

不同基因型棉花地上部干物质积累对氮素的响应

刘绍东¹, 张思平¹, 张立祯^{2*}

(1. 中国农业科学院棉花研究所 / 农业部棉花遗传改良重点实验室, 河南 安阳 455000;

2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 选取有代表性的 3 个棉花品种(美国抗虫棉 33B、常规棉中棉所 12 和抗虫杂交棉中棉所 46), 在大田试验条件下测定不同施氮处理下(0、90、180、270、360 kg·hm⁻²)的叶面积指数(LAI)、地上部干物质和植株氮浓度的动态变化。运用指数线性生长模型对棉花地上部干物质积累过程进行模拟, 并用幂函数模拟棉花氮稀释效应。结果表明:(1)棉花地上部干物质增长过程可以用指数线性模型模拟, 模型参数能较好地反映基因型和氮肥处理对地上部干物质积累的影响。(2)棉花地上部氮浓度随干物质的增长而降低, 模型能较好地反映不同基因型棉花氮素吸收能力的差异。(3)通过对棉花地上部干物质增长和氮稀释效应的模拟分析, 认为田间最佳施氮水平为 180 kg·hm⁻², 过量施氮对 3 个棉花品种的干物质积累和地上部植株氮素吸收增加无明显影响。

关键词: 棉花; 地上部干物质积累; 氮肥; 指数线性生长模型; 氮稀释

中国分类号: S562.01 文献标识码: A

文章编号: 1002-7807(2010)01-0077-06

Above-ground Dry Matter Accumulation of Cotton Genetics at Different Nitrogen Applications

LIU Shao-dong¹, ZHANG Si-ping¹, ZHANG Li-zhen^{2*}

(1. Key Laboratory for Genetic Improvement of Cotton / Ministry of Agriculture, Cotton Research Institute, CAAS, Anyang, Henan 455000, China; 2. College of Agricultural Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Field experiments were conducted to analyze the dynamics of LAI, accumulation of above-ground dry matter and above-ground nitrogen content for three cotton varieties (Bt variety 33B, conventional variety CCRI 12 and Bt hybrid CCRI 46) under five nitrogen application levels (0, 90, 180, 270 and 360 kg·hm⁻²) in a randomized completed block design in Anyang. The expolinear growth equation was used to simulate the dynamic of cotton above-ground dry matter; and a power function was used to describe nitrogen dilution. The results showed that: (1) the expolinear growth equation was well fitted to the growth of cotton above-ground dry matter, and the parameters could reflect the influence of interaction between cotton genetics and nitrogen applications. (2) The power function of dry matter and nitrogen content showed the declination of cotton above-ground nitrogen content with the dry matter accumulation, the parameter could be used to explore the ability of nitrogen uptake. (3) The analysis of above-ground dry matter accumulation and nitrogen dilution effect, showed that the appropriate rate of nitrogen application was 180 kg·hm⁻² and excessive nitrogen application had no effect with cotton growth and nitrogen uptake.

Key words: cotton; above-ground dry matter accumulation; nitrogen; expolinear growth equation; nitrogen dilution function

棉花是我国重要的经济作物, 棉花干物质的积累是影响棉花产量和品质的重要因素。陈德华等^[1]研究表明, 棉花群体干物质积累与产量密切相关, 协调棉花干物质生产是建立棉花高效群体

的基础。Goundriaan and van Laar^[2]认为一年生作物的生长周期可以分为三个阶段: 早期的快速增长阶段、线性增长阶段和成熟期的饱和阶段。因此, 作物的干物质积累可以用指数-线性生长函

收稿日期: 2009-04-30

作者简介: 刘绍东(1984-)男, 硕士, mrliUSD@163.com; * 通讯作者, zhang.lizhen@hotmail.com.

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项棉花(3-5)

数进行描述。对棉花的干物质积累和分配规律模拟,前人大量的研究表明,棉花是对环境条件反应十分敏感的作物,氮肥、密度、栽培方式、基因型等因素对棉花的干物质积累都能产生显著影响,但对模型基本形态影响较小^[3-11]。国内主要应用 Logistic 模型对作物干物质生长进行模拟分析,本文应用指数线性生长模型对作物的生长进行分段模拟的方法,研究棉花基因型与氮素营养水平对地上部干物质增长的影响。

氮肥是我国棉花生产中使用量最大的肥料。我国棉花产量的提高是以氮素肥料的高投入为基础的,科学合理地施用氮肥可以协调营养生长和生殖生长,增加干物质生产和积累。氮素对干物质增长模型的形态影响较小,但对其增长速率影响较大。因此,可以通过不同的施氮量来调节群体生长,以提高作物产量和品质。薛晓萍等^[11]通过对黄河流域和长江中下游棉区的研究发现,合理的氮肥施用可以调节棉花干物质积累过程,优化棉花各部位干物质的积累和分配。许多研究证实,密集冠层作物在生育期内氮浓度下降,主要是因为叶片自遮蔽作用冠层氮浓度不均匀,上部冠层浓度高而下层由于受到遮蔽浓度低以及作物结构组织和储藏组织比例的增大导致氮浓度降低^[12]。Lemaire^[13]研究认为,氮肥供应不受限制的情况下,可以用函数模拟植株氮浓度和干物质积累之间的关系。因此,可以用氮稀释曲线监测植株氮素缺乏状况、氮肥管理和模拟作物氮肥分配。本研究通过对三个具有不同遗传背景的棉花品种在不同氮肥处理水平下的 LAI、地上部干物质积累和植株氮浓度变化比较分析,运用指数线性生长模型和氮稀释曲线分别对棉花地上部干物质积累和氮浓度变化过程进行模拟分析,研究不同基因型棉花品种对氮肥敏感性差异,以期对棉花田间氮肥管理提供理论依据。

1 材料和方法

试验于 2007 年在河南省安阳市中国农业科学院棉花研究所实验农场进行。试验点土壤为沙壤土。供试品种为美棉 33B、中棉所 12 和中棉所 46。4 月 19 日播种。试验设置 5 个氮肥处理水平 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$): 0、90、180、270、360, 分别以 N0、N1、

N2、N3 和 N4 表示,4 次重复,完全随机区组排列,小区面积 38.4 m^2 ,行距为 0.8 m,6 行。氮肥施用全部用作追肥,分 5 次平均施用。田间管理按照棉花大田高产栽培要求进行。

在棉花生长过程中,分别于 5 月 17 日、6 月 20 日、7 月 16 日、8 月 23 日和 9 月 17 日进行田间取样,在每个小区选取有代表性的棉株 3 棵,剪取地上部分,按茎、叶、蕾、铃和花等不同部位分样,用长乘宽法量取叶面积,然后按不同部位分样,在 80°C 下烘干至恒重,测定其干重,用凯氏定氮法测定植株各部分氮浓度。取样棉花的叶面积是通过测量每片叶的长和宽来计算,公式如下:叶面积 = $0.810 \times \text{长} \times \text{宽}$ ^[14]。

本文采用指数线性模型来模拟棉花地上部干物质积累过程(Goudriaan and Monteith)^[15]。

$$W_t = c_m / r_m \times \ln \{ 1 + \exp [r_m \times (t - t_0)] \},$$

其中, W_t 为棉花地上部干物质重 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$), t 为播种后天数(DAS), c_m 为绝对生长速率 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), r_m 为相对生长速率 (d^{-1}), t_0 为生长速率达到 $c_m/2$ 的时间,即从指数生长向线性生长转换的拐点。

氮稀释曲线用幂函数表示^[6]:

$$N\% = a_c W^{b_c}.$$

其中, $N\%$ 表示氮浓度, W 表示地上部干物质质量, a_c 表示在 $W=1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 时的氮浓度, b_c 是曲线参数。

2 结果与分析

2.1 施氮水平对不同基因型棉花 LAI 的影响

3 个棉花品种不同施氮处理各生育期 LAI 变化见图 1, 经分析发现,棉花铃期以前各品种间 LAI 差异达到极显著水平,基因型是导致棉花 LAI 差异的主要因素。但进入盛铃期以后,氮肥施用量对美棉 33B 和中棉所 12 的 LAI 影响显著,其中 N0 处理的 LAI 显著低于其它处理。这可能是因为土壤氮肥供应降低导致植株氮素缺乏,使群体光合能力受到限制。杂交品种中棉所 46 的 LAI 在全生育期均高于另外两个品种,表现出杂交棉品种的生长优势。而转 Bt 基因抗虫棉美棉 33B 在苗期和蕾期的 LAI 显著低于常规棉中棉所 12, 但进入花期以后美棉 33B 的 LAI 增长迅速,除 N2、N3 处理外均显著超过中棉所 12

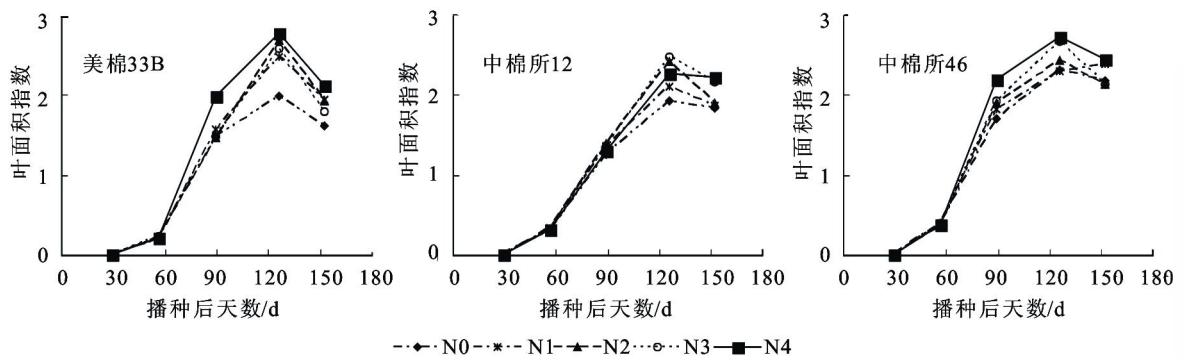


图 1 三个棉花品种在不同氮肥条件下 LAI 动态变化

Fig. 1 The dynamic of LAI for different varieties under different N treatments

($P < 0.01$)。进入盛铃期后由于棉花打顶以及进入以生殖生长为中心的生长阶段,群体 LAI 达到高峰,品种间 LAI 虽有差异,但均未达到显著水平。

2.2 不同基因型棉花在不同氮肥处理条件下的干物质积累

本研究对不同施氮条件下棉花从播种到吐絮的地上部干物质生长应用指数-线性生长模型进行模拟分析(图 2),模拟参数见表 1。研究认

为,参数 t_b 是指棉花地上部干物质积累从指数生长向线性生长的转换时间,一般认为此时也是棉花封垄的时间。品种间比较仅中棉所 12 略晚于另外两个品种,但氮肥处理对 t_b 的影响比较大,高氮处理可以比低氮处理提前 3.9~10.4 d,表明增加氮肥施用可以有效缩短棉田封垄所需的时间,减少由于漏光造成的田间光合有效辐射损失,提高光能利用率。参数 r_m (指数增长速率)代

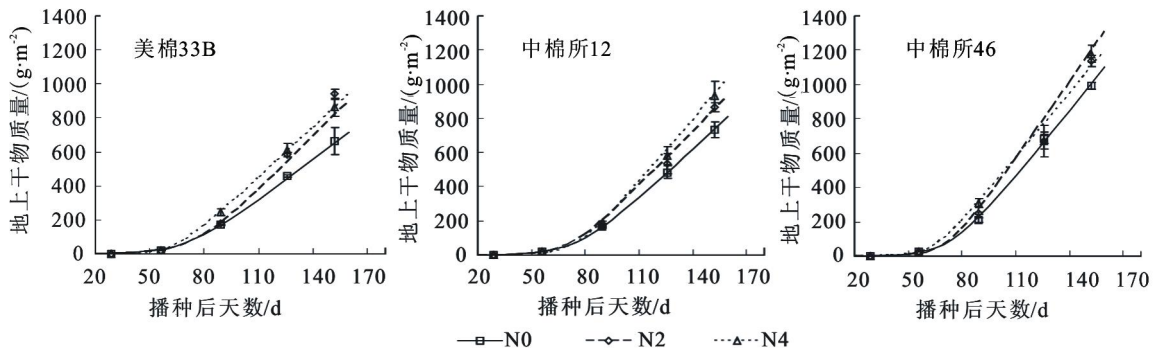


图 2 不同棉花品种在不同氮处理条件下的地上部干物质拟合曲线

Fig. 2 Expolinear growth of above-ground dry matter in three cotton varieties with different nitrogen treatments

表 1 三个棉花品种在不同氮肥处理条件下地上部干物质积累拟合参数的比较

Table 1 Parameters of expolinear growth for above-ground dry matter in three cotton varieties with different nitrogen treatments

品种	氮处理	参数		
		$r_m/(d^{-1})$	$c_m/(g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1})$	t_b/d
美棉 33B	N0	0.08	8.05	70.67
	N1	0.12	9.78	70.99
	N2	0.09	10.52	74.55
	N3	0.11	9.93	71.30
	N4	0.14	9.83	64.11
中棉所 12	N0	0.09	9.53	75.14
	N1	0.10	9.25	73.56
	N2	0.11	10.48	71.28
	N3	0.10	11.22	73.16
	N4	0.12	12.06	74.62
中棉所 46	N0	0.10	12.73	73.41
	N1	0.09	12.73	71.55
	N2	0.13	14.81	71.78
	N3	0.11	13.20	68.28
	N4	0.13	12.55	64.61

表棉花生长初期指数生长阶段的相对生长速率。品种比较可以看出,中棉所 46 的指数生长速率较高,美棉 33B 次之,而中棉所 12 略低于美棉 33B,这一结论与 3 个品种这一时期 LAI 的变化差异相一致。氮肥使用量的增加使 3 个棉花品种(美棉 33B、中棉所 12、中棉所 46)的 r_m 分别增加 75%、33% 和 44%。参数 c_m (线性增长速率)代表棉花旺盛生长期干物质线性生长的绝对速率,此时棉花群体逐渐封垄,对光合有效辐射截获能力最强。该阶段中棉所 12 的干物质积累速率随施氮量的增加而增大,而美棉 33B、中棉所 46 均在 N2 处理时干物质积累速率最大,过量施氮反而使地上部干物质积累速率略有降低。施肥量的增加也对后期棉花干物质积累产生影响。通过品种间比较可以看出,封垄后中棉所 46 的光合生产能力最强,且 N2 处理的地上部干物质积累量最高。模拟结果表明,指数线性生长模型可以很好地模拟棉花吐絮以前的干物质积累过程,拟合精

度 R^2 达到 0.95~0.99, 并可以很好地反映基因型和氮肥对棉花生育期内干物质积累变化的影响。

2.3 不同基因型棉花品种在不同氮肥处理条件下的氮稀释曲线变化

本文研究了在 5 个梯度氮肥处理下的不同基因型棉花品种的地上部植株氮浓度变化,并对不同氮肥处理条件下的氮稀释过程进行拟合。拟合结果(表 2)表明 3 个品种间氮稀释曲线的参数 b 差异不大,仅美棉 33B 略低;参数 a 被认为是在单位土地面积地上部干物质质量积累达到 $1.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 时候的植株氮浓度,它的大小可以反映出作物在相同生物量条件下的氮素吸收能力。常规品种中棉所 12 的氮素吸收能力明显高于美棉 33B 和中棉所 46,但由于中棉所 46 较高的地上部生物量积累,导致其地上部氮素吸收总量最大。同时,3 个棉花品种氮肥吸收能力随施氮量的增加而有变大的趋势,但本研究 3 个棉花品种均以 N2 处理的氮素吸收能力最强。

表 2 5 个氮肥处理水平下 3 个棉花品种的氮稀释曲线参数分析

Table 2 Parameters of nitrogen dilution curve for above-ground dry matter in three cotton varieties with five nitrogen treatments

氮处理	美棉 33B			中棉所 12			中棉所 46		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
N0	4.50	-0.07	0.74	4.61	-0.08	0.69	4.44	-0.08	0.76
N1	4.40	-0.06	0.62	4.61	-0.08	0.72	4.48	-0.08	0.67
N2	4.55	-0.07	0.70	4.80	-0.09	0.74	4.59	-0.08	0.71
N3	4.48	-0.06	0.62	4.78	-0.08	0.78	4.44	-0.08	0.67
N4	4.48	-0.06	0.74	4.65	-0.09	0.75	4.52	-0.08	0.71

Lemaire 等^[13]认为作物的氮吸收与其整个生育期内的生物量积累和叶面积生长变化有关。对 3 个品种的氮稀释曲线分析(图 3)可以看出,从苗期阶段到地上部干物质质量达到 $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 之间是棉花植株氮浓度下降最快的阶段,而这一时期大约与棉花地上部干物质质量指数增长以及 LAI 快速扩展阶段相一致。此后三者均保持相对平稳的变化速度。

3 结论与讨论

3.1 叶面积增长

棉花前期以营养生长为主, LAI 较小但群体间无相互竞争, 光合产物主要供应叶片的生长,

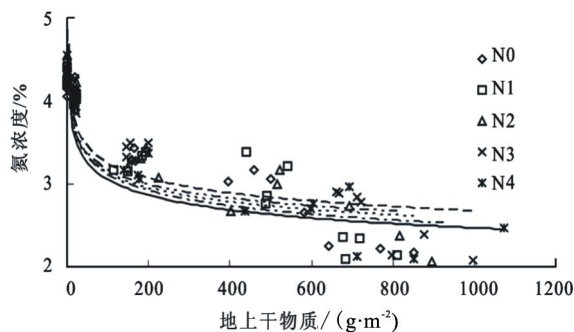


图 3 不同氮素处理条件下棉花(中棉所 12)地上部干物质质量与植株氮浓度之间的关系

Fig.3 Relationship between above-ground dry mass and nitrogen content in cotton (CCRI 12) under different N treatments

叶片的伸展受温度的影响要大于干物质积累的影响。因此,此时叶面积的增长主要受温度的驱动^[7],这一阶段 LAI 随时间呈指数快速增长。棉花进入蕾期直到盛铃期叶面积增长最快,大约在打顶后 5~10 d 群体 LAI 达到最大值,此时群体的光合强度也达到最高点。随后 LAI 由于温度的降低和棉花下部叶片的衰老而逐渐减小。

3.2 干物质积累

棉花生长早期 LAI 较小,个体间光温养分竞争较弱,这一阶段棉花生长以营养器官为中心,地上部干物质积累呈指数增加。棉花封垄后群体间由于遮蔽效应,对光合辐射竞争激烈,但群体处于旺盛生长阶段,是棉花干物质积累和生殖器官建成的重要时期。张立祯等^[8]对我国麦棉套种单作棉花的生长模式用指数-线性生长模型模拟,获得很好的拟合结果。本文对我国黄河流域一熟棉花的干物质积累过程用指数线性模型进行模拟分析,认为棉花地上部干物质合成能力在指数增长阶段品种间差异较小,但线性生长阶段中棉所 46 的地上部干物质积累速度明显高于中棉所 12 和美棉 33B,表明杂交棉品种较常规品种有明显的光合生产优势。研究表明,棉花地上部干物质增长受田间施氮水平影响,施氮量增加可以缩短棉花封垄时间,增加棉花不同生育期的干物质积累速率。

3.3 干物质积累与植株含氮量的关系

大量研究表明,作物生长过程中体内的氮浓度与其生物量的关系符合幂函数关系,并提出关于 C3、C4 植物的临界氮浓度模型^[9]。薛晓萍等人研究表明,棉花花后植株地上部干物质的氮浓度随施氮量的增加而增加,随生育期的推进而不断下降,并得出棉花单位面积地上部干物质质量积累与其临界氮浓度之间的模型关系符合 Greenwood 等的模型假设^[11]。

本研究对棉花地上部干物质积累量与植株氮浓度应用幂函数进行模拟分析后认为,从播种后到蕾期地上部干物质积累量达到 $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,是棉花氮素浓度下降最快的时期,这与张立祯等^[20]对我国麦棉间套作种植方式的研究结果一致。随后棉花氮浓度保持相对平稳的下降趋势,而这与棉花地上部干物质质量增长以及 LAI 变化规律相

吻合。通过对氮稀释模型参数分析认为,基因型和田间施肥量是影响棉花地上部氮素吸收能力的重要因素,3 个棉花品种均在 $180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的处理条件下氮素吸收能力最强。

综上所述,指数线性模型可以很好地模拟棉花地上部干物质积累过程,棉花品种和田间施氮水平明显影响棉花地上部干物质增长过程。棉花地上部氮浓度随干物质的增长降低,符合幂函数变化,但不同品种间氮素吸收能力差异明显,以 N2 处理氮素吸收能力最强。

参考文献:

- [1] 陈德华,陈源,周桂生,等. 长江流域棉区高产棉花干物质生产与产量及群体结构关系[J]. 中国棉花, 2001, 28(10): 9-11.
CHEN De-hua, Chen Yuan, Zhou Gui-sheng, et al. Cotton above ground dry matter and high yield plant architecture in the Yangtze River Region[J]. China Cotton, 2001, 28(10): 9-11.
- [2] GOUDRIAAN J, Van Laar H H. Modeling potential crop growth processes [M]. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [3] 张旺锋,王振林,余松烈,等. 氮肥对新疆高产棉花群体光和性能和产量形成的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(6): 789-796.
ZHANG Wang-feng, Wang Zhen-lin, Yu Song-lie, et al. Effect of nitrogen on canopy photosynthesis and yield formation in high-yielding cotton of Xinjiang[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(6): 789-796.
- [4] 张旺锋,李蒙春,勾玲,等. 北疆高产棉花养分吸收特性研究[J]. 棉花学报, 1998, 10(2): 88-95.
ZHANG Wang-feng, Li Meng-chun, Gou Ling, et al. Study on the nutrient absorption characters of cotton with higher productivity in North Xinjiang[J]. Cotton Science, 1998, 10(2): 88-95.
- [5] 郑德明,姜益娟,吕双庆,等. 南疆棉花高产栽培干物质积累和生长发育动态研究[J]. 中国棉花, 1999, 26(7): 17-18.
ZHENG De-ming, Jiang Yi-juan, Lü Shuang-qing, et al. Cotton dry matter accumulation, growth and development in South Xinjiang[J]. China Cotton, 1999, 26(7): 17-18.
- [6] 李蕾,娄春恒,文如镜,等. 新疆不同密度下棉花干物质积累及其分配规律研究[J]. 西北农业学报, 1996, 5(2): 10-14.
LI Lei, Lou Chun-heng, Wen Ru-jing, et al. Study on the dry matter accumulation and distribution with various densities in cotton[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 1996, 5(2): 10-14.
- [7] 伍维模,郑德明,王自强,等. 新疆高产栽培技术模式下陆地棉干物质生产规律的研究[J]. 新疆农业科学, 2000(4): 145-148.
WU Wei-mo, Zheng De-ming, Wang Zi-qiang, et al. Study on the

- upland cotton dry matter production under the high-yielding cultivation techniques in South Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2000(4): 145-148.
- [8] 伍维模, 郑德明, 董合林, 等. 新疆棉花干物质和氮磷钾养分积累的模拟分析[J]. 西北农业学报, 2002, 11(1): 92-96.
- WU Wei-mo, Zheng De-ming, Dong He-lin, et al. Simulating the dynamics of dry matter and N,P₂O₅,K₂O accumulation of cotton in South Xinjiang[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2002, 11(1): 92-96.
- [9] 朱继杰, 李存东, 张月辰, 等. 不同熟性基因型棉花干物质积累的动态特征[J]. 华北农学报, 2004, 19(3): 62-65.
- ZHU Ji-jie, Li Cun-dong, Zhang Yue-chen, et al. The dynamic characteristics of material accumulation in different maturity genotype cotton [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2004, 19(3): 62-65.
- [10] 刘洪, 宇振荣, 潘学标, 等. 不同类型棉花品种干物质积累及分配规律的研究[J]. 中国棉花, 2002, 29(5): 18-20.
- LIU Hong, Yu Zhen-rong, Pan Xue-biao, et al. Cotton dry matter accumulation and partitioning for different genetics[J]. China Cotton, 2002, 29(5): 18-20.
- [11] 薛晓萍, 王建国, 郭文琦, 等. 氮素水平对初花后棉株生物量、氮素积累特征及氮素利用率动态变化的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3631-3640.
- XUE Xiao-ping, Wang Jian-guo, Guo Wen-qi, et al. Effect of nitrogen applied levels on the dynamics of biomass, nitrogen accumulation and nitrogen fertilization recovery rate of cotton after initial flowering[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3631-3640.
- [12] PLENET D, Lemaire G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops: de-termination of critical N concentration[J]. Plant and Soil, 2000, 216: 65-82.
- [13] LEMAIRE G, Oosterom E, Sheehy J, et al. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? [J]. Field Crops Research, 2007, 100: 91-106.
- [14] ZHANG Li-zhen, Van der Werf W, Bastiaans L, et al. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton [J]. Field Crops Research, 2008, 107: 29-42.
- [15] GOUDRIAAN J, Monteith J L. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf-area expansion [J]. Annals of Botany, 1990, 66: 695-701.
- [16] FLENET F, Guerif A, Boiffin J, et al. The Critical N dilution curve for linseed (*Linum usitatissimum* L.) is different from other C3 species[J]. European Journal of Agronomy, 2006, 24: 367-373.
- [17] BONESMO H, Bé langer G. Timothy yield and nutritive value by the CATIMO model: I. Growth and nitrogen[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(2): 337-345.
- [18] ZHANG Li-zhen, Van der Werf W, Zhang Si-ping, et al. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems[J]. Field Crops Research, 2007, 103: 178-188.
- [19] GREENWOOD D J, Lemaire G, et al. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass[J]. Annals of Botany, 1990, 66(4): 425-436.
- [20] ZHANG Li-zhen, Spiertz J H J, Zhang Si-ping, et al. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton[J]. Plant Soil, 2008, 303: 55-68. ●