

# 淹灌量和施氮量对黄河三角洲地区 棉花生殖分配的影响

毛培利<sup>1,2</sup> 陈小兵<sup>2</sup> 曹帮华<sup>1\*</sup> 董建<sup>3</sup> 赵舒悦<sup>3</sup> 李修宇<sup>3</sup> 于晓<sup>3</sup> 瞿庆祥<sup>3</sup>

(1. 山东农业大学生态与环境重点实验室, 山东 泰安 271018;

2. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室(烟台海岸带研究所) 山东 烟台 264003;

3. 烟台大学, 山东 烟台 264005)

**摘要:** 通过田间试验,研究了淹灌量和施氮量对黄河三角洲地区棉花生殖分配的影响。结果表明:淹灌量和施氮量对棉花生殖分配有极显著影响,二者有着极显著交互影响。淹灌水深 5 cm 比水深 10 cm 有着低的生殖分配,这与其高的枝生物量比有关。适宜的施氮量能够增加生殖分配。相关分析表明,生殖分配与其他器官分配呈显著或极显著负相关。随水肥条件的改善,生殖分配与植株生物量之间由负相关变为正相关。

**关键词:** 生殖分配; 淹灌量; 施氮量; 棉花

中图分类号: S562.01 文献标识码: A 文章编号: 1001-4942(2016)03-0076-06

## Effects of Furrow Irrigation Quantity and Nitrogen Application Level on Cotton Reproductive Allocation in the Yellow River Delta Area

Mao Peili<sup>1,2</sup>, Chen Xiaobing<sup>2</sup>, Cao Banghua<sup>1\*</sup>, Dong Jian<sup>3</sup>,

Zhao Shuyue<sup>3</sup>, Li Xiuyu<sup>3</sup>, Yu Xiao<sup>3</sup>, Qu Qingxiang<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Ecology and Environment, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China;

2. Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 3. Yantai University, Yantai 264005, China)

**Abstract** A field experiment was carried out to study the effects of furrow irrigation quantity and nitrogen application level at sowing date on reproductive allocation of cotton in the Yellow River delta area. The results showed that the furrow irrigation quantity and nitrogen application level exhibited highly significant effects on cotton reproductive allocation, and the interaction between them was very significant. The lower reproductive allocation was showed at 5 cm than that at 10 cm of furrow irrigation depth because of its higher branch mass ratio. Proper nitrogen application level could increase the reproductive allocation. The correlation analysis showed that the reproductive allocation was significantly or very significantly negatively correlated with other organ allocations. As the conditions of water and nitrogen improved, the relationship between reproductive allocation and individual biomass changed from negative to positive.

**Key words** Reproductive allocation; Furrow irrigation quantity; Nitrogen application level; Cotton

干旱是全球范围内影响作物生产最重要的环境因子<sup>[1]</sup>,尤其是在全球气候变化下影响进一步

加剧<sup>[2,3]</sup>。氮是增加作物产量最重要的元素<sup>[4,5]</sup>。在最近几十年,大气氮沉降迅速增加已

收稿日期:2015-10-20

基金项目:山东省重点研发计划项目(2015GNC111026);公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001)

作者简介:毛培利(1979-)男,讲师,博士,主要从事植物生理生态学研究。E-mail: maopl1979@163.com

\* 通讯作者, E-mail: caobanghua@126.com

经被认为是影响陆地生态系统的主要因素之一<sup>[6]</sup>。这对我国农业已经产生了显著影响<sup>[7]</sup>。有研究表明,随着水分可利用的增加,植物生长可以从水分限制变成养分限制<sup>[8]</sup>,表明水分和养分之间作用的复杂性。因此,在灌溉农业中水分和养分的供给是控制作物产量的主要因素<sup>[9,10]</sup>。

生殖分配是作物重要的生殖特征,对其产量有着重要影响<sup>[11,12]</sup>。环境因子对植物生殖分配有着重要影响,低温降低棉花的生殖分配<sup>[12]</sup>。对尖头叶藜的研究表明,水分胁迫加剧和土壤养分增加会减少其生殖分配,种植密度对生殖分配没有显著影响<sup>[13]</sup>。张昊等<sup>[14]</sup>发现水分胁迫降低了克氏针茅的生殖分配,但对冷蒿影响不显著。对燕麦的研究结果表明,施氮肥对生殖分配没有显著影响,密度增加降低生殖分配<sup>[15]</sup>。Sadras等<sup>[11]</sup>研究表明,棉花生殖分配不受施肥和种植密度的影响,但Dong等<sup>[16]</sup>对棉花的研究结果认为施氮肥降低生殖分配。除环境因子外,植株个体大小被认为是影响生殖分配的重要生物因子。随植株个体大小增加,黄帚橐吾<sup>[17]</sup>、毛茛科植物<sup>[18]</sup>、寸草苔<sup>[19]</sup>的生殖分配降低,半灌木 *Artemisia halodendron*<sup>[20]</sup>和垂穗披碱草<sup>[21]</sup>则与植株大小没有显著关系,而克氏针茅则是增加<sup>[14]</sup>。以上研究表明,植物生殖分配的影响机制非常复杂,是环境因子和生物因子共同作用的结果。

棉花是黄河三角洲地区的主导农业产业,但单产不高。如何实现棉花高效种植是该区域高效生态农业的重要研究内容<sup>[22]</sup>。春季干旱是该地区主要自然灾害因子之一<sup>[23]</sup>,长期干旱导致了土壤表面大量积盐,严重抑制了棉花出苗成苗。土壤养分与土壤含盐量密切相关。整体来看,总体上重度盐碱地(含盐量 $>4.5\%$ ) N、P 比较缺乏,中度盐碱地(含盐量 $2.5\% \sim 4.5\%$ ) N、P、K 都不高,轻度盐碱地(含盐量 $<2.5\%$ )的钾含量偏低<sup>[24]</sup>。而合理的 N、P 肥配合使用,可以显著提高低、中、高盐田的棉花产量<sup>[25]</sup>。因此,如何经济高效使用有限淡水并结合合理施肥是该地区棉花种植的重要研究内容。本试验研究了播种期不同灌溉量和施氮量对棉花生殖分配的影响,探讨了播种期措施对棉花产量形成的影响,为滨海盐碱地棉花经济种植提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于山东省东营市黄河三角洲的中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地生态试验站( $37^{\circ}45'50''$  N,  $118^{\circ}59'24''$  E)。该研究区属于温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温为 $11.7 \sim 12.8^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 $530 \sim 630$  mm,降水集中于6~8月,降水量的季节和年际变化较大。该地区地势平坦,土壤类型以潮土和盐碱土为主,质地以轻壤土和中壤土为主。主要植被为芦苇(*Phragmites australis*)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)和白茅(*Imperata cylindrical* var. *major*)等。

### 1.2 试验设计与方法

试验于2010年4月底在中国科学院黄河三角洲滨海湿地生态试验站内进行。采用裂区试验设计,主处理为淹灌量,设淹灌5 cm(W I)和10 cm(W II)两个梯度,即停止浇水后水面距离土壤的深度为5 cm和10 cm。副处理为施氮量,设3个施氮水平,即280(F I)、375(F II)、470 kg/hm<sup>2</sup>(F III),随机区组排列,重复5次,小区面积为 $30\text{ m} \times 4\text{ m} = 120\text{ m}^2$ 。大小行种植,大行距80 cm,小行距45 cm,株距25 cm。由于黄河三角洲地区土壤含盐量高,于4月29日进行淡水漫灌压盐。待土壤含水量满足播种条件时,于5月8日进行播种。播种前,基施复合肥(N:P:K=15:15:15)300 kg/hm<sup>2</sup>,同时添加尿素(含氮46%),使施氮量达到试验设计的 $2/3$ 。在7月24日追施一次尿素,施氮量为试验设计的 $1/3$ 。

分别在8月13日(棉铃形成初期)、9月28日(棉铃形成中期)和10月15日(棉铃成熟期)采集植株,每个处理5株,测量株高(H)、地径(D)。将每株棉花分为棉铃、叶、枝、茎、根,于 $80^{\circ}\text{C}$ 烘箱烘至衡重。计算单株生物量(B,  $B = \text{棉铃干质量} + \text{叶干质量} + \text{枝干质量} + \text{茎干质量} + \text{根干质量}$ )、叶生物量比(LMR,  $\text{LMR} = \text{叶干质量} / \text{生物量} \times 100\%$ )、根生物量比(RMR,  $\text{RMR} = \text{根干质量} / \text{生物量} \times 100\%$ )、茎生物量比(SMR,  $\text{SMR} = \text{茎干质量} / \text{生物量} \times 100\%$ )、枝生物量比(BMR,  $\text{BMR} = \text{枝干质量} / \text{生物量} \times 100\%$ )、生殖分配(RA,  $\text{RA} = \text{生殖器官干质量} / \text{生物量} \times 100\%$ )。

### 1.3 数据分析

通过三因素方差分析,分析了淹灌量、施氮量和生殖阶段对棉花生殖分配、叶生物量比、枝生物量比、茎生物量比和根生物量比的影响,并用 LSD 法进行了多重比较。分析了棉花生殖分配与其它器官生物量比之间的相关性。对棉花株高、地径、以及生物量与生殖分配分别进行了回归分析。所有分析均用 SPSS 13.0 软件完成,方差检验  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 淹灌量对生殖分配的影响

播种期淹灌量对棉花生殖分配、枝生物量比和茎生物量比有着极显著影响,对叶生物量比和根生物量比影响不显著(表 1)。由图 1 看出, W I 的生殖分配低于 W II,但枝生物量比和茎生物量比高于 W II。相关分析表明,生殖分配与枝生物量比呈显著负相关,与茎生物量比相关性不显著(表 2),表明水分胁迫通过影响棉枝的形成影响生殖分配。

### 2.2 施氮量对生殖分配的影响

施氮量对棉花生殖分配和茎生物量比有极显著影响,对叶生物量比、枝生物量比和根生物量比影响不显著(表 1)。对于生殖分配, F I 极显著低于 F II ( $P < 0.01$ ),与 F III 差异不显著 ( $P = 0.05$ ), F II 与 F III 差异不显著 ( $P = 0.32$ ),表明适当的施氮能够提高生殖分配。F I 有着最高的茎生物量比 ( $P < 0.01$ ), F II 与 F III 差异不显著 ( $P = 0.08$ ) (图 1)。施肥与水分对生殖分配和茎有极显著的交互影响。相关分析发现生殖分配与茎生物量比相关性不显著(表 2),表明施肥可能影响其它变化进而影响到生殖分配。

### 2.3 生殖阶段对生殖分配的影响

生殖阶段对棉花的生殖分配、叶生物量比、茎生物量比和根生物量比有极显著影响,对枝生物量比影响不显著(表 1)。生殖分配和茎生物量比随采样时间增加逐渐增加。生殖分配在 8 月 13 日低于 9 月 28 日和 10 月 15 日,9 月 28 日与 10 月 15 日差异不显著 ( $P = 0.22$ );茎生物量比 8 月 13 日与 9 月 28 日差异不显著 ( $P = 0.82$ ),极显著低于 10 月 15 日 ( $P < 0.01$ )。叶生物量比和根生

物量比随采样时间增加逐渐降低。叶生物量比为: 8 月 13 日 > 9 月 28 日 > 10 月 15 日 ( $P < 0.01$ );根生物量比为: 8 月 13 日 > 9 月 28 日和 10 月 15 日 ( $P < 0.01$ )。9 月 28 日与 10 月 15 日差异不显著 ( $P = 0.12$ ) (图 1)。相关分析表明,生殖分配与叶生物量比和根生物量比呈极显著负相关(表 2),表明叶和根中的有机物质是向棉桃转移的主要来源。

表 1 三因素方差分析对生物量分配的影响

指标	水分	施肥	发育阶段	水分 × 肥料	水分 × 阶段	肥料 × 阶段	水分 × 肥料 × 阶段
生殖分配	F 值 14.22	5.62	172.17	10.51	5.05	1.85	2.35
	P 值 <0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.13	0.06
叶生物量比	F 值 0.14	0.09	619.54	3.16	1.51	1.17	1.72
	P 值 0.71	0.92	<0.01	<0.05	0.23	0.33	0.16
枝生物量比	F 值 14.01	0.06	1.28	11.95	5.74	7.06	6.47
	P 值 <0.01	0.94	0.29	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
茎生物量比	F 值 17.61	14.90	23.26	11.19	7.50	23.64	0.66
	P 值 <0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.62
根生物量比	F 值 0.84	0.12	15.46	1.88	0.90	2.12	0.49
	P 值 0.37	0.88	<0.01	0.16	0.41	0.09	0.74

表 2 生物量分配各指标之间相关分析

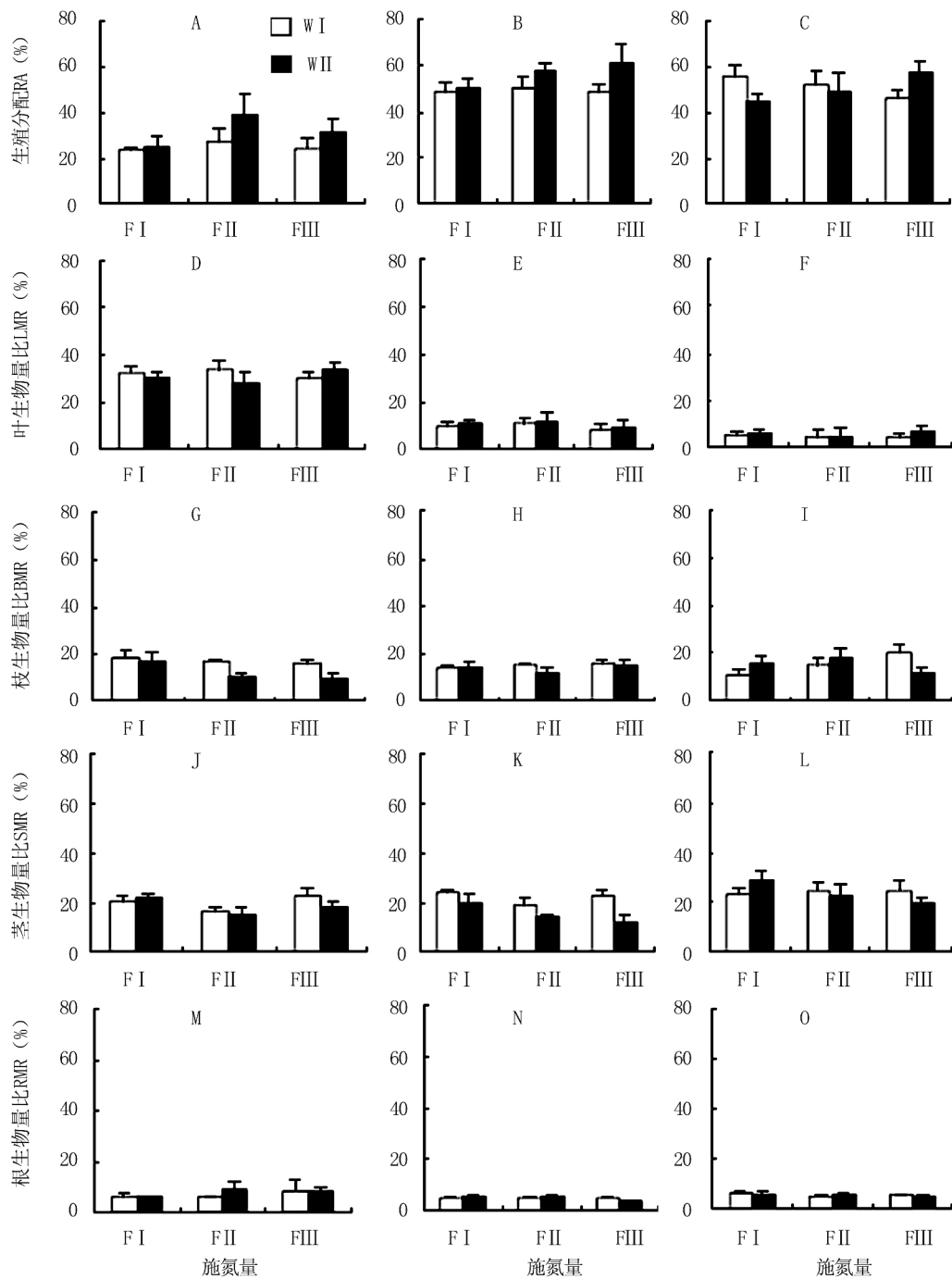
指标	生殖分配	叶生物量比	枝生物量比	茎生物量比	根生物量比
生殖分配	1.00	-0.86**	-0.27*	-0.22	-0.47**
叶生物量比	-0.86**	1.00	-0.05	-0.23*	0.44**
枝生物量比	-0.27*	-0.05	1.00	0.13	-0.19
茎生物量比	-0.22	-0.23*	0.13	1.00	-0.05
根生物量比	-0.47**	0.44**	-0.19	-0.05	1.00

### 2.4 植株大小对繁殖特征影响

由表 3 看出, W I F I 下,生殖分配与个体生物量回归系数为显著负相关,表明生殖分配与生物量竞争明显;而 W I F II 下为显著正相关, W I

表 3 棉花个体大小与生殖分配的线性回归分析

处理组合	株高 (cm)	地径 (cm)	生物量 (g/株)
W I	F I $y = -0.004x + 0.81$ (R=0.43)	$y = -0.04x + 1.14$ (R=0.78**)	$y = -0.002x + 0.75$ (R=0.66*)
	F II $y = 0.01x - 0.28$ (R=0.86**)	$y = -0.03x + 0.82$ (R=0.27)	$y = 0.002x + 1.47$ (R=0.56*)
	F III $y = 0.002x + 0.16$ (R=0.21)	$y = -0.002x + 0.44$ (R=0.04)	$y = 0.001x + 0.27$ (R=0.37)
W II	F I $y = -0.01x + 1.41$ (R=0.45)	$y = -0.02x + 0.65$ (R=0.31)	$y = 0.002x + 0.38$ (R=0.05)
	F II $y = 0.002x + 0.35$ (R=0.16)	$y = 0.01x + 0.30$ (R=0.15)	$y = 0.002x + 0.20$ (R=0.63*)
	F III $y = 0.01x + 0.12$ (R=0.46)	$y = 0.01x + 0.39$ (R=0.22)	$y = 0.001x + 0.39$ (R=0.62*)



图中取样时间: A、D、G、J、M 为 8 月 13 日; B、E、H、K、N 为 9 月 28 日; C、F、I、L、O 为 10 月 15 日

图 1 不同淹灌量和施氮量下棉花生殖分配、叶生物量比、枝生物量比、茎生物量比和根生物量比的比较

F III 下为不显著正相关,表明随施氮量增加,生殖分配与非生殖分配之间竞争关系改善。在 W II 下随施氮量增加,生殖分配与生物量之间的回归系数由不显著正相关到显著正相关,表明施氮量比在 W I 下能更好的改善生殖分配与非生殖分配者之间的关系。

### 3 讨论与结论

黄河三角洲地区春季蒸发量大、跑墒快、积盐重,影响棉花的出苗和苗期发育<sup>[26]</sup>,而春季播种前采用淡水压盐是提高其出苗率的重要措施<sup>[24]</sup>。本研究结果表明,灌溉量对棉花的生殖及生物量

分配有着重要的影响。高淹灌量的 W II 比 W I 有着高的棉花生殖分配,这与尖头叶藜<sup>[13]</sup>、克氏针茅<sup>[14]</sup>随土壤水分增加而增加的变化一致。在 W II 下,棉花主要是通过降低枝生物量比和茎生物量比提高生殖分配。而尖头叶藜则是通过降低根生物量比提高其生殖分配<sup>[13]</sup>。对于较高的供水,克氏针茅的生殖分配降低,而冷蒿在各个供水处理之间没有显著差异<sup>[14]</sup>。四合木的生殖分配则是在土壤含水量低的滩地有着高的生殖分配<sup>[27]</sup>。这些研究结果不一致可能与植物的遗传特性及对环境适应方式的不同有关。

氮是棉花生长发育最重要的元素之一<sup>[4]</sup>。施氮量增加可以显著提高棉铃数量和棉花产量<sup>[16,28]</sup>。本研究发现施氮增加了棉花的生殖分配,可能与提高棉花对盐胁迫的适应能力有关<sup>[29]</sup>。Dong 等<sup>[16]</sup>研究发现施氮肥会降低黄河三角洲区域棉花的生殖分配,这可能与其试验中氮肥的添加量低于本研究有关。而 Sadras 等<sup>[11]</sup>发现棉花生殖分配不受施肥的影响。雷占兰等<sup>[15]</sup>也发现燕麦的生殖分配不受氮肥影响。王俊锋等<sup>[30]</sup>研究表明,氮用量增加提高了羊草生殖分配,认为营养物质增加促使能量向生殖方面分配。这些研究表明棉花以及其他植物的生殖分配变化受到生存环境的重要影响。同时本研究还发现,水分和施肥量对生殖分配有着明显的交互作用,在 W II 下施氮肥更能促进生殖分配增加,这与在较高的土壤含水量下提高氮流动性更易于植物根系吸收有关<sup>[8]</sup>。

在植物生长发育过程中,生长、繁殖和防御等各种功能对有限的资源始终存在着竞争<sup>[31]</sup>。本研究中,棉花生殖分配与各个器官分配之间存在显著负相关,存在着资源竞争。在影响植物繁殖分配的诸多因子中,繁殖体大小与个体大小的关系被认为是生活史理论中最基本的研究内容<sup>[32]</sup>。在 W I F I 下,棉花生殖分配与个体生物量之间存在显著负相关。许多植物如黄帚囊吾<sup>[17]</sup>、毛茛科植物<sup>[18]</sup>、寸草苔<sup>[19]</sup>、沙地长穗虫实<sup>[33]</sup>等都随个体大小的增加生殖分配降低,这可能是因为在逆境下较大个体存在着繁殖代价增加导致的权衡<sup>[18,33]</sup>。在 W II F II 和 W II F III 下,棉花生殖分配与个体生物量呈正相关,这可能是当个体利用资源量多时(个体越大意味着利用资源量越多),

植物相应的会将更多的资源投入到生殖中去<sup>[34]</sup>。紫翅猪毛菜在较低海拔,繁殖分配与个体大小呈负相关关系,在较高海拔繁殖分配与个体大小呈正相关关系,而钠猪毛菜与其相反<sup>[35]</sup>。本研究棉花的生殖分配与个体大小的关系也显著受到生境的影响。棉花、紫翅猪毛菜和钠猪毛菜生殖分配对生境的响应是其可塑性的体现。

黄河三角洲地区春季干旱、土壤积盐是影响棉花高产的重要原因。本研究表明,春季播种前土壤灌溉对棉花的生殖过程有着显著影响,最终影响到棉花的产量和品质。施氮肥可以提高棉花的生殖分配,在充足的灌溉条件下效果更明显。因此,合理控制播种前的灌溉和施肥量是提高棉花产量的重要措施。针对黄河三角洲地区干旱、土壤积盐的差异,探讨水分和肥料的优化配置,提高该地区棉花产量是今后进一步研究的重要内容。

#### 参 考 文 献:

- [1] Araus J L, Slafer G A, Royo C, et al. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals[J]. *Critical Reviews in Plant Science*, 2008, 27: 377-412.
- [2] Le Houerou H N. Climate changes, drought and desertification[J]. *Journal of Arid Environments*, 1996, 34: 133-185.
- [3] Yang Y M, Yang Y H, Han S, et al. Prediction of cotton yield and water demand under climate change and future adaptation measures[J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 144: 42-53.
- [4] Yang G, Tang H, Nie Y, et al. Responses of cotton growth, yield, and biomass to nitrogen split application ratio[J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 35: 164-170.
- [5] Ciampitti I A, Murrell S T, Camberato J J, et al. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. Reproductive phase[J]. *Crop Science*, 2013, 53: 2588-2602.
- [6] Bobbink R, Hicks K, Galloway J, et al. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis[J]. *Ecological Applications*, 2010, 20(1): 30-59.
- [7] Liu X, Zhang Y, Han W, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. *Nature*, 2013, 494: 459-462.
- [8] Kong D L, Lü X T, Jiang L L, et al. Inter-annual precipitation fluctuations alter the responses of above- and belowground biomass to water and N enrichment[J]. *Biogeosciences Discuss*, 2013, 10: 13427-13454.
- [9] Norton E R, Silvertooth J C. Evaluation of added nitrogen interaction effects on recovery efficiency in irrigated cotton[J].

- Soil Science, 2007, 172: 983–991.
- [10] Wei C Z, Ma T F, Wang X J, et al. The fate of fertilizer N applied to cotton in relation to irrigation methods and N dosage in arid area [J]. Journal of Arid Land, 2012, 4(3): 320–329.
- [11] Sadras V O, Bange M P, Milroy S P. Reproductive allocation of cotton in response to plant and environmental factors [J]. Annals of Botany, 1997, 80: 75–81.
- [12] Yeates S J, Constable G A, McCumstie T. Irrigated cotton in the tropical dry season. II: Biomass accumulation, partitioning and RUE [J]. Field Crops Research, 2010, 116: 290–299.
- [13] Huang Y, Zhao X, Zhou D, et al. Biomass allocation to vegetative and reproductive organs of *Chenopodium acuminatum* Willd. under soil nutrient and water stress [J]. Bangladesh Journal of Botany, 2013, 42(1): 113–121.
- [14] 张昊, 李鑫, 姜凤, 等. 水分对克氏针茅和冷蒿生殖生长的影响 [J]. 草地学报, 2005, 13(2): 106–110.
- [15] 雷占兰, 周华坤, 刘泽华, 等. 密度氮肥交互处理下高寒地区燕麦的生长特性与生殖分配 [J]. 草业科学, 2014, 31(6): 1110–1119.
- [16] Dong H, Kong X, Li W, et al. Effects of plant density and nitrogen and potassium fertilization on cotton yield and uptake of major nutrients in two fields with varying fertility [J]. Field Crops Research, 2010, 119: 106–113.
- [17] 刘左军, 杜国祯, 陈家宽. 不同生境下黄帚橐吾 (*Ligularia virgaurea*) 个体大小依赖的繁殖分配 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(1): 44–50.
- [18] 赵志刚, 杜国祯, 任青吉. 5 种毛茛科植物个体大小依赖的繁殖分配和性分配 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 9–16.
- [19] 郭力华, 杨允菲, 李建东. 松嫩平原不同生境寸草苔种群生殖分株的数量特征及生殖分配动态 [J]. 草业学报, 2005, 14(2): 63–68.
- [20] Li F, Zhang A, Duan S, et al. Patterns of reproductive allocation in *Artemisia halodendron* inhabiting two contrasting habitats [J]. Acta Oecologica, 2005, 28: 57–64.
- [21] 杜国祯, 孙国钧, 王兮之, 等. 垂穗披碱草个体大小依赖的繁殖分配与种群密度的关系 [J]. 草业科学, 1999, 8(2): 26–33.
- [22] 刘金海, 郭香墨, 余学科, 等. 黄河三角洲棉花生产现状及展望 [J]. 中国棉花, 2013, 40(1): 1–2.
- [23] 刘春兰. 黄河三角洲地区棉花生产的气象灾害与应对措施 [J]. 棉花科学, 2013, 35(1): 3–9.
- [24] 董合忠, 辛承松, 李维江, 等. 山东滨海盐渍棉田盐分和养分特征及对棉花出苗的影响 [J]. 棉花学报, 2009, 21(4): 290–295.
- [25] 辛承松, 董合忠, 罗振, 等. 黄河三角洲盐渍土棉花施用氮、磷、钾肥的效应研究 [J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1698–1706.
- [26] 苗兴武. 黄河三角洲棉花低产原因及其改进措施 [J]. 中国棉花, 1999, 26(8): 31.
- [27] 徐庆, 刘世荣, 臧润国, 等. 中国特有植物四合木种群的生殖生态特征——种群生殖值及生殖分配研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(2): 36–41.
- [28] Oliveira M D, Barbosa P R R, Silva-Torres CSA, et al. Reproductive performance of striped mealybug *Ferrisia virgata* Cockerell (Hemiptera: Pseudococcidae) on water-stressed cotton plants subjected to nitrogen fertilization [J]. Arthropod-Plant Interactions, 2014, 8: 461–468.
- [29] Dong H. Technology and field management for controlling soil salinity effects on cotton [J]. Australian Journal of Crop Science, 2012, 6(2): 333–341.
- [30] 王俊锋, 王东升, 穆春生, 等. 施肥对羊草叶面积与穗部数量性状关系的影响 [J]. 吉林师范大学学报: 自然科学版, 2007(1): 34–38.
- [31] Westley L C. The effect of inflorescence bud removal on tuber production in *Helianthus tuberosus* L. (Asteraceae) [J]. Ecology, 1993, 74: 2136–2144.
- [32] Klinkhamer P G L, Meelis E, de Jong T J, et al. On the analysis of size-dependent reproductive output in plants [J]. Functional Ecology, 1992, 6: 308–316.
- [33] 何玉惠, 赵哈林, 刘新平, 等. 不同类型沙地长穗虫实的繁殖分配及其与个体大小的关系 [J]. 干旱区研究, 2009, 26(1): 59–64.
- [34] 孙凡, 钟章成. 四川大头茶繁殖分配及其环境适应性的关联度研究 [J]. 植物生态学报, 1997, 21(1): 44–52.
- [35] 刘尊驰, 刘华峰, 赵丹, 等. 紫翅猪毛菜、钠猪毛菜不同个体大小繁殖分配差异及随海拔的变化 [J]. 生态学报, 2015, 35(18): 5957–5965.