

氮素水平对棉铃干物质积累分配和纤维品质性状的影响

马溶慧, 许乃银, 张传喜, 李文峰, 冯 营, 王友华, 周治国, 孟亚利*

(南京农业大学, 农业部作物生长调控重点开放实验室, 南京 210095)

摘要:在南京(长江流域下游棉区)和徐州(黄河流域黄淮棉区)设置氮素水平(零氮:N 0 kg·hm⁻², 适氮:N 240 kg·hm⁻², 高氮:N 480 kg·hm⁻²)试验,研究了氮素对棉铃(伏桃、秋桃)干物质积累分配和纤维品质性状的影响。结果表明:棉铃各组成部分的干物质积累以纤维受氮素的影响最大,其次为棉子、铃壳。棉子与纤维间存在同步异速生长关系,这种关系可用模型 $y=a+bx$ 表示(x,y 分别代表棉子、纤维干重的自然对数, a 为截距, b 为线性回归系数)。零氮、高氮处理均降低了伏桃的 b 值,相应的纤维比强度亦显著降低;秋桃的 b 值在适氮与高氮处理间差异较小,但显著高于零氮处理,纤维长度、比强度及整齐度对氮素水平的响应亦呈现出相同趋势。综合分析认为,棉子、纤维异速生长方程的线性回归系数 b 越大越有利于高品质棉的形成。

关键词:棉花;氮素;棉铃;干物质积累分配;异速生长;纤维品质

中图分类号:S562.01 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2009)02-0115-06

Effects of Nitrogen Rates on Dry Matter Accumulation and Distribution of Bolls and Fiber Quality Characteristics in Cotton

MA Rong-hui, XU Nai-yin, ZHANG Chuan-xi, LI Wen-feng, FENG Ying, WANG You-hua, ZHOU Zhi-guo, MENG Ya-li*

(Key Laboratory of Crop Growth Regulation, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To investigate the effects of nitrogen rates on dry matter accumulation and distribution of bolls and fiber quality characteristics, field experiments were conducted in Nanjing (middle lower reaches of Yangtze River Valley) and Xuzhou (Yellow River Valley). The three N rates is 0, 240 and 480 kg·hm⁻², standing for low, optimum and high nitrogen application level, respectively. The results showed that the effect degree of nitrogen rates on fiber was higher than that on seed or boll. The decrease in seed/fiber ratio came from an allometric growth between seed and fiber, which could be expressed by the following equation: $y=a+bx$ (x is the natural logarithm of cottonseed and y is the natural logarithm of fiber dry weight per boll, a is intercept and b is regression coefficient for the linear equation). "b" of the cotton bolls bloomed on Jul 25 was significantly declined under low-nitrogen or high-nitrogen treatment, fiber strength also decreased correspondingly. "b" of the cotton bolls bloomed on Sep 10 has a little difference between high-nitrogen treatment and medium-nitrogen treatment, but significantly higher than low-nitrogen treatment, and the indices of fiber length, strength and uniformity showed similar trends too. All the results indicated that the larger "b" is, the more favorable to form high fiber quality.

Key words: cotton (*Gossypium hirsutum* L.); nitrogen; cotton boll; dry matter accumulation and distribution; allometric growth; fiber quality

棉花(*Gossypium hirsutum* L.)生长发育受品种遗传特性、环境条件和栽培措施等诸多因素的共同影响。其中,氮素参与新陈代谢的所有过程,是棉花优质高产的重要限制因素^[1]。棉铃是由多元成分构成的较为复杂的有机统一体,又是构成棉花产量、品质的基本单位^[2],其生长发育受生态环境条件及栽培调控措施的影响较大^[3-7]。不合理的氮素供应是导致棉花生长发育失调、铃重降低的主要原因^[8],严重影响棉花的产量与品质。深入开展有关氮素影响棉铃各组分干物质积累分配的研究,对棉花生产中增结优质铃、增产优质棉的氮素营养调控具有重要意义。

前人对棉铃各组分干物质积累的动态变化特征已做了大量研究,多数研究认为铃壳是棉铃养分积累、运输分配的“中转站”,其干物质重呈前期上升,中期达到峰值,至棉铃发育成熟略有下降的变化趋势,而棉子、纤维干物质重随铃龄变化的趋势符合前期慢、中期快、后期又慢的“S”型曲线^[2,5,9-11]。也有学者认为铃壳干物质累积曲线亦呈“S”型^[12-18]。棉铃各组成部分干物质累积的差异是对养分积累、运转与分配的结果^[2,4],棉纤维品质的形成受控于棉株制造的有机养分向铃壳以及铃壳向棉子和纤维的运转^[14]。因此,棉铃各组成部分干物质积累动态变化与纤维品质指标的形成关系密切。棉花具有无限开花结铃的习性,不同开花期棉铃纤维品质的形成受生态因素的影响较大^[3,15-16],且氮素对棉纤维品质指标的影响程度存在季节性差异^[17]。那么,该差异的形成是否与棉铃各组分干物质积累分配的差异有关,尚未见相关报道。

本文拟通过在不同生态棉区设置氮肥试验,分析不同开花期条件下棉铃各组成部分干物质积累分配动态变化对氮素的响应,并探索其与纤维品质性状的关系,为高品质棉生产的氮素营养调控提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

为兼顾试验的重复性和生态区域性,试验于2005年在江苏南京(118°50'E,32°02'N,长江流域下游棉区)、江苏徐州(117°11'E,34°15'N,黄河流域黄淮棉区)同时进行。供试土壤分别为黄棕壤土、粘土,0~20 cm土壤分别含有机质1.73%、1.47%,全氮0.11%、0.09%,碱解氮51.71 mg·kg⁻¹、45.76 mg·kg⁻¹,速效磷27.82 mg·kg⁻¹、21.34 mg·kg⁻¹,速效钾103.27 mg·kg⁻¹、89.26

mg·kg⁻¹。

以科棉1号为供试材料。根据薛晓萍等^[1]研究,240 kg·hm⁻²纯氮是棉花高产适宜施氮量,故氮素处理均设0 kg·hm⁻²(N0)、240 kg·hm⁻²(N240)、480 kg·hm⁻²(N480)纯氮3个水平,分别代表零氮、适氮和高氮水平。所用氮肥为尿素,基施50%、花铃肥(初花期)施用50%。试验采取随机区组设计,小区面积均为54 m²,4次重复。棉花于4月25日营养钵育苗,5月18日移栽。为确保氮肥施用均匀,基施氮肥至移栽后第2 d,在棉行内相邻两棵棉苗之间打一个20 cm深孔,每孔内定量施入设计数量的尿素。初花期(7月8日)同样打孔定量施入花铃肥。田间管理均按高产栽培要求进行。

试验于7月25日、9月10日挂牌标记当日棉株1、2果节所开白花,分别对应于生产上的伏桃(南京、徐州铃龄0~50 d的日均温分别为26.7℃、25.2℃,5~8果枝)和秋桃(南京、徐州铃龄0~50 d的日均温分别为20.6℃、18.4℃,16果枝以上)。对挂牌标记铃,从铃龄10 d开始直至吐絮,每7 d取生长发育一致的棉铃8~10个,取样均在上午9:00—10:00进行。分离棉铃各组成部分,分别烘干称重,计算单个棉铃的铃壳、棉子和纤维干重。棉铃吐絮时,收取大小一致的棉铃20个左右,风干轧花后供测试纤维品质指标。试验中所用气象资料分别由南京、徐州气象局提供。

1.2 测定内容与方法

棉纤维品质指标由中国农科院棉花研究所用HVI900仪器测定。

1.3 数据处理

试验数据用Excel和SPSS分析软件处理。论文所列图中数据均来源于4次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 氮素水平对棉铃干物质积累动态变化的影响

2.1.1 铃壳。铃壳干重随铃龄呈先升后降的变化趋势,伏桃的峰值出现在铃龄24 d,秋桃峰值出现的时间较迟,试点间趋于一致(图1)。伏桃与秋桃铃壳干物质积累量差异达显著水平($P < 0.05$),伏桃在铃龄31 d前显著高于秋桃,之后则相反。氮素对铃壳干重影响的趋势在伏桃与秋桃间表现一致,南京试点受氮素的影响较小($P > 0.05$)。徐州试点表现为峰值前受氮素的影响程度较小($P > 0.05$),峰值后N240与N480差异较小,但显著高于N0。说明铃壳干重受开花期的影

响较大,但对氮素的敏感程度较小。

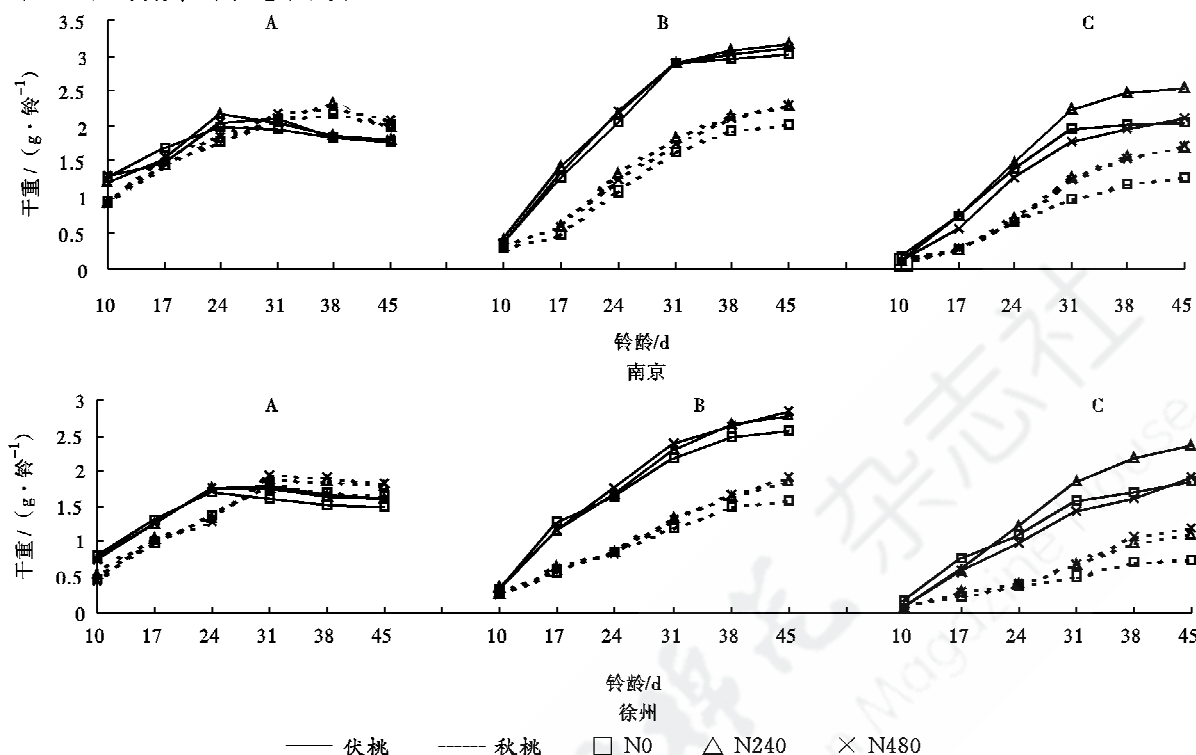


图1 氮素水平对伏桃和秋桃中铃壳(A)、棉子(B)和纤维(C)干物质积累动态变化的影响

Fig. 1 Effects of nitrogen rates on dynamic changes of dry shell weight (A), dry seed weight (B) and dry fiber weight (C) accumulation in cotton bolls with different anthesis dates

2.1.2 棉子。棉子干重随铃龄呈“S”型变化趋势,试点间一致(图1)。开花期显著影响棉子干重的积累量($P < 0.05$),秋桃显著低于伏桃。说明秋桃发育处于低温和较大植株生理年龄下显著降低了棉子干物质的积累量。氮素对棉子干重的影响在铃龄31 d前较小($P > 0.05$),之后的影响较大($P < 0.05$)。氮素水平间差异表现为N240与N480差异较小,均显著高于N0,伏桃的N240、N480处理在铃龄45 d的棉子干重分别较N0高6.3%、6.7%,秋桃则分别高14.9%、17.1%。表明零氮处理显著降低了棉子干重,且影响程度随开花期的推迟而增加,而高氮的影响相对较小。

2.1.3 纤维。棉纤维干重随铃龄的变化趋势与棉子一致(图1)。开花期显著影响棉纤维干重($P < 0.05$),秋桃的纤维干重较伏桃平均降低了38.6%(南京)、51.3%(徐州),说明徐州试点秋桃纤维干重受开花期影响的程度大于南京。究其原因,可能是徐州试点的秋桃其铃龄0~50 d内的日均温为18.4℃,低于南京(20.6℃)。氮素对纤维干重的影响在铃龄24 d前较小($P > 0.05$),之后的影响较大($P < 0.05$)。氮素水平间差异伏

桃表现为N240显著高于N0、N480,秋桃则表现为N240与N480差异较小,但显著高于N0。说明氮素对棉铃纤维干物质积累的影响程度在开花期间存在差异,伏桃受零氮、高氮处理的影响均较大,秋桃主要受缺氮的影响,对高氮的敏感程度较小。

2.2 氮素水平对棉子/纤维值动态变化的影响

由图2可知,棉子/纤维值随铃龄呈持续下降趋势,以铃龄10~17 d内的降幅较大,之后降幅变小,试点间变化趋势一致。这说明棉子与纤维间具有异速生长的特征。在铃龄10~17 d内以棉子的生长速率较大,随着棉铃生育进程的推移,纤维的生长速率迅速增加,在较大程度上降低了棉子/纤维值;铃龄31~45 d内棉子、纤维干重均达到相对稳定的水平,增长幅度均较小,相应其比值趋于稳定。氮素水平间差异,对伏桃而言,铃龄10~17 d内的棉子/纤维值N240与N480差异较小,均显著高于N0,铃龄21~45 d内则表现为N240显著高于N0、N480;秋桃的棉子/纤维值N240与N480差异较小,但铃龄10~17 d内显著高于N0,铃龄21~45 d内与之相反。说明棉铃中棉子、纤维干物质分配比例对氮素的响应在开花期间存在差异,伏桃

受零氮、高氮处理的影响均较大,秋桃主要受缺氮

的影响,受高氮的影响较小。

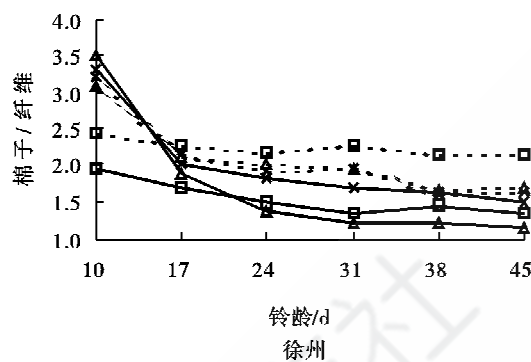
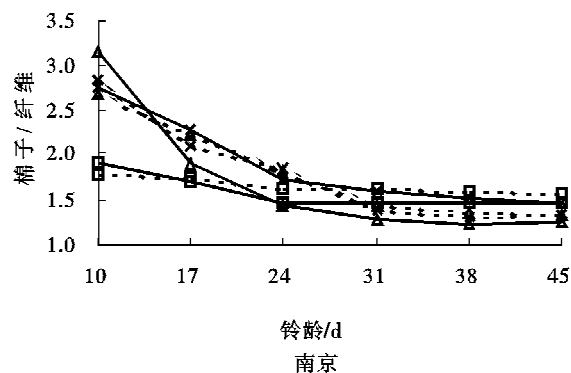


图2 氮素水平对伏桃和秋桃中棉子/纤维动态变化的影响

Fig. 2 Effects of nitrogen rates on dynamic changes of seed/fiber ratio in cotton bolls with different anthesis dates

2.3 氮素水平对棉子与纤维间异速生长关系的影响

进一步分析棉铃中棉子与纤维干物质分配存在的异速生长关系,可用如下表达式表示: $y=a+bx$,式中 y 表示纤维干重的自然对数, x 表示棉子干重的自然对数, a 为截距, b 表示棉子与纤维生长速率的关系参数(表1)。 b 值的大小可以反映棉子、纤维异速生长的程度, b 值越大越有利于光合产物向纤维分配。若棉铃生长不受任何条件的限制,干物质在棉子、纤维间只有一种分配模式, b 只有一个确定值;当棉铃生长受外界环境条件的胁迫时,则棉子、纤维间的分配模式将会发生改变, b 值亦随之变化。分析表1可知, b 值显著受氮素水平的影响($P<0.05$),伏桃的 b 值以N240较大,N0、N480,较之分别降低了23.4%、12.0%;秋桃的 b 值表现为N240、N480的 b 值较N0分别增加了24.0%、26.6%。由此可见,氮素

是影响棉铃中棉子、纤维干物质分配比例的重要因素之一,且对棉子与纤维间异速生长的影响与开花期之间存在协同作用。零氮、高氮处理均阻滞了伏桃中营养物质向纤维转运的进程,但随着开花期的推迟,秋桃中棉子与纤维的异速生长主要受缺氮的影响,而对高氮的敏感程度较小。

表1 棉子与纤维间的异速生长关系

Table 1 The allometric relationship between cottonseed and fiber growth, linear equations of the form

样品	氮素水平	截距(a)		线性回归系数(b)	
		南京	徐州	南京	徐州
伏桃	N0	-0.5266	-0.4962	1.1279	1.1687
	N240	-0.7508	-0.6954	1.4579	1.5414
	N480	-0.7791	-0.7937	1.2857	1.3540
秋桃	N0	-0.5147	-0.7859	1.0608	1.0715
	N240	-0.6065	-0.6995	1.3628	1.2817
	N480	-0.5919	-0.6866	1.3918	1.3080

注:1%的置信度,a,b值均在标准误差内。

表2 氮素水平对伏桃和秋桃纤维品质性状的影响

Table 2 Effects of nitrogen rates on cotton fiber quality characteristics of bolls with different anthesis dates

样品	氮素水平	南京				徐州			
		长度/mm	比强度/(cN·tex ⁻¹)	麦克隆值	整齐度/%	长度/mm	比强度/(cN·tex ⁻¹)	麦克隆值	整齐度/%
伏桃	N0	31.6a	33.5b	5.1a	87.4a	30.0b	31.6b	4.6a	85.9a
	N240	31.8a	35.6a	5.0a	87.1a	30.9a	33.5a	4.5a	86.5a
	N480	31.6a	32.9b	5.0a	87.4a	30.7a	31.1b	4.4a	85.9a
秋桃	N0	29.5b	27.2b	4.3a	81.9a	28.2b	24.4b	3.0a	80.7b
	N240	30.3a	31.1a	4.0b	83.5a	29.0a	28.2a	2.7b	83.8a
	N480	30.4a	31.9a	3.9b	83.7a	29.4a	28.8a	2.6b	83.7a

注:数据后不同字母表示0.05水平差异性显著。

2.4 氮素水平对棉纤维品质性状的影响

从表2看出,氮素水平对纤维品质性状的影响程度在开花期间存在差异。除纤维比强度外,伏桃的纤维长度、麦克隆值及整齐度在氮素水平间差异均未达显著水平($P>0.05$)。N240的纤维比强度显著高于N0、N480,N0、N480较N240

分别降低了5.8%、7.4%。说明伏桃纤维品质指标中以比强度对氮素的敏感程度较高,其它纤维品质指标对氮素的敏感程度较小;秋桃纤维品质指标受氮素的影响均较大($P<0.05$),纤维长度、比强度及整齐度均表现为N240与N480差异较小,均显著高于N0。就纤维比强度而言,与N240

相比, N0 较之降低了 13.0%, N480 则与之差异不显著; 麦克隆值则表现为 N240 与 N480 间差异较小, 但显著低于 N0。说明随着开花期推迟, 零氮处理对纤维品质指标的影响程度加大, 而高氮的影响程度与之相反, 即氮素对纤维品质指标的影响与开花期之间存在协同作用。

综上所述, 零氮、高氮处理均降低了伏桃中棉子、纤维的异速生长系数 b , 相应显著降低了伏桃的纤维比强度; 秋桃的 b 值受缺氮的影响较大, 但对高氮不敏感, 相应秋桃的纤维品质指标对氮素水平的响应趋势与之类似。

3 讨论与结论

棉铃是一个有机的整体, 棉铃各组成部分对运输到棉铃内部光合产物的竞争与分配是动态变化的^[2,18]。本研究表明, 棉铃中纤维干重在氮素水平间存在较大差异, 而棉子与铃壳干重的差异较小。因此, 可以认为当氮素对棉铃各组成部分干物质积累产生影响时, 首先影响到纤维, 其次是棉子、铃壳, 这一结果与前人研究外界环境因素影响棉铃发育的结论相符^[4,9]。棉子、纤维生长所需的营养成分均来自铃壳运转的光合产物, 二者之间存在同步异速生长的关系^[19-20], 它们的相对生长速率随时间和环境条件而变化。如果棉铃的发育不受任何条件的限制, 则干物质在棉铃各组分间只有一种分配模式, 各组分的生长速率之间具有固定的比率^[20]。在本研究中, 不同氮素处理的棉子、纤维异速生长的系数 b 均大于 1, 说明在铃龄 10~45 d 内纤维的相对增长速率大于棉子, 这一结论与赵都利等的研究结果不符^[19], 有待于进一步研究。本研究发现, 氮素水平对棉铃中棉子、纤维异速生长的影响程度在开花期间存在差异, 缺氮(N0)、过量施氮(N480)处理均显著降低了伏桃的异速生长系数 b , 而秋桃的异速生长系数 b 主要受缺氮的影响, 过量施氮有提高 b 值的趋势。其现象形成的原因可能在于以下两个方面: (1) 氮素过量导致棉株营养生长过旺, 增加了叶面积指数, 群体中下部透光明显恶化, 加速了中下部叶片的衰老, 不利于光合产物向生殖器官运转; 缺氮则引起叶绿素、可溶性蛋白下降, 丙二醛含量升高, 加速了植株衰老的进程, 以致叶片中光合产物的供应能力严重不足, 从而降低了棉铃中光合产物向纤维分配的比例。(2) 棉花生殖生长期较长且具有无限开花结铃习性, 棉株自身具有较强氮素稀释能力, 加上土壤中氮素的淋洗和挥发, 高氮对棉铃生长的胁迫程度随着棉株生育进程的推移逐渐降低, 而缺氮越来越不利于棉铃的生长发育。

氮是棉铃积累的主要矿质营养元素, 随着棉铃发育由铃壳运输到棉子当中。相关研究表明, 当棉铃吐絮时, 90% 左右的氮贮存在棉子中^[21], 过高过低的氮素水平势必造成棉子中碳氮代谢失调^[7], 不利于碳水化合物向纤维输送, 使棉纤维发育受阻, 影响纤维品质的形成。本研究结果表明, 与适氮(N240)处理相比, 缺氮(N0)、过量施氮(N480)处理均显著降低了伏桃的纤维比强度, 但对其余三个纤维品质指标的影响较小; 缺氮处理对秋桃纤维品质指标的影响均达显著水平, 而过量施氮的影响较小。由此推断, 棉铃生长发育处于较为适宜的温度(铃龄 0~50 d 的日均温 $> 24^{\circ}\text{C}$)和植株生理年龄(约 5~8 果枝)条件下, 纤维比强度是对不合理氮素水平反应较为敏感的品质指标; 随着温度的降低(铃龄 0~50 d 的日均温 $< 20^{\circ}\text{C}$)及棉株进一步衰老(16 果枝以上), 棉纤维品质指标的形成对缺氮的敏感程度增加, 而对高氮的敏感程度降低。另外, 本研究发现, 在相同开花期条件下, 棉子、纤维的异速生长程度对氮素水平的响应趋势与纤维品质指标一致。其异速生长方程的线性回归系数 b 值越高, 越有利于高品质棉的形成。因此, 可以推断棉子、纤维异速生长方程的线性回归系数 b 值能衡量出棉子中碳化合物流向纤维的能力, 与棉纤维品质指标的形成关系密切。

参考文献:

- [1] 薛晓萍, 陈兵林, 郭文琦, 等. 棉花临界需氮量动态定量模型[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2363-2370. XUE Xiao-ping, Chen Bing-lin, Guo Wen-qi, et al. Dynamic quantitative model of critical nitrogen demand of cotton [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2363-2370.
- [2] 黄骏麒. 中国棉作学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998. HUANG Jun-qi. China cotton cultivation [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998.
- [3] GRISMER M E. Regional cotton lint yield, etc and water value in Arizona and California [J]. Agricultural Water Management, 2002, 54: 227-242.
- [4] 单世华, 孙学振, 周治国, 等. 温度对棉纤维干物质积累动态变化的影响[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2001, 32(1): 6-10. SHAN Shi-hua, Sun Xue-zhen, Zhou Zhi-guo, et al. The effect of temperature on the dynamic changes of cotton fiber dry matter accumulation [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 2001, 32(1): 6-10.

- [5] SAWAN Z M, Mahmoud M H, El-guibali A H. Response of yield, yield components, and fiber properties of Egyptian cotton (*Gossypium barbadense* L.) to nitrogen fertilization and foliar-applied potassium and mepiquat chloride [J]. *The Journal of Cotton Science*, 2006, 10: 224-234.
- [6] 陈兵林, 曹卫星, 周治国. 棉花单铃干物质积累分配的分期动态模拟及检验 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(3): 487-493.
CHEN Bing-lin, Cao Wei-xing, Zhou Zhi-guo. Simulation and validation of dry matter accumulation and distribution of cotton bolls at different flowering stages [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(3): 487-493.
- [7] BONDADA B R, Osterhuis D M, Norman R J. Canopy photosynthesis growth yield and boll accumulation under nitrogen stress in cotton [J]. *Crop Science*, 1996, 36(1): 127-133.
- [8] 孙红春, 冯丽肖, 谢志霞, 等. 不同氮素水平对棉花不同部位-铃叶系统生理特性及铃重空间分布的影响 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40(8): 1638-1645.
SUN Hong-chun, Feng Li-xiao, Xie Zhi-xia, et al. Physiological characteristics of boll-leaf system and boll weight space distributing of cotton under different nitrogen levels [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(8): 1638-1645.
- [9] 范君华, 刘明, 陈志林. 零型海岛棉发育棉铃物质积累分配与铃壳生理生长动态变化初探 [J]. *棉花学报*, 2008, 20(2): 154-157.
FAN Jun-hua, Liu Ming, Chen Zhi-lin. Primitively exploring the matter accumulation and distribution in the developing cotton-boll and the physio-biochemical dynamics in the boll shell in boll for island cotton (*Gossypium barbadense* L.) [J]. *Cotton Science*, 2008, 20(2): 154-157.
- [10] 马富裕, 曹卫星, 李少昆, 等. 棉花纤维品质与气象因子的定量分析 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2102-2107.
MA Fu-yu, Cao Wei-xing, Li Shao-kun, et al. Quantitative analysis on the relationships between cotton fiber quality and meteorological factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2102-2107.
- [11] 高英, 高 ■, 金桂红, 等. 麦后移栽棉不同品种棉铃干物质积累与分配研究 [J]. *棉花学报*, 1993, 5(2): 55-61.
GAO Ying, Gao Qiu, Jin Gui-hong, et al. Studies on accumulation and distribution of dry matter in cotton bolls in various varieties of cotton transplanted after wheat harvest [J]. *Cotton Science*, 1993, 5(2): 55-61.
- [12] 周可金, 江厚旺, 吴宁, 等. 不同开花期棉铃干物质积累规律研究 [J]. *棉花学报*, 1996, 8(3): 145-150.
ZHOU Ke-jin, Jiang Hou-wang, Wu Ning, et al. Studies on the dynamics of dry matter accumulation of cotton boll at different flower stages [J]. *Cotton Science*, 1996, 8(3): 145-150.
- [13] LEFFLER H R. Development of cotton fruit accumulation and distribution of dry matter [J]. *Agronomy Journal*, 1976, 68: 855-857.
- [14] 卞海云, 陈兵林, 周治国, 等. 低温条件下外源生理活性物质对棉铃发育的影响 [J]. *西北植物学报*, 2005, 25(9): 1785-1790.
BIAN Hai-yun, Chen Bing-lin, Zhou Zhi-guo, et al. Effect of exogenous physiological active materials on boll development at low temperature [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2005, 25(9): 1785-1790.
- [15] CAMPBELL B T, Jones M A. Assessment of genotype \times environment interactions for yield and fiber quality in cotton performance trials [J]. *Euphytica*, 2005, 144: 69-78.
- [16] 马富裕, 曹卫星, 周治国, 等. 田间条件下遮光对棉花棉铃发育及纤维品质的影响 [J]. *棉花学报*, 2004, 16(5): 270-274.
MA Fu-yu, Cao Wei-xing, Zhou Zhi-guo, et al. Effects of shading on boll development and fiber quality in field grown cotton [J]. *Cotton Science*, 2004, 16(5): 270-274.
- [17] READ J J, Reddy K R, Jenkins J N. Yield and fiber quality of upland cotton as influenced by nitrogen and potassium nutrition [J]. *European Journal Agronomy*, 2006, 24: 282-290.
- [18] 朱绍琳, 陈旭升, 易福华, 等. 棉铃生物学 [M]. 北京: 中国农业科学出版社, 1994.
ZHU Shao-lin, Chen Xu-sheng, Yi Fu-hua, et al. *Cotton boll biology* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1994.
- [19] 赵都利, 许莹, 王汉文, 等. 棉铃各组成部分的干物质积累及其与温度关系的研究 [J]. *陕西农业科学*, 1985, 6: 26-30.
ZHAO Dou-li, Xu Xuan, Wang Han-wen, et al. Study on the dry matter accumulation of different part of bolls and its relationship with temperature [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 1985, 6: 26-30.
- [20] 胡宏标, 张文静, 陈兵林, 等. 棉铃对位叶 C/N 的变化及其与棉铃干物质积累与分配的关系 [J]. *作物学报*, 2008, 34(2): 254-260.
HU Hong-biao, Zhang Wen-jing, Chen Bing-lin, et al. C/N ratio variability in the leaf subtending cotton boll and its relationship to cotton boll dry matter accumulation and distribution [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(2): 254-260.
- [21] EGELKRAUT T M, Kissel D E, Cabrera M L, et al. Nitrogen concentration in cottonseed as an indicator of N availability [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2004, 68: 235-242. ●