687, P < 0.01; \quad (7)$$

$$y_8 = 116.80 + 43.33x, r = 0.8514, P < 0.01; \quad (8)$$

$$y_9 = 2.1382 + 0.7007x, r = 0.9813, P < 0.01. \quad (9)$$

式(7)~(9)中: x 表示合轴型植株(萌蘖丛)内的蘖数, y_7 , y_8 , y_9 分别表示萌蘖丛的直径、丛生物量(g)以及丛枯死量(g)。式(7)表明:丛径随萌蘖数量的增加呈幂函数上升,丛内蘖数每增加1个对数单位丛径将增加0.4118个对数单位;式(8)和式(9)表明:丛生物量、丛枯死量均与丛内蘖数呈直线关系,即丛蘖数的增加既可促进丛生物量的增加,又能促使丛枯死量的增大。由此表明:通过蘖的出生与死亡调节,中国沙棘平茬萌蘖种群对合轴型分株大小及其生产力实施调控。

3.3 平茬萌蘖丛构件的生物量分配调节

由于密度制约,种群在个体水平发生自疏及个体形态调节的同时,也在构件水平做出响应。在此采用地上构件和地下构件的生物量分配动态进行分析。由对密度反应比较明显的构件枯枝、叶片、克隆器官、根系等与种群基盖度动态的关系可知(图3):随着种群基盖度的增大,枯枝生物量分配比例呈幂函数上升、叶片生物量分配比例呈指数函数下降、克隆器官的生物量分配比例呈指数函数下降、根系的生物量投资比例呈幂函数下降。由此表明:随着种群基盖度的增大,种群在枝条、叶片、克隆器官和根系水平均产生了自疏现象。

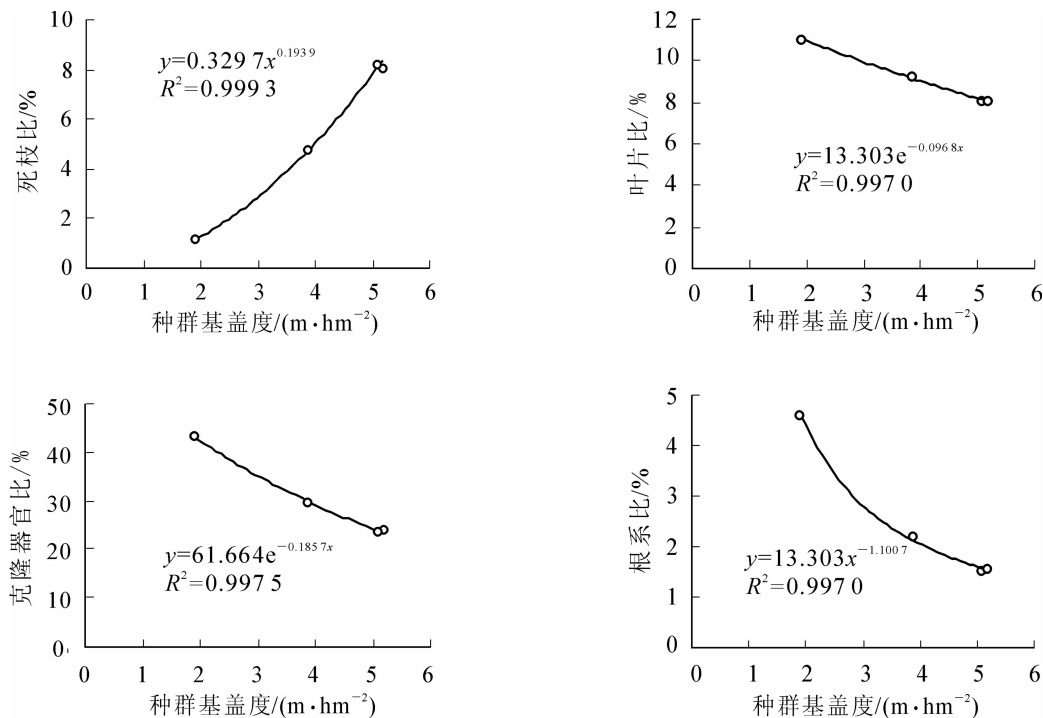


图3 构件生物量分配与种群基盖度的关系

Figure 3 Relationship between biomass allocation of module of population

4 结论与讨论

4.1 结论

种群通过萌蘖植株的出生与死亡调节,不断改变着种群的个体数量。4 a 以前,分株的出生率很高,种群密度随着种群年龄的增大而上升;5~8 a 期间,分株的出生率低或死亡率高,种群密度随着种群年龄的增大而下降;9~10 a 期间,分株的死亡率逐渐下降,种群密度具有保持在一定水平的趋势。因此,中国沙棘平茬萌蘖种群的密度动态可分为上升、下降和趋于平稳等3个阶段。

种群通过合轴型分株内蘖的出生与死亡调节,不断改变着萌蘖植株的形态特征。在种群自疏阶段,单轴型分株比例随着种群基盖度的增大而上升,基盖度小时种群以合轴型分株为主、基盖度大时种群以

单轴型分株为主。

种群通过构件的出生与死亡调节,不断改变着构件的生物量分配。随着种群基盖度的增大,枯枝生物量分配比例上升而叶片生物量分配比例下降,而克隆器官和根系的生物量分配比例均呈下降趋势。

4.2 讨论

中国沙棘种群能够通过平茬调节,恢复其种群的结构和数量,实现种群密度和生物量迅速增长,在一定程度上恢复和维持了其种群的稳定性。因为平茬改善了林内通风透光的条件,增加了光照强度,提高了土壤温度,从而促使植株基部或邻近地表的根系萌蘖出大量的丛生枝条或分株,扩大单株冠幅及种群的覆盖面积和生物量^[22]。文献[9-12]的研究表明,沙棘林平茬后,生长量、生物量、萌蘖与根蘖株数等都显著增加。本研究亦表明:中国沙棘在平茬更新以后,种群密度动态取决于克隆植株的出生与死亡调节,而克隆植株的克隆生长型取决于分蘖的出生与死亡调节。平茬初期(4 a以前),由于幼苗幼树个体小,环境所能容纳的个体数量多,因此,种群以产生克隆植株为主,种群密度随着种群年龄的增大而上升,这样不但有利于整个种群在条件适宜时尽快地占领生境空间,而且有益于对生境资源的充分利用。随着个体的生长和环境所能容纳的个体数量减少,虽说种群通过产生分蘖形成更多的合轴型分株来进一步利用生境资源,但克隆植株的出生率下降,死亡率升高,因此使种群密度随着种群年龄的增大而下降(5~8 a)。随着种群密度的下降,克隆植株之间的竞争死亡有所下降,种群密度趋于保持在一定水平上(9~10 a)但是,合轴型克隆植株内部分蘖之间的竞争死亡导致单轴型分株的比例有所上升。这样,不仅提高了克隆植株在异质生境中的存活和生长概率,也有利于种群持久性的维持。

在克隆植株、分蘖出生和死亡调节的同时,种群在构件水平也对密度做出了响应,这一响应在种群自疏阶段的表现尤其明显。在地上构件中,死枝生物量分配比例随着种群基盖度的增大而上升,叶片的生物量分配比例随着种群基盖度的增大而下降;在地下构件中,克隆器官和根系的生物量分配比例均随种群基盖度的增大而下降。枯枝生物量分配的上升和叶片生物量分配的下降,将导致克隆植株或分蘖存活能力的下降;克隆器官生物量分配比例的下降,将导致种群克隆繁殖、养分转输和资源储藏能力的下降;根系生物量分配比例的下降,将导致土壤资源吸收能力的下降。由图3和图4可见:9~10 a时,上述构件的生物量分配已经趋于平稳。因此,只有等待再次平茬或林窗的出现,种群才能恢复其繁殖、环境资源利用能力以及生长与存活概率。

上述结果表明:中国沙棘在平茬后的更新过程中,通过克隆植株、分蘖及构件的密度制约出生与死亡调节,使种群形成与环境资源供应水平相适应的个体数量与分株形态,从而实现了对生境资源的合理利用以及种群持久性的维持。但是,平茬更新种群持久性的长期维持仍然有依赖于及时平茬或林窗的出现。

参考文献:

- [1] 孙时轩. 造林学[M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [2] 孙德学, 孙强, 李吉文, 等. 杨树平茬复壮更新在实践中的应用[J]. 防护林科技, 2005 (2): 58.
XUN Dexue, SUN Qiang, LI Jiwen, *et al.* The application in fact of stumping rejuvenation renewal of poplar [J]. *Prot For Sci Technol*, 2005 (2): 58.
- [3] 高海银. 成过熟合作杨更新改造试验[J]. 陕西林业科技, 2004 (1): 18 - 20.
GAO Haiyin. The renewal reform experiment of over mature *Populus simonii* × *P. pyramidalis* 'Dpera 8277' [J]. *J Shaanxi For Sci Technol*, 2004 (1): 18 - 21.
- [4] 郑士光, 贾黎明, 庞琪伟, 等. 平茬对柠条林地根系数量和分布的影响[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32 (3): 68 - 73.
ZHENG Shiguang, JIA Liming, PANG Qiwei, *et al.* Stumping effects on number and distribution of roots of *Caragana microphylla* Lam. plantations [J]. *J Beijing For Univ*, 2010, 32 (3): 68 - 73.
- [5] 李应罡, 徐新文, 李生宇, 等. 沙漠公路防护林乔木状沙拐枣的平茬效益分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22 (8): 198 - 202.
LI Yinggang, XU Xinwen, LI Shengyu, *et al.* Analysis on the cutting benefit of *Calligonum arborescens* in shelterbelt along the Tarim Desert Highway [J]. *J Arid Land Res Environ*, 2008, 22 (8): 198 - 202.
- [6] 李光仁, 张晓琴. 引黄灌区沙化土地花棒林的平茬效应观测[J]. 甘肃林业科技, 2008, 33 (1): 16 - 18.

- LI Guangren, ZHANG Xiaoqin. Stump effect of sandy-land *Hedysarum scoparium* forest in Yellow River Diverting Irrigation Area [J]. *J Gansu For Sci Technol*, 2008, **33** (1): 16 – 18.
- [7] 田关森, 张鸿万, 沈庆仁, 等. 改造杉木低价值林试验初报[J]. 浙江林学院学报, 1991, **8** (2): 262 – 264.
TIAN Guansen, ZHANG Hongwan, SHEN Qingren, *et al.* Reforming test on low value forests of Chinese fir [J]. *J Zhejiang For Coll*, 1991, **8** (2): 262 – 264.
- [8] 刘恩举, 王文章. 东北西部薪炭林主要树种生理特性的研究[J]. 东北林业大学学报, 1993, **21** (2): 15 – 19.
LIU Enju, WANG Wenzhang. Study on the physiological properties of the main fuelwood tree species on the west of the northeast China [J]. *J Northeast For Univ*, 1993, **21** (2): 15 – 19.
- [9] 李根前, 唐德瑞. 毛乌素沙地中国沙棘平茬更新的萌蘖生长与再生能力[J]. 沙棘, 2000, **13** (4): 9 – 12.
LI Genqian, TANG Derui. The sprouting growth and regeneration ability of stumping renewal of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* in Mu Us Sandland [J]. *Hippophae*, 2000, **13** (4): 9 – 12.
- [10] 胡建忠. 沙棘平茬后年生长节律及再生能力的研究[J]. 沙棘, 1991, **4** (4): 25 – 32.
HU Jianzhong. The study of annual growth rhythm and regeneration ability of Seabuckthorn after stumping [J]. *Hippophae*, 1991, **4** (4): 25 – 32.
- [11] 姜树茂. 辽西干旱地区沙棘薪炭林的开发研究[J]. 沙棘, 1988, **1** (4): 27 – 34.
JIANG Shumao. The development study of seabuckthorn fuelwood in arid area of western Liaoning [J]. *Hippophae*, 1988, **1** (4): 27 – 34.
- [12] 包永平, 王景余, 孙德学, 等. 沙棘平茬复壮更新技术研究[J]. 防护林科技, 2000 (4): 20.
BAO Yongping, WANG Jingyu, SUN Dexue, *et al.* Study on technology of stumping and rejuvenating of *Hippophae rhamnoides* Liaa [J]. *Prot For Sci Technol*, 2000 (4): 20.
- [13] 李敏. 中国沙棘开发利用 20 年主要成就[J]. 沙棘, 2005, **18** (1): 1 – 6.
LI Min. The mostly achievement of China seabuckthorn exploitation and utilization in 20 years [J]. *Hippophae*, 2005, **18** (1): 1 – 6.
- [14] 胡建忠. 沙棘作为农村能源植物开发的可行性分析[J]. 国际沙棘研究与开发, 2005, **3** (1): 8 – 13.
HU Jianzhong. Feasibility on seabuckthorn development as an energy plant in rural areas of China [J]. *Global Seabuckthorn Res Develop*, 2005, **3** (1): 8 – 13.
- [15] TRAJKOVSKI V, JEPPSSON N. Domestication of seabuckthorn [J]. *Bot Lithuanica Supp*, 1999, **2**: 37 – 46.
- [16] 李根前, 黄宝龙, 唐德瑞, 等. 毛乌素沙地中国沙棘无性系生长调节[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (5): 682 – 686.
LI Genqian, HUANG Baolong, TANG Derui, *et al.* Regulation of clonal growth of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* population in Mu Us Sandland [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (5): 682 – 686.
- [17] 李根前, 黄宝龙, 唐德瑞, 等. 毛乌素沙地中国沙棘无性系种群林缘扩散规律[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, **25** (2): 9 – 13.
LI Genqian, HUANG Baolong, TANG Derui, *et al.* The edge dispersal clone population regulation of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* in the Mu Us Sandland [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2001, **25** (2): 9 – 13.
- [18] WATT A S. Pattern and process in the plant community [J]. *J Ecol*, 1974, **35**: 122 – 139.
- [19] 榆林地区农业计划委员会. 陕西省榆林地区农业区划[R]. 榆林: 榆林市林业站, 1987.
- [20] 高志义, 张玉胜. 沙棘根系特性的观察与研究[J]. 北京林业大学学报, 1989, **11** (4): 53 – 59.
GAO Zhiyi, ZHANG Yusheng. The observation and investigation on the feature of root system of seabuckthorn [J]. *J Beijing For Univ*, 1989, **11** (4): 53 – 59.
- [21] 刘庆, 钟章成. 斑苦竹无性系种群的克隆生长格局的研究[J]. 应用生态学报, 1996, **7** (3): 240 – 244.
LIU Qing, ZHONG Zhangcheng. Clonal growth pattern of *Pleioblastus maculate* clone population [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1996, **7** (3): 240 – 244.
- [22] 徐德兵, 李根前, 贺斌, 等. 克隆植物中国沙棘种群稳定性维持途径的探讨[J]. 国际沙棘研究与开发, 2006, **4** (4): 44 – 48.
XU Debing, LI Geqian, HE Bin, *et al.* A discussion on the population stability maintenance in clonal plant of *Hippophae rhamnoides* L. subsp. *sinensis* [J]. *Global Seabuckthorn Res Develop*, 2006, **4** (4): 44 – 48.