

唐 龙,周庆诗,王 卿,等. 植物种间的有利作用及其对外来种入侵过程的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(1):33-36.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.01.006

# 植物种间的有利作用及其对外来种入侵过程的影响

唐 龙<sup>1</sup>,周庆诗<sup>1</sup>,王 卿<sup>2</sup>,高 扬<sup>3</sup>,赵宇玮<sup>4</sup>

(1. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院,陕西西安 710049; 2. 上海市环境科学研究院,上海 200233;

3. 西安理工大学水利水电学院,陕西西安 710048; 4. 西北大学生命科学学院,陕西西安 710069)

**摘要:**我国植物入侵的态势严峻,因此需要深入理解入侵机制进而为有效管理入侵植物提供理论依据。目前,揭示外来植物成功入侵机制的研究聚焦于土著种和外来种之间的负相互作用。然而,植物种间的有利作用广泛存在,是群落组成的主要驱动因素。因此,在说明种间有利作用概念的基础上,分析以有利作用为核心揭示外来植物定植、建群与扩张等入侵过程中的障碍及其克服;并进一步提出从弱化土著种对入侵种有利作用的角度探索提高入侵预警准确性、防控效率的方法,以期为促进植物入侵认知和管理提供一个新的角度。

**关键词:**有利作用;植物入侵;负相互作用;外来种;土著种

**中图分类号:** Q145<sup>+</sup>.2;S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)01-0033-03

我国入侵植物达 200 余种,已引起了严重的生态、经济和社会后果,并仍然在快速地扩散<sup>[1-6]</sup>。因此,阐明入侵植物定植、建群与扩张的影响因素及效应,促进对植物群落构造机制的认识,从而探索如何降低群落可入侵性,提高环境管理的效率,是入侵生态学家的重要任务。

由于生物间负相互作用,例如竞争、寄生等在自然界中易于观测得到,所以得到了长期广泛的重视。然而,生物间有利作用形式多样,并且广泛存在<sup>[7-8]</sup>。因此,为了促进对入侵机制的理解,进而为入侵植物的预测、预防和治理提供依据,有必要在说明有利作用的基础上,剖析该作用在入侵过程中的效应及其在入侵植物管理中的重要性。

## 1 植物种间的有利作用

植物间相互作用对于群落构造是重要的,其中有利作用的内涵丰富。有利作用是指关联双方中

至少一方受利的种间关系<sup>[9-10]</sup>。由于存在而有助于其他植物生长的植物是有利作用的提供者,如保育种(nurse species)、奠基种(foundation species)、首要空间占领种(primary space holder species)和生态系统工程师物种(ecological engineer species),被提供的对象则是受利植物<sup>[11-13]</sup>。有利的形式多样,如调节微气候、改良基质性质、提高资源有效性、引入其他有利者如菌根、降低啃食;而且有利作用广泛存在,可存在于湿地、陆地和海洋中;可发生在草、灌、乔的各种组合之间<sup>[11-12,14]</sup>。因而,研究有利作用及其效应,能够丰富对植物分布、表现和共存的认识<sup>[15-18]</sup>。

有利作用可能是群落动态的初始驱动因素<sup>[13,15,19-22]</sup>。植物的固着性使得有利作用的效应更为显著。提供者可以吸引传粉者和种子的传播者,使得其他植物受利;或者,提供者通过缓解环境压力而为受利植物创造定植条件<sup>[20,23]</sup>。随时间推移,有利作用的双方将在同一空间成熟,暗示着受利者可能最终替代提供者,至少也会存在激烈的竞争<sup>[13,24-25]</sup>。这个起始于有利作用的转化可能推动着群落的演替。由此可见,比聚焦于演替中物种替代的研究更有意义的探索是聚焦于那些揭示演替中有利作用的时空模型或试验,而这样的探索可揭示入侵演替早期阶段外来种定植、小种群建立的机制。

从更广泛的角度重视植物间的正相互作用,有利于理解个体适合度、种群分布与生长率、物种组成、甚至景观尺度的群落动态。自然世界由冲突和

收稿日期:2020-09-09

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31670548);西部资源生物与生物技术教育部重点实验室科研项目(编号:ZSK2018005);长江河口滩涂生态环境多要素空天地立体监测技术研究(编号:20dz1204703);上海市生物多样性监测评估体系及关键技术研究(编号:沪环科[2020]第8号)。

作者简介:唐龙(1976—),男,陕西宝鸡人,博士,副教授,主要从事入侵生态学相关研究。E-mail:tanglong@xjtu.edu.cn。

通信作者:赵宇玮,博士,教授,主要从事植物生物技术相关研究。E-mail:zhaoyw@nwu.edu.cn。

贫瘠构建的观点支配着生态学,并且从达尔文起,一直受到生态学家的支持。著名的研究包括 Lotka 和 Volterra 的种间竞争数学模型、Gause 的竞争排除原则以及 Hutchinson 和 MacArthur 的生态位和物种填充理论<sup>[10,26-28]</sup>。这些强调负相互作用的研究指出,通过阿里效应,正密度依赖性仅可发生在低密度种群中,所以不存在生存于高密度居群中获益的事件<sup>[24,26-27]</sup>。然而,有关存活率与种群密度正相关的报道不断增加,暗示着有利作用可能在种群和群落动态中的重要性和其他因素一样<sup>[8-15]</sup>。因此,将有利作用归并入种群与群落生态学的理论、模型以及范式中,才能够完善理论及预测,进而使其成为认识和保护自然群落的基础。

## 2 植物种间有利作用与生物入侵

目前的入侵生态学研究聚焦于土著种与外来种的负相互作用。由于生态学一直强调物种间负相互作用在群落构造中的效应,因而获得竞争、化感、寄生的证据,被有意识地设定为植物入侵相关研究的目标,并通过多年积累,有力地支持了负效应观点,即抑制是入侵群落结构、动态与生产力的主要决定因素<sup>[19,29]</sup>。12 个解释植物入侵的假说都是以生物间负作用为基础,可归为 3 类:外来植物从原产地生物负作用中的逃逸、入侵种在与入侵地土著种负相互作用中的优势(或劣势)、降低土著种对入侵种负作用的因素等<sup>[26]</sup>。

就入侵生态学而言,利用土著种对入侵种的可利作用,才能合理解释一些现象<sup>[10,19,26-28,30]</sup>。有研究发现,随尺度的增加,由于取样效应,土著植物样本中将包含那些有利于外来植物的土著种<sup>[9,15,22,31]</sup>。例如,一些入侵植物的幼苗难以在裸地存活,而在土著植物冠层下的密度较高,这归因于土著种对入侵种种子的富集以及幼苗的保护,包括强光、啃食等<sup>[19,26-27,32]</sup>。因此,为了全面地理解入侵机制,阐明入侵演替的动力,需揭示有利于入侵植物的土著植物种类、有利作用的效应和类型。

土著种可以有利于外来种<sup>[22]</sup>。如一些外来植物依赖于土著鸟类和哺乳动物传粉,并且有些入侵者获得了土著根际真菌的支持<sup>[13,17,19,32]</sup>。这些发现对入侵生态学具有广泛的启示,因为它指示了,由有利作用驱动的非随机定植被替序列,该序列起始于能提供生境的土著植物种群的建立,从而加强了外来种繁殖体的保留与萌发。由此可见,有利作用

需要被明确地归入植物入侵的机制中。

关注有利效应,可从弱化该效应的角度构建入侵植物扩散的预警、防控体系。由于目前的基础研究聚焦于负相互作用,入侵管理的应用研究常着重说明,如何提高土著种的竞争能力<sup>[24]</sup>,以降低群落的可入侵性。相对照的,从正相互作用出发,探索如何弱化土著种对入侵种的有利效应,进而降低入侵植物定植、建群的可能性,将是自然群落管理的一个新角度。为此,揭示有利于入侵植物的土著种的特征,为植被建设中土著种的选择提供依据,并为提高入侵预测的准确性奠定基础。

目前,有利作用证据的获得是通过空间格局调查与田间操控试验。空间格局的调查可证明自然群落中存在有利作用,常见的形式是一种植物的幼苗(受利者)和其他植物成体(提供者)之间正的空间关联,被称为“保护植物集合”(nurse-plant syndrome)<sup>[12,25]</sup>。但调查不能区分受利者对有利作用与微生境的需求<sup>[13,16,33]</sup>;所以,需要补充田间操作试验,即在添加或去除研究对象后,观测植物表现的变化,进而获得有利作用的强证据,并理解其机制。然而,假如操作不当,有利作用的重要性将不能被客观地评价<sup>[9,34-36]</sup>。例如,消除遮阴正效应但没有降低根的竞争强度,重要性将被高估<sup>[15,31]</sup>。因而,理解和预测有利作用在入侵过程中的作用,需要谨慎设计与操作试验。

## 3 展望

如上所述,植物种间的有利作用将促进外来植物的入侵,而从有利作用的角度来研究生物与环境的关系、物种的生态系统功能及生态系统水平上的效应是新的课题。可以预测,未来的研究需要聚焦在以下 3 个方面:(1)有利作用的形式,包括非资源环境胁迫的缓解、资源有效性的提高、啃食的保护、传粉者的吸引以及繁殖体的富集。(2)说明每类有利作用主要提供者的生物学特征。(3)揭示每类有利作用在该入侵植物个体表现、种群增长中的效应。这类研究将区别于强调负作用的常规研究,从另一角度认识入侵植物定植、建群过程中的障碍与克服,促进对植物分布、表现与共存的理解,并有望把有利作用纳入以负作用为基础的种群与群落模型中,进而帮助完善群落理论、提高入侵预测的准确性;同时,以弱化有利作用为出发点,指导自然群落的管理,如植被建设中土著种的选择等,是降低

群落可入侵性的新角度。

# 参考文献:

- [1] 万方浩,郑小波,郭建英. 重要农林外来入侵物种的生物学与控制[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [2] 张国良,曹勘程,付卫东. 农业重大外来入侵生物应急防控技术指南[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [3] 中华人民共和国生态环境部自然生态保护司. 关于发布中国第一批外来入侵物种名单的通知[EB/OL]. (2003-01-10)[2020-09-09]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022\\_172155.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172155.htm).
- [4] 中华人民共和国生态环境部自然生态保护司. 关于发布中国第二批外来入侵物种名单的通知[EB/OL]. (2010-01-07)[2020-09-09]. [http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126\\_184831.htm](http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201001/t20100126_184831.htm).
- [5] 中华人民共和国生态环境部自然生态保护司. 关于发布中国外来入侵物种名单(第三批)的公告[EB/OL]. (2017-08-28)[2020-09-09]. [http://sts.mee.gov.cn/swaq/lygz/201708/t20170828\\_420477.shtml](http://sts.mee.gov.cn/swaq/lygz/201708/t20170828_420477.shtml).
- [6] 中华人民共和国生态环境部自然生态保护司. 关于发布《中国自然生态系统外来入侵物种名单(第四批)》的公告[EB/OL]. (2017-08-28)[2020-09-09]. [http://sts.mee.gov.cn/swaq/lygz/201708/t20170828\\_420478.shtml](http://sts.mee.gov.cn/swaq/lygz/201708/t20170828_420478.shtml).
- [7] Song M Y, Yu L, Jiang Y L, et al. Increasing soil age drives shifts in plant-plant interactions from positive to negative and affects primary succession dynamics in a subalpine glacier forefield[J]. *Geoderma*, 2019, 353:435-448.
- [8] Uyà M, Bulleri F, Wright J T, et al. Facilitation of an invader by a native habitat - former increases along interacting gradients of environmental stress[J]. *Ecology*, 2020, 101(4):e02961.
- [9] Callaway R M. Positive interactions among plants[J]. *The Botanical Review*, 1995, 61(4):306-349.
- [10] Stachowicz J J. Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities[J]. *Bioscience*, 2001, 51(3):235-246.
- [11] Romero G Q, Gonfàlves - Souza T, Vieira C, et al. Ecosystem engineering effects on species diversity across ecosystems; a meta-analysis[J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2015, 90(3):877-890.
- [12] Sotomayor D A, Lortie C J, Lamarque L J. Nurse-plant effects on the seed biology and germination of desert annuals[J]. *Austral Ecology*, 2014, 39:786-794.
- [13] Kuebbing S E, Nuñez M A. Negative, neutral, and positive interactions among nonnative plants: patterns, processes, and management implications[J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(2):926-934.
- [14] Weber M G, Agrawal A A. Defense mutualisms enhance plant diversification[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(46):16442-16447.
- [15] Bruno J F, Stachowicz J J, Bertness M D. Inclusion of facilitation into ecological theory[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(3):119-125.
- [16] Brathen K A, Ravolainen V T. Niche construction by growth forms is as strong a predictor of species diversity as environmental gradients[J]. *Journal of Ecology*, 2015, 103(3):701-713.
- [17] Krumins J A, Goodey N M, Gallagher F. Plant-soil interactions in metal contaminated soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2015, 80:224-231.
- [18] Soliveres S, Smit C, Maestre F T. Moving forward on facilitation research: response to changing environments and effects on the diversity, functioning and evolution of plant communities[J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2015, 90(1):297-313.
- [19] Richardson D M, Allsopp N, D'Antonio C M, et al. Plant invasions - the role of mutualisms[J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2000, 75(1):65-93.
- [20] Flombaum P, Sala O E, Rastetter E B. Interactions among resource partitioning, sampling effect, and facilitation on the biodiversity effect: a modeling approach[J]. *Oecologia*, 2014, 174(2):559-566.
- [21] Granda E, Escudero A, Valladares F. More than just drought: complexity of recruitment patterns in Mediterranean forests[J]. *Oecologia*, 2014, 176(4):997-1007.
- [22] Fleming J P, Dibble E D. Ecological mechanisms of invasion success in aquatic macrophytes[J]. *Hydrobiologia*, 2015, 746(1):23-37.
- [23] Bulleri F, Xiao S, Maggi E, et al. Intensity and temporal variability as components of stress gradients: implications for the balance between competition and facilitation[J]. *Oikos*, 2014, 123(1):47-55.
- [24] Traveset A, Richardson D M. Mutualistic interactions and biological invasions[J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2014, 45(1):89-113.
- [25] Monge J A, Gornish E S. Positive species interactions as drivers of vegetation change on a barrier Island[J]. *Journal of Coastal Research*, 2015, 31(1):17-24.
- [26] MacDougall A S, Gilbert B, Levine J M. Plant invasions and the niche[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97(4):609-615.
- [27] Jiménez - Valverde A, Peterson A T, Soberón J, et al. Use of niche models in invasive species risk assessments[J]. *Biological Invasions*, 2011, 13(12):2785-2797.
- [28] Barabás G, Pásztor L, Meszéna G, et al. Sensitivity analysis of coexistence in ecological communities: theory and application[J]. *Ecology Letters*, 2014, 17(12):1479-1494.
- [29] Weber E, Li B. Plant invasions in China: what is to be expected in the wake of economic development?[J]. *Bioscience*, 2008, 58(5):437-444.
- [30] de Schryver P, Vadstein O. Ecological theory as a foundation to control pathogenic invasion in aquaculture[J]. *The ISME Journal*, 2014, 8(12):2360-2368.
- [31] Svenning J C, Gravel D, Holt R D, et al. The influence of interspecific interactions on species range expansion rates[J]. *Ecography*, 2014, 37(12):1198-1209.

林 欢,孙磊厚,王二化. 我国林果振动采收机发展应用现状与展望[J]. 江苏农业科学,2021,49(1):36-42.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.01.007

# 我国林果振动采收机发展应用现状与展望

林 欢,孙磊厚,王二化

(常州信息职业技术学院智能装备学院,江苏常州 213164)

**摘要:**林果产业是我国林业发展的重要组成部分,林果采收又是林果产业发展的重要标志。国外对林果振动采收的研究较早,相关采收装置早已进入应用阶段,国内的振动采收机发展较晚,相关研究比较缺乏。在采收机应用研究方面,国外研制了树干、树枝和树冠式振动采收机,并形成种类广泛的林果采收机体系;国内针对干果类、鲜果类、浆果类林果研究开发了便携式、履带偏心式、液压式等多种林果振动采收机,但仍处于试验研究阶段未获得广泛应用。随着果园种植面积不断扩大,机械化作业成为必然趋势,为了给机械化作业创造条件,我国急需推广果园标准化种植及抚育模式,开发新型可靠的果实催熟技术,推行振动采收机模块化组合模式和集成采收技术。

**关键词:**林果;干果;鲜果;浆果;振动采收机

**中图分类号:** S225.93      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2021)01-0036-07

我国是林果第一大生产国,林果种类丰富,主要分为干果和鲜果。林果采收作业是一项劳动密集型 and 季节依赖性较强的工作,具有费时、费力等特点,收获作业中须要使用大量劳动力和资金<sup>[1-2]</sup>。如果不能及时采收成熟的果实,果实的品质就会得不到保证,造成不必要的损失,机械采收逐渐成为最有效的林果采收方式。目前常用的林果采收设备多采用振动的方式使果实掉落,能够有效地解决人工采收成本过高等问题,适合我国的林果生产方式。

国外发达国家已经利用机械化设备来采收林果,主要有气力振动采收机、撞击振动采收机、机械振动采收机等,以机械振动采收应用最为广泛,其收获效率增加了 4~9 倍<sup>[3]</sup>。而我国大多数果园采用密植化种植模式,作业空间小,国外大型高效采收机具难以直接应用于我国现有果园。因此,我国主要还是依靠人工的敲打、捡拾来进行林果的采收,其费用已经占到了成本的一半以上<sup>[4-5]</sup>。林果的机械化采收作业已迫在眉睫,本研究针对干果类、鲜果类和浆果类中具有代表性的采收机进行应用现状分析,以期为推动林果的机械化采收提供一定的理论依据。

## 1 振动采收机制的研究

国外很早就对机械振动采收机制进行了研究,通过对曲柄滑块式和偏心块式振动采收机的能量方程进行研究,建立了由动力阻尼系数、弹性系数、折算质量组成的振动系统,得到了激振高度与振幅

收稿日期:2020-04-07

基金项目:江苏省高等学校自然科学研究项目(编号:19KJB210007);常州市应用基础研究计划(编号:CJ20190023);常州信息职业技术学院科研课题青年基金资助(编号:CXZK201804Q);常州信息职业技术学院科研平台资助(编号:PYPT201804G);常州高技术重点实验室项目(编号:CM20183004)。

作者简介:林 欢(1991—),女,江苏徐州人,博士,讲师,主要从事现代机械设计理论与方法研究。E-mail:huanlinphd@163.com。

[32] Mullah C J, Klanderud K, Totland O, et al. Community invasibility and invasion by non-native *Fraxinus pennsylvanica* trees in a degraded tropical forest[J]. *Biological Invasions*, 2014, 16(12): 2747-2755.

[33] Schöb C, Callaway R M, Anthelme F, et al. The context dependence of beneficiary feedback effects on benefactors in plant facilitation[J]. *The New Phytologist*, 2014, 204(2): 386-396.

[34] Martorell C, Freckleton R P. Testing the roles of competition, facilitation and stochasticity on community structure in a species-

rich assemblage[J]. *Journal of Ecology*, 2014, 102(1): 74-85.

[35] Michalet R, Maalouf J P, Choler P, et al. Competition, facilitation and environmental severity shape the relationship between local and regional species richness in plant communities[J]. *Ecography*, 2014, 38(4): 335-345.

[36] Mora C, Danovaro R, Loreau M. Alternative hypotheses to explain why biodiversity-ecosystem functioning relationships are concave-up in some natural ecosystems but concave-down in manipulative experiments[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 5427.