

植物繁殖策略响应全球气候变化的研究进展

王 颖¹, 蔺吉祥², 丁雪梅³, 张 娜⁴, 穆春生⁴

(1. 吉林建筑大学 松辽流域水环境教育部重点实验室, 吉林 长春 130118; 2. 东北林业大学 盐碱地生物资源环境研究中心, 东北油田盐碱植被恢复与重建教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150040; 3. 吉林大学 动物科学学院, 吉林 长春 130062; 4. 东北师范大学 草地科学研究所, 植被生态教育部重点实验室, 吉林 长春 130024)

摘 要: 由于植物繁殖受气候条件的重要影响, 结合近年来全球气候变化对生态系统及植物生长、繁殖的重要影响, 该研究从大气氮沉降、降水格局变化及 CO₂ 浓度增加等方面, 分析了全球气候变化对植物繁殖策略影响的重要意义, 总结不同气候条件下植物种群繁殖策略的真正规律, 并提出今后研究的重点, 以促进植物繁殖策略领域的进一步研究。

关键词: 繁殖策略; 植物种群; 气候变化; 异质环境

中图分类号: S 948.112⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2014)19-0194-05

植物种群的更新及个体生活史的完成依赖于植物的繁殖过程。在生活史的全过程中, 植物繁殖对策略格局如何调整植物更好的适应生存环境, 将继续吸引越来越多的生态学家的关注^[1-2]。因为植物在不同环境下所受的胁迫不同, 因此可以推测每种植物在特定环境下都会有其特定的繁殖策略^[3]。

繁殖既是生物体的三大基本功能之一, 也是生活史过程中最关键的环节之一。在资源限制的生态系统中, 植物为了达到最大繁殖潜力和遗传特征, 将有限的资源在不同组织或器官间进行有效分配, 即繁殖分配的变化, 它控制着植物繁殖与生存的平衡, 同时也进行繁殖时间的分配^[4], 使植物形成自身的适应策略。繁殖分配在很大程度上决定植物获取资源的能力^[5], 也是决定种子产量、大小和活力的一个重要因素^[6]; 把植物种群的繁殖策略提高到种群适应对策的高度来分析, 这是与种群变动和稳定性有关的种群理论问题^[2,7]。全球气候变化条件下植物繁殖策略的研究有助于人们更加深刻地理解不同植物在一定生境中的繁殖过程、本质及适应意义, 可以更好的制定出适应与减缓气候变化下不良影响的对策与措施。

在全球气候变化日趋严重的情况下, 揭示全球气候

变化下植物真正的繁殖规律, 对种群生态学的研究及农业生产具有重要意义。至今, 国内外已开展了大量、系统的有关全球气候变化对生态系统影响的研究, 也得到了很多有规律的结果, 但关于全球气候变化对植物繁殖策略影响的研究较少^[8-9], 而且试验没有系统、完整的模拟气候变化对植物繁殖策略的影响, 因此这些研究结果可能不足以揭示全球气候变化对植物繁殖策略的真正影响。因此, 有必要对全球气候变化对植物繁殖策略影响的研究进展作一述评。

1 全球气候变化影响的研究方法

国内外研究结果显示, 评价全球气候变化对植物繁殖策略影响的研究方法主要包括以下 3 个方面: 一是利用历史观测数据评价气候变化对植物繁殖影响; 二是实验室或野外控制试验模拟全球气候变化; 三是利用模型工具模拟和预测气候变化对植物繁殖策略的影响^[10]。

研究气候变化影响的历史观测数据主要有 2 种: 一是长期的试验观测积累的数据, 利用该数据找到气候在时空上的相似性作为未来研究的依据, 能够提供许多有价值的观测结论; 二是对历史上的极端气候事件的影响进行分析, 从中获取有价值的理论信息。实验室或野外控制试验方法是指利用各种试验模拟装置和设备, 模拟气候变化, 揭示气候变化对植物生长的影响。直接的试验方法可以获取许多重要、真实的数据, 用来检验推理假设, 是一种很重要的研究方法, 但由于植物生长的真正环境与试验模拟还存在一定的差异, 所以这种方法也有一定的局限性, 不能真实反映全球气候变化对植物生长的真正影响。利用计算机进行数值模拟和预测研究, 为气候变化及其影响研究的定量化提供了最科学和最理想的方法。模型工具有简单的回归模型, 例如, Meta

第一作者简介: 王颖(1978-), 女, 吉林通榆人, 博士, 副研究员, 现主要从事环境生态等研究工作。E-mail: wangying19879@aliyun.com.

责任作者: 穆春生(1961-), 男, 博士, 教授, 现主要从事草地生态的研究工作。E-mail: mucs821@nenu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31200368); 水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2010ZX07320-003-004)。

收稿日期: 2014-05-27

分析方法、复杂的机理模型^[10]。近年来利用遥感和地理信息系统技术结合地面观测资料和反复模拟试验可更细致、更深入揭示气候变化对植物的影响,从而预测影响的方向、程度和强度,这有待于进一步的资料积累和研究^[11]。

2 全球气候变化对植物繁殖策略影响的研究进展

2.1 降水格局变化

过去 50 年中,全球气候变化导致降水格局发生改变^[12]。根据全球气候模型预测,降水格局的变化主要表现为:降水量发生变化,降水时间分布也发生改变,以降水间隔增长、单次降水量增大的事件将会增加^[13-15]。降水格局变化影响植物生物量积累及生物量向繁殖器官的分配,导致植物繁殖策略发生改变。

降水的增加或减少可能会改变土壤的一些特性,这些因素反过来又会对植物的生长、功能以及水分的收支产生影响^[16]。我国的气候变化明显,降水量减少的主要表现后果是北方夏季干旱化趋势^[17]。降水格局变化严重影响植物的繁殖策略,即影响植物的繁殖物候、繁殖分配及后代种子特性等^[18]。有限的水资源是导致植物开花延迟,花数量和果实产量减少的重要因素之一。干旱时间延长会使植物开花延迟,花数量减少^[19],特别是在丘陵地区,谷物在花序出现期遭受干旱,花期延迟,而且开花持续的长短和干旱程度有关^[20]。在生长季节经常性水淹条件下,繁殖器官重建频繁发生,用于繁殖的物质减少,使繁殖分配比例下降^[21-22]。对作物生产来说,降水量季节分配比年降水总量对作物产量的形成有更为深刻的影响。而且降水分布的不均匀性,可能引起更多、更强的旱涝灾害,尤其给农业生产带来严重影响,主要表现为作物减产严重^[18]。降水格局变化不仅影响种子产量,还影响种子大小及种子活力^[23-24]。

关于降水格局变化对植物繁殖策略的影响,以往研究主要以单一的影响因素作为环境条件,而关于同时结合降水量和降水时间分布对植物繁殖策略影响的研究相对较少。所以,未来的工作应当集中模拟区域降水格局变化对植物生长和繁殖的影响,可以更好的理解全球气候变化对生态系统及农业生产的影响。

2.2 氮沉降

20 世纪中叶以来,随着矿物燃料燃烧、化学氮肥的使用以及畜牧业的迅猛发展,人类活动向大气中排放的氮化合物迅速增加,大气氮沉降也随之迅猛增加。大气氮沉降作为营养源与酸源,其急剧增加将严重影响陆地生态系统的生产力和稳定性,破坏生态系统平衡^[25]。

氮肥增加不仅影响植物生长和繁殖^[26],还影响其生物量积累及资源在不同器官间的分配^[27]。由于氮沉降增

加的光合产物将在不同碳氮比的物种或组分间进行分配^[28],进一步影响这些植物的生物量、在群落中的多度,进而影响生态系统的生物多样性和群落组成及其功能。氮肥增加不仅影响植物地上部分生物量,也会影响资源在不同器官间的分配^[29-30]。适量氮肥($N\ 28\ g\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$)会增加繁殖器官的生物量和种子产量^[31],但对于种子特性来说,种子单重不受影响^[32]或种子单重增加^[33]。廖迎春等^[34]在模拟大气氮沉降对水稻产量的研究中发现,当氮用量为 $24\ g\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$,水稻单穗重、单株秕谷重、产量显著增加,但千粒重没有差异^[34]。

以往关于大气氮沉降对植物影响的研究主要集中在对土壤特性^[35]、植物生长^[36]等方面的研究,而关于氮沉降对植物繁殖策略影响的研究报道很少,研究内容也不全面。所以今后的研究应该集中在氮沉降对植物繁殖策略影响系统全面的研究方面,得出氮沉降对植物繁殖策略影响的真正规律,在未来草地可持续利用和农业生产方面提供重要的理论支持,制定出适应与减缓气候变化不良影响的对策与措施。

2.3 CO₂ 浓度增加

自工业革命以来,由于人类活动的影响,CO₂ 浓度从工业革命的 $280\ \mu mol/mol$ 升高到目前的 $377\ \mu mol/mol$,按现在的趋势增加,到 2050 年,大气中的 CO₂ 浓度将成倍增加^[37]。IPCC 第 4 次评估报告指出,未来 100 年大气中的 CO₂ 浓度仍将有一定程度的升高,到 2100 年,大气中持续增高的温室气体浓度预计会使全球平均气温增加 $1.8\sim 4.0^{\circ}C$ ^[38]。温度的升高将会使全球的降水格局发生改变,同时还会导致极端气候事件发生频率增加^[39],生态系统受到严重影响。

大气和气候变化将极大的影响植物生育进程、适宜种植区和产量等产生很大影响。花的发育对 CO₂ 的反应也很敏感,在 $1\ 000\sim 1\ 500\ \mu mol/mol$ 的 CO₂ 浓度下,大部分温室植物的花器官生物量增加,另外花的数量增加,坐花率提高,落花落率下降^[40]。在花期,一些植物随 CO₂ 浓度升高花期延迟^[41],而且花期出现提早的现象,一般提前几天到半个月。农作物中大豆、小麦、向日葵等可能提前几天开花^[42],而高粱反而会延迟开花^[43]。对于作物的产量来说,随 CO₂ 浓度增加,作物产量呈增加趋势,但 CO₂ 浓度增加对不同类型作物产量的影响不同,其中 C₃ 类植物增长率明显大于 C₄ 类植物^[44]。CO₂ 浓度增加不仅使作物产量、结实率及千粒重等增加^[45],也会导致繁殖器官内部物质含量发生变化^[46-47]。

目前关于 CO₂ 浓度增加的研究主要集中在作物方面,而且研究历史也很久远,但研究的广度和深度还不够,没有系统的研究其对植物繁殖策略的影响。

2.4 极端天气气候事件

气候变化导致极端天气事件频度和广度逐渐增加,

对植物的影响也是无法预测的^[47]。其发生频率和强度不断增加是全球气候变化的一个重要体现,诸如飓风、极端干旱、强降雨等极端气候事件的发生频率和强度都在近几十年一直呈急速增加趋势,并且在不同的时空尺度上具有更大的变异性和不确定性,对植物的影响也是无法预知的^[48-49]。

水分条件是植物繁殖关键性的生态因子之一,极端干旱和极端降水对植物繁殖影响很大。极端干旱导致青藏高原高寒草甸植物开花期半花期提前,花期也缩短,一般双子叶杂类草表现较为敏感,莎草类和禾草类表现出一定的抵抗力^[50]。2003年夏季欧洲经历的一次极端干旱事件,导致温度比常年升高6℃,降水量比常年减少300 mm使意大利的玉米产量降低了36%。与极端干旱相比,极端降水也是导致作物产量下降的一个主要因素。过量的土壤湿度使植物地上和地下部分均处于缺氧的状况下,给植物造成直接和间接的伤害,同时还易受到病虫害的威胁,造成植物种子产量下降^[51],导致植物死亡。然而,极端高温对植物繁殖的影响也不容忽视,可能会导致植物产量下降^[52]。

与其它气候变化对植物繁殖的影响相比,极端气候事件没有规律可循,当前对极端气候事件如何影响植物繁殖策略还缺乏大量的资料和认知,有待进一步深入研究。

2.5 温度升高

在全球气候变化研究中,温度升高对作物生长及产量的影响已经成为一个重要的研究主题。许多研究结果表明,随温度的升高,作物的干物质及产量均会有所下降,温度升高可延长作物全年生长期,对无限生长习性或多年生作物及热量不足的地区有利,但是对生育期短的作物不利。在高温条件下,作物生育期缩短,生长量减少,其负面影响抵消甚至超过全年生育期延长的积极效果。

温度升高,可促进酶的活性,加快植物发育进程,因此植物物候与温度息息相关。郑景云等^[53]分析了温度升高对我国近40年植物物候变化的影响,结果表明,升温导致物候期提前天数的变化率随着升温幅度的增大而减小,降温导致物候期推迟天数的变化率随着降温幅度的增大而加大。对植物产量而言,在开花期高温会阻止花粉囊裂开和花粉散发,导致授粉率和谷粒数量降低,不育率上升,产量下降^[54]。生长期气温每升高1℃,水稻生育期将缩短7~8 d;冬小麦生育期将缩短17 d,这就减少了作物光合作用积累干物质的时间,也是导致产量下降的因素之一^[55]。夜间升温对作物产量也有很大影响,夜温升高有利于早、晚稻的分蘖,增加有效蘖数量,但不利于颖花分化,使单穗粒数减少;夜间温度升高可以使早稻结实率下降,但却提高了晚稻的结实率^[56]。

冬小麦抽穗开花期气温与结实率有一定的正相关关系,气温升高有利于形成早期高粒重,从而促进增产^[57];同时,增温会导致作物发育期提前^[58]。河南省冬小麦全生育期气温显著升高,增温带来的单产增加量占实际增产量的15.6%~20.7%;但显著升温后带来的增产量仅占实际增产量的1.0%,冬小麦单产对气温的敏感性降低^[59]。

温度升高对植物繁殖的影响导致种植制度发生改变,在过去的50年中,由于温度升高造成了全国种植制度界限不同程度北移。冬小麦和双季稻种植北界北移,种植制度界限变化区域的粮食单产增加^[60]。

3 结语

繁殖策略是植物生态对策的核心内容,现在关于繁殖对策的研究已经从繁殖分配、繁殖投资、繁殖物候的质变量策略深入到不同外界环境对植物繁殖策略的影响,以及繁殖、生长和生存之间的协同进化关系。尽管外界环境对植物繁殖策略的影响已经引起了研究者的注意,但是针对未来全球气候变化对植物繁殖策略的影响还没有得到足够重视,而且以往研究仅以单一某1种环境作为影响因子。所以,今后的研究重点应该综合几种气候变化因素对植物繁殖策略影响的研究,揭示未来全球气候变化对植物繁殖策略影响的真正规律,用来指导实践及提供理论依据。

参考文献

- [1] 郭伟,邓巍,燕雪飞,等.植物生殖分配影响因素的研究进展[J].东北农业大学学报,2010,41(9):150-155.
- [2] 钟章成.植物种群的繁殖对策[J].生态杂志,1995,14(1):37-42.
- [3] Niu K C,Choler L G,Pino J,et al. The allometry of reproductive biomass in response to land use in Tibetan alpine grasslands[J]. Functional Ecology,2009,23:274-283.
- [4] Cody M L. A general theory of clutch size [J]. Evolution,1996,20:174-184.
- [5] Remkes P H,Lambers H. Carbon and nitrogen economy of twenty-four wild species differing in relative growth rate [J]. Plant Physiology,1990,94: 621-627.
- [6] Gifford R M,Thorne J H,Hitz W D,et al. Crop productivity and photoassimilate partitioning [J]. Science,1984,225:801-808.
- [7] Niu K C,Zhao Z,Luo Y. Fertilization effects on species reproductive allocation in an alpine meadow plant community [J]. Journal of Plant Ecology,2006,30:817-826.
- [8] 宋凤斌,王志春. 大气中CO₂浓度增加对作物生产的影响[J]. 农业系统科学与综合研究,2002,18(4):249-252.
- [9] 杨连新,李世峰,王余龙,等. 开放式空气二氧化碳浓度增高对小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(1):81-86.
- [10] 李克让,陈育峰. 中国全球气候变化影响研究方法的进展[J]. 地理研究,1999,18(2):214-219.
- [11] 朴世龙. 近20年在中国植被对气候变化的响应[D]. 北京:北京大学,2004.
- [12] IPCC. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change[R]. UK: Cambridge University Press, Cambridge, 2007:996.
- [13] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, et al. Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts [J]. Science, 2000, 289: 2068-2074.
- [14] Meehl G A, Arblaster J M, Tebaldi C. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32, L18719.
- [15] Dore M H I. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? [J]. Environment International, 2005, 31: 1167-1181.
- [16] 孙宏勇, 刘昌明, 王振华, 等. 太行山前平原近 40 年降水的变化趋势及其对作物生产的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 18-21.
- [17] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [18] 孙风华, 吴志坚, 杨素英. 东北地区近 50 年来极端降水和干燥时间空演变特征[J]. 生态学杂志, 2006, 25(7): 779-784.
- [19] Peñuelas J, Filella I, Zhang X, et al. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes[J]. New Phytologist, 2004, 161(3): 837-846.
- [20] Puckridge D W, O'Toole J C. Dry matter and grain production of rice using a line source sprinkler in drought studies[J]. Field Crops Research, 1981, 46(3): 303-319.
- [21] van der Sman A J M, Joosten N N, Blom C W. Flooding regimes and life-history characteristics of short-lived species in river forelands[J]. Journal of Ecology, 1993, 81: 121-130.
- [22] Zhou W S, Wu N, Bao W K. Growth and potential reproduction of *Poa crymophila* in response to season precipitation shortage in the Eastern Tibetan Plateau, China [J]. Journal of Ecology, 2010, 41(2): 147-152.
- [23] Busso C A, Perryman B L. Seed weight variation of wyoming sagebrush in Northern Nevada [J]. Biocell, 2005, 29(3): 279-285.
- [24] Luzuriaga A L, Escudero A, Pérez-García. Environmental maternal effects on seed morphology and germination in *Sinapis arvensis* (Cruciferae) [J]. Weed Research, 2006, 46: 163-174.
- [25] Wamelink G W W, Wieggers H J J, Reinds G J, et al. Modelling impacts of changes in carbon dioxide concentration, climate and nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and forest soils [J]. Forest Ecology and Management, 2009, 8(25): 1797-1805.
- [26] Nadelhoffer K E, Emmett B A, Gundersen P, et al. Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests[J]. Nature, 1999, 398, 145-148.
- [27] Pan Q M, Bai Y F, Han X G, et al. Effects of nitrogen additions on a *leymus chinensis* population in a typical steppe of Inner Mongolia [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29: 311-317.
- [28] Zavaleta E S, Shaw M R, Chiariello, et al. Additive effects of simulated climate changes, elevated CO₂, and nitrogen deposition on grassland diversity [J]. PNAS, 2003, 24: 7650-7653.
- [29] Pan Q M, Bai Y F, Han X G, et al. Effects of nitrogen additions on a *leymus chinensis* population in a typical steppe of Inner Mongolia [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29: 311-317.
- [30] Zhang Y, Dore A J, Ma L, et al. High resolution inventory of agricultural ammonia emissions in North China Plain [J]. Environmental Pollution, 2010, 158: 490-501.
- [31] Tian, D S, Pan Q M, Simmons M, et al. Hierarchical reproductive allocation and allometry within a perennial bunchgrass after 11 years of nutrient addition[J]. PLoS One, 2012, 7(9): 1-9.
- [32] Weiner J S, Martinez H, Muller-Scharer P, et al. How important are environmental maternal effects in plants? A study with *Centaurea maculosa* [J]. Journal of Ecology, 1997, 85: 133-142.
- [33] Sultan S E. Phenotypic plasticity for fitness components in *Polygonum* species of contrasting ecological breadth[J]. Ecology, 2001, 82: 328-343.
- [34] 廖迎春, 王辉民, 樊后保, 等. 模拟氮沉降对水稻生长产量及光合特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(1): 10-15.
- [35] 方运霆, 莫江明, 周国逸. 离子交换树脂袋法研究森林土壤硝态氮及其对氮沉降增加的响应[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 483-487.
- [36] 蒋琦清, 唐建军, 陈欣, 等. 模拟氮沉降对杂草生长和氮吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 951-955.
- [37] 王馥堂. CO₂ 浓度增加对植物生长和农业生产的影响[J]. 气象, 1993, 19(7): 8-13.
- [38] Alley R, Berntsen T, Bindof N L, et al. Climate change 2007: The physical science basis[R]. Summary for policy makers. IPCC, 2007.
- [39] Rind D, Goldberg R, Hansen J, et al. Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought [J]. Journal of Geophysical Research, 1990, 95(D7): 9983-10004.
- [40] Morrison J L. Sensitivity of stomata and water use efficiency to high CO₂ [J]. Plant, Cell and Environment, 1985, 8: 467-474.
- [41] Hughes A P, Cockshull K E. The effects of light intensity and carbon dioxide concentration on the growth of *Chrysanthemum morifolium* cv. Bright Gold Anne [J]. Annals of Botany, 1971, 35: 899-914.
- [42] Rogers H H, Bingham G E, Cure J D, et al. Responses of selected plant species to elevated carbon dioxide the field [J]. Journal of Environment Quality, 1971, 12: 569-577.
- [43] Marc J, Gifford R M. Floral initiation in wheat, sunflower and sorghum under carbon dioxide enrichment [J]. Canadian Journal of Botany, 1984, 69: 9-14.
- [44] Long S P, Ainsworth E A, Leakey A D B, et al. Food for thought: Lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations [J]. Science, 2006, 312: 1918-1921.
- [45] Zhang X, Liu Y Z, Kong Q N, et al. Growth, grain yield and kernel quality of high-yield rice variety Te-San-Ai growing in a simulated CO₂-enriched habitat [J]. Chin J Appl Environ Biol, 1998, 4(3): 238-242.
- [46] Högy P, Fangmeier A. Effect of elevated atmospheric CO₂ on grain quality of wheat [J]. Journal of Cercal Science, 2008, 48: 580-591.
- [47] Berg A, de Noblet-Ducoudré N, Sultan B, et al. Projections of climate change impacts on potential C₄ crop productivity over regions tropical [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 170: 89-102.
- [48] Kreyling J, Wenigmann M, Beierkuhnlein C, et al. Effects of Extreme Weather Events on Plant Productivity and Tissue Die-Back are Modified by Community Composition Ecosystems [J]. Ecosystems, 2008, 11: 752-763.
- [49] Huber D G, Gullette J. Extreme weather and climate change: Understanding the link and managing the risk [M]. Center for Climate and Energy Solutions, 2011: 1-6.
- [50] 牟成香, 孙庚, 罗鹏, 等. 青藏高原高寒草甸植物开花物候对极端干旱的响应[J]. 应用与环境生物学报, 2013, 19(2): 272-279.
- [51] Ashraf M, Habib-ur-Rehman K. Interactive effects of nitrate and long term water logging on growth, water relations, and gaseous exchange properties of maize (*Zea mays* L.) [J]. Plant Science, 1999, 144(1): 35-43.
- [52] White. Extreme heat reduces and shifts United States premiumvndne production in the 21st century [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2006, 103(30): 11217-11222.
- [53] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候增暖对我国近 40 年植物物候变化的

影响[J]. 科学通报, 2002, 40(20):1582-1587.

[54] Peng S, Huang J, Sheehy J E, et al. Rice yields decline with higher night temperature from global warming[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2004, 101(27):9971-9975.

[55] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8):1877-1885.

[56] 魏金莲, 潘晓华, 邓强辉. 夜间温度升高对双季早晚稻产量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(10):2793-2798.

[57] 崔金梅, 朱云集, 郭天财, 等. 冬小麦粒重形成与生育中期气象条件

关系的研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(2):28-34.

[58] 成林, 薛昌颖, 李彤霄, 等. 河南省稻麦类作物对气候变化的响应[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(3):6-10.

[59] 成林, 刘荣花, 马志红. 增温对河南省冬小麦产量的影响分析[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(4):854-859.

[60] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2):329-336.

Research Advances of Plant Reproductive Strategy Response to Global Climate Change

WANG Ying¹, LIN Ji-xiang², DING Xue-mei³, ZHANG Na⁴, MU Chun-sheng⁴

(1. Key Laboratory of Songliao Aquatic Environment, Jilin University of Architecture, Changchun, Jilin 130118; 2. Alkali Soil Natural Environmental Science Center, Northeast Forestry University, Key Laboratory of Saline-alkali Vegetation Ecology Restoration in Oil Field, Harbin, Heilongjiang 150040; 3. College of Animal Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130062; 4. Institute of Grassland Science, Northeast Normal University, Key Laboratory of Vegetation Ecology, Changchun, Jilin 130024)

Abstract: Reproductive strategy was affected by climate conditions. Global climate change would affect ecology systems, plant growth and reproduction. In this research, the effect of precipitation pattern, nitrogen deposition and greenhouse effect etc. on plant reproductive strategy were studied. The true law of plant population reproductive strategy was reviewed. Finally, plant reproductive strategy would be developed further.

Keywords: reproductive strategy; plant population; climate change; heterogeneous environment

立足黑龙江 辐射全中国 聚焦大农业 促进快发展

2015 年《黑龙江农业科学》征订启事

《黑龙江农业科学》是黑龙江省农业科学院主办的综合性科技期刊。是全国优秀期刊、黑龙江省优秀期刊。现已被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库等多家权威数据库收录。

本刊内容丰富, 栏目新颖, 信息全面, 可读性强。月刊, 每月 10 日出版, 国内外公开发行。国内邮发代号 14—61, 每期定价 5.00 元, 全年 60.00 元; 国外发行代号 M8321, 每期定价 5.00 美元, 全年 60.00 美元。

热忱欢迎广大农业科研工作者、农业院校师生、国营农场及农业技术推广人员、管理干部和广大农民群众踊跃订阅。全国各地邮局均可订阅, 漏订者可汇款至本刊编辑部补订。汇款写明订购份数、收件人姓名、详细邮寄地址及邮编。

另有合订本珍藏版欢迎订购。2007 年合订本每册定价 80.00 元, 2008~2009 年合订本每册定价 90.00 元, 2010~2013 年合订本 150.00 元, 邮费各 10.00 元, 售完为止。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

地址: 哈尔滨市南岗区学府路 368 号《黑龙江农业科学》编辑部 邮编: 150086

电话: 0451—86668373 投稿网址: www.haasep.cn