植物营养与肥料学报 2013,19(1):174-181
Plant Nutrition and Fertilizer Science doi: 10.11674/zwyf.2013.0121

种植密度对转基因棉氮、磷、钾吸收和利用的影响

徐 娇,孟亚利,睢 宁,宋为超,周治国*
(南京农业大学农学院,农业部作物生长调控重点开放实验室,南京 210095)

摘要: 在江苏地区棉花高产条件下,研究了种植密度(12000、21000、30000、39000、48000 和 57000 plant/hm^2)对转基因棉湘杂棉 8 号养分吸收和利用的影响。结果表明,随种植密度的增加,棉株氮、磷、钾养分累积吸收量均呈线性升高,而生殖器官氮、磷、钾养分累积吸收量和养分经济系数则呈抛物线函数变化,均以 30000 plant/hm^2 密度为最高,与皮棉产量的变化趋势完全相同。种植密度对开花至盛花阶段棉株养分吸收比率的影响大于其他阶段,密度增大显著降低植株在开花~盛花阶段氮、磷、钾的吸收比例。随种植密度的增加,每生产 100 kg 皮棉的养分摄取量逐渐上升,但对钾的吸收比例明显下降。高密度显著降低了上、中、下不同部位果枝的氮、磷、钾养分浓度和提高了不同部位果枝的群体养分吸收量,并使果枝营养早衰,下部果枝表现尤其明显,这与铃重的果枝空间分布相吻合。

关键词: 棉花;种植密度;氮、磷、钾;吸收利用;产量
中图分类号: S562.01.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)01-0174-08

Effects of planting density on uptake and utilization of N, P and K of transgenic cotton

XU Jiao, MENG Ya-li, SUI Ning, SONG Wei-chao, ZHOU Zhi-guo*
(*Agronomy College, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Crop Growth Regulation of the Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China*)

Abstract: Planting density is an important practice for cotton production. In order to study the effects of different planting densities on nutrition uptake and yield of transgenic cotton cultivar, Xiangzamian 8, a field experiment was conducted by using six planting densities, 12000, 21000, 30000, 39000, 48000 and 57000 plant/ha, under high yield cultivated conditions in Jiangsu. The results show that the accumulative amounts of N, P and K in cotton plants are increased when the planting density is increased, while the N, P and K accumulative amounts and nutrient economic coefficients in the reproductive organs are in parabola functions, and the N, P and K accumulative amounts and nutrient economic coefficients in the reproductive organ are the highest under the 30000 plant/ha. In addition, the highest lint yield is 1610.3 kg/ha under the 30000 plant/ha. The percentages of N, P and K uptakes of cotton are the highest from the initial flowering stage to the peak flowering stage during the whole development stages, and the percentages of N, P and K uptakes from the initial flowering stage to the peak flowering stage are reduced when the planting density is increased. With the increase of plant density, the nutrient uptakes per 100 kg lint are increased, but the percentage of K uptake is reduced. Increasing the planting density reduces N, P, and K contents and enhances N, P, and K accumulations per plant in different fruit branches, but accelerates branch senescence, especially the lower branches. These results are consistent with the weights of bolls in different fruit branches.

Key words: cotton; planting density; N, P and K; uptake and utilization; yield

收稿日期: 2012-03-31 **接受日期:** 2012-09-12
基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(3-5)"棉花简化种植节本增效生产技术研究与应用"项目资助。
作者简介: 徐娇(1988—),女,江苏宿迁人,硕士研究生,主要从事棉花生理生态方面的研究。E-mail: 2010101057@njau.edu.cn
*通信作者 Tel: 025-84396813, E-mail: giscott@njau.edu.cn

合理密植建立高效的群体结构,是棉花生产中提高产量的基本途径和重要管理措施[1]。棉花高产的适宜种植密度取决于品种特性、生态条件和栽培模式[2-3]。虽然各地区棉花生产的适宜种植密度有较大差异,但在不同生态区和不同产量水平下的研究一致表明,种植密度的变化改变了群体结构和棉田生态环境,影响了植株对光、热、水、气等资源的利用,尤其是随着密度的增加群体各层次透光率显著降低,进而使群体叶片叶绿素含量、叶面积指数、光合作用速率等生理指标受到相应影响,最终影响产量[4-6]。

作物的高产、优质生产是以较高的生物量为前提的,而生物量累积则以养分吸收为基础[7]。然而在棉花上多以合理施肥、品种类型对植株养分的吸收分配影响为研究重点[8-11],较少关注不同栽培密度下养分在植株中的吸收分配及其与产量的关系。娄善伟等[12]研究了不同栽培密度对新疆地区棉花氮、磷、钾累积量动态及其分配特征的影响,强调后期养分积累对产量的形成具有重要的作用,尤其是生殖器官的养分积累量。Dong 等[3,13]在黄河三角洲盐土条件下的研究指出密度对棉花生长的影响与施肥水平存在互作效应,并且每生产 100 kg 皮棉所吸收的钾量,高产田比低产田高 20.6 %,而氮和磷的吸收量基本不变。但是,目前关于长江流域棉区种植密度对转基因棉养分吸收,特别是不同部位果枝的养分吸收的影响研究尚未见报道。本研究以转基因杂交棉为材料探讨种植密度对棉株养分吸收与利用的影响,为长江流域下游棉区杂交棉的合理密植,提高产量和改善品质提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料与设计

试验于 2010 年在江苏省大丰市稻麦原种场进行。本场棉田为沿海新垦棉田,土壤为潮盐土、沙性轻壤,肥力中等偏上,土壤有机质含量 11.7 g/kg、全氮 1.02 g/kg、速效磷 42.5 mg/kg、速效钾 230 mg/kg,全盐含量 1.4 g/kg,pH 值为 8.7,电导率为 2.1dS/m。供试品种为转基因棉湘杂 8 号。试验设 6 个种植密度,分别为 12000、21000、30000、39000、48000 和 57000 plant/hm^2,分别以 D1、D2、D3、D4、D5 和 D6 表示。试验采用随机区组设计,每处理 3 次重复。小区长 10 m,宽 5 m,5 行棉花,行距 1 m,株距因密度而定。试验于 4 月 5 日育苗,5 月 10 日地膜移栽。总施氮量为 N 300 kg/hm^2,按照基肥 30%、初花肥 40%、盛花肥 30% 的比例施入。氮∶磷∶钾配比为 1∶0.3∶1.1,磷、钾肥全部移栽时施用,这是根据棉花每生产 100 kg 皮棉所吸收的氮、磷、钾比例决定的[14]。其他田间管理均按高产栽培要求进行。

1.2　测定项目与方法

于播种后 79、96、112、134、144、160 d,分别在各处理每小区取生长发育一致的棉花 2 株,将棉株分为下(1 ~ 5 果枝)、中(6 ~ 10 果枝)、上(> = 11 果枝)三部位调查生物量与养分的空间分布,在 105℃杀青 30 min,80℃下烘至恒重,称生物重,并将样品粉碎,测定氮、磷、钾含量。氮采用凯氏定氮法,磷采用钒钼黄比色法,钾采用原子吸收分光光度法。收获时对每小区定点的 10 株棉花按不同部位分收棉铃,测定产量。

氮(磷、钾)养分利用效率 = 皮棉产量/植株氮(磷、钾)吸收量[15]; 100 kg 皮棉养分吸收量 = 植株养分吸收量/皮棉产量 ×100[3]。

2　结果与分析

2.1　种植密度对氮、磷、钾养分吸收分配和养分利用效率的影响

从表 1 看出,种植密度对棉花产量、氮、磷、钾养分吸收量及经济系数有显著影响。棉株单位面积氮、磷、钾养分吸收量随着种植密度的增大均一致呈线性升高,但生殖器官养分吸收量、生殖器官养分浓度和养分经济系数则随种植密度的增加呈抛物线变化趋势,均以 D3 密度为最高,与皮棉产量的变化趋势相同,密度过高和过低则有不利影响。相关分析显示,皮棉产量与植株养分吸收量、生殖器官养分吸收量之间的相关系数均未达到显著水平,而与养分经济系数间的相关系数均达到极显著水平,分别为 0.902、0.951、0.931; 与生殖器官养分浓度之间的相关系数达到显著或极显著水平,分别为 0.816、0.757、0.910。说明适宜密度获得高产的原因与其植株养分向生殖器官的高分配率有关,而并非植株养分总吸收量越高越好。

表1 种植密度对棉株氮、磷、钾养分吸收量与经济系数的影响

Table 1 Effects of planting densities on uptakes and economic coefficients of N, P and K of cotton plants

处理 Treat.	皮棉产量 Lint yield (kg/hm²)	植株养分吸收量 Nutrient uptake (kg/hm²)			生殖器官养分吸收量 Nutrient uptake by reproductive organs (kg/hm²)			生殖器官养分浓度 Nutrient content of reproductive organs (%)			养分经济系数 Economic coefficient of nutrient		
		N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
D1	1411.6 c	148.7 e	43.1 f	141.2 e	86.5 d	25.1 e	81.4 e	2.1 a	0.6 a	1.9 a	0.58 c	0.58 c	0.58 b
D2	1486.1 b	203.6 d	59.2 e	191.6 d	126.2 c	37.3 c	116.2 d	2.1 a	0.6 a	1.9 a	0.62 b	0.63 b	0.61 b
D3	1610.3 a	220.2 c	64.6 d	199.5 d	173.7 a	49.7 a	160.7 a	2.2 a	0.6 a	2.0 a	0.79 a	0.77 a	0.81 a
D4	1507.1 b	260.3 b	75.9 c	232.7 c	144.8 b	43.8 b	138.1 b	2.0 b	0.6 a	1.9 a	0.56 c	0.58 c	0.59 b
D5	1375.4 c	295.7 a	87.4 b	248.3 b	131.3 c	39.3 c	123.7 c	1.9 b	0.6 a	1.8 b	0.44 d	0.45 d	0.48 c
D6	1246.5 d	297.8 a	94.7 a	272.4 a	125.8 c	35.8 d	117.6 d	1.9 b	0.5 a	1.8 b	0.42 d	0.38 e	0.44 d

注(Note)：同列数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at $P<0.05$ level.

随着种植密度的增加，棉株每生产100 kg皮棉所需摄取的养分量显著提高(表2)，相应地养分利用效率随密度增大呈现逐渐降低的趋势，最高密度处理(57000 plant/hm²，D6)的氮、磷、钾养分利用效率分别较最低密度处理(12000 plant/hm²，D1)降低了55.9%、59.8%和54.2%。值得注意的是，养分吸收比例亦受到密度的影响，随密度增大棉株对钾的吸收比例明显减少，最高密度(D6)处理棉株对钾的吸收量较最低密度(D1)减少约10.5 %，棉株对氮和磷的吸收比例较稳定。

表2 种植密度对棉株氮、磷、钾吸收比例与养分利用效率的影响

Table 2 Effects of planting densities on uptake percentages and utilization efficiencies of N, P and K of cotton plants

处理 Treatment	100 kg皮棉养分吸收量(kg) Nutrient uptake per 100 kg lint			N:P:K	养分利用效率(kg/kg) Nutrient use efficiency		
	N	P	K		N	P	K
D1	10.53 e	3.06 e	10.00 e	1:0.29:0.95	9.49 a	32.72 a	10.00 a
D2	13.70 d	3.99 d	12.89 d	1:0.29:0.90	7.30 b	25.09 b	7.76 bc
D3	13.68 d	4.01 d	12.39 d	1:0.29:0.91	7.31 b	24.95 b	8.07 b
D4	17.27 c	5.03 c	15.44 c	1:0.29:0.89	5.79 c	19.86 c	6.48 c
D5	21.50 b	6.35 b	18.78 b	1:0.30:0.87	4.65 cd	15.74 d	5.32 d
D6	23.89 a	7.60 a	21.85 a	1:0.31:0.86	4.19 d	13.16 e	4.58 e

注(Note)：同列数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at $P<0.05$ level.

2.2 种植密度对氮、磷、钾养分不同生育阶段吸收比率的影响

种植密度对氮、磷、钾养分在不同生育阶段的吸收比率有显著影响(表3)。无论种植密度大小，棉株各生育阶段氮、磷、钾养分吸收量占整个生育期累积吸收量的比率，变化规律基本一致，都以盛花至见絮阶段最高、其次为开花至盛花阶段，与房卫平等[10]对杂交棉豫杂35的研究结果基本一致。氮、磷、钾元素之间相比，盛花期前的三个阶段钾素比率显著高于氮、磷，而盛花至吐絮阶段则是磷的比率

表 3　密度对棉株不同生育阶段的养分吸收比率的影响(%)

Table 3　The percentages of nutrient uptakes at different growth stages in cotton under different planting densities

处理 Treat.	出苗～盛蕾 Seedling – peak budding			盛蕾～开花 Peak budding – flowering			开花～盛花 Flowering – peak flowering			盛花～见絮 Peak flowering – boll opening			吐絮期 Boll maturing		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
D1	5.3 e	5.4 d	6.3 d	14.3 d	15.1 d	19.2 e	30.0 a	28.2 a	35.5 a	34.2 c	42.7 c	37.0 b	16.2 c	8.6 a	2.0 b
D2	7.0 d	7.2 c	8.9 c	15.5 c	19.6 a	25.1 b	25.5 c	24.1 c	26.6 d	32.4 d	41.7 d	36.2 c	19.6 a	7.4 b	3.2 a
D3	8.8 b	8.5 b	10.0 b	15.5 c	16.6 c	21.8 d	26.2 b	25.3 b	30.4 b	32.9 d	42.4 c	34.8 d	16.6 c	7.2 b	3.2 a
D4	9.8 a	10.0 a	10.7 a	16.8 b	19.7 a	24.2 c	22.0 d	23.6 c	28.0 c	34.6 c	38.6 e	32.4 e	16.8 c	8.1 a	3.0 a
D5	8.0 c	7.2 c	9.9 b	18.6 a	20.2 a	26.5 a	18.5 f	17.6 e	26.6 d	36.6 b	46.3 b	34.4 d	18.3 b	8.7 a	2.6 b
D6	8.7 b	7.0 c	9.7 bc	16.6 b	18.3 b	21.8 d	19.7 e	19.2 d	26.2 d	38.8 a	48.8 a	40.2 a	16.2 c	6.7 c	2.2 b

注(Note): 同列数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at $P<0.05$ level.

显著高于氮、钾,到吐絮期时氮比率最高、磷次之,钾最低仅有 2%～3%,三元素之间的差距逐渐加大。密度对养分吸收比率的影响在开花至盛花阶段最为明显,在此阶段氮、磷、钾吸收比率随密度增加均呈显著递减趋势,最高密度处理的氮、磷、钾吸收比率分别较最低密度处理降低 34.38%、32.05% 和 26.32%; 而在其它生育阶段,随密度增大养分吸收比率略有升高的趋势,但变化较小、且规律亦不明显。通过与单株铃数与铃重的相关分析得出,开花至盛花阶段氮、磷、钾吸收比例与单株铃数的相关系数分别为 0.9255、0.8505、0.8545; 与单铃重的相关系数分别为 0.8774、0.9118、0.6702,均高于其他阶段。

2.3　种植密度对不同部位果枝养分吸收的影响

棉花特有的无限生长习性,使得其果枝生长对环境变化较为敏感。从表 4 可以看出,随密度增大,上、中、下各果枝部位的单铃重均出现降低的趋势,下部降低幅度最大,其最高密度 D6 较最低密度 D1 的单铃重降低 18%,且除 D5 与 D6 之间的差异未达到显著水平外,其余各处理间的差异均达到显著水平。在同一种植密度条件下,单铃重均随着果枝部位的上升呈增大趋势,即上部果枝平均单铃重大于中部果枝,中部果枝又大于下部果枝,但上部与中部果枝间铃重差异较小,尤其高密度情况下。不同果枝部位铃重的差异,反映了种植密度对不同果枝部位干物质生产与光合产物分配的影响差异,也与养分吸收的差异有一定关系。为此,有必要分果枝部位研究种植密度对养分吸收的影响。

表 4　种植密度对棉花不同果枝部位单铃重的影响(g)

Table 4　Effects of planting densities on cotton bolls weights of different fruiting branches

处理 Treatment	LFB	MFB	UFB	整株 Total
D1	5.0 a	5.3 a	5.5 a	5.3 a
D2	4.7 b	5.1 b	5.4 a	5.2 b
D3	4.6 bc	5.1 b	5.5 a	5.2 b
D4	4.5 c	5.1 b	5.4 a	5.1 c
D5	4.1 d	5.1 b	4.9 b	4.8 d
D6	4.1 d	4.9 c	4.7 c	4.6 e

注(Note): LFB—1～5 果枝 1-5 fruiting branches; MFB—6～10 果枝 6-10 fruiting branches; UFB—≥11 果枝 ≥11 fruiting branches. 同列数据后不同字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at $P<0.05$ level.

2.3.1 对氮素的吸收　图 1 比较了密度对上、中、下不同部位果枝的氮浓度(%)和氮累积吸收量(kg/hm^2)的影响,以低(D1)、中(D3)、高(D6) 三个密度处理为代表。从图 1A 可以看出,各密度处理下不同部位果枝的氮浓度均随着生育进程的推进呈持续降低趋势,变化范围在 1.76%～3.74%; 随密度增加各部位果枝氮浓度均有所降低。回归分析显示,不同果枝部位氮浓度随时间的下降趋势均可用负指数函数方程($y=ae^{-bx}$)很好地拟合,R^2 均达到 0.95 以上(表 5)。密度增大对方程 b 值(下降速率)基本没有影响,但均使 a 值(初始值)略有减小,即氮浓度减小。在同一密度下,上部果枝的 a 值和

b 值均显著高于中部和下部，中部果枝又高于下部果枝，这可能与果枝发生时间的差异有关。

与氮浓度趋势相反，随着生育进程的推进，各果枝群体氮累积吸收量逐渐增加，近似 Logistic 曲线型增长（图1B）。在同一密度下，下部果枝的氮吸收量在前期占主要部分，而生育后期下部果枝因衰老较早氮吸收量开始下降，吐絮时已明显低于中、上部果枝。同一果枝部位，种植密度越大，群体氮吸收量越高，且密度越大，各果枝氮吸收量开始下降或增长减缓的时期出现越早，即营养衰老加速。

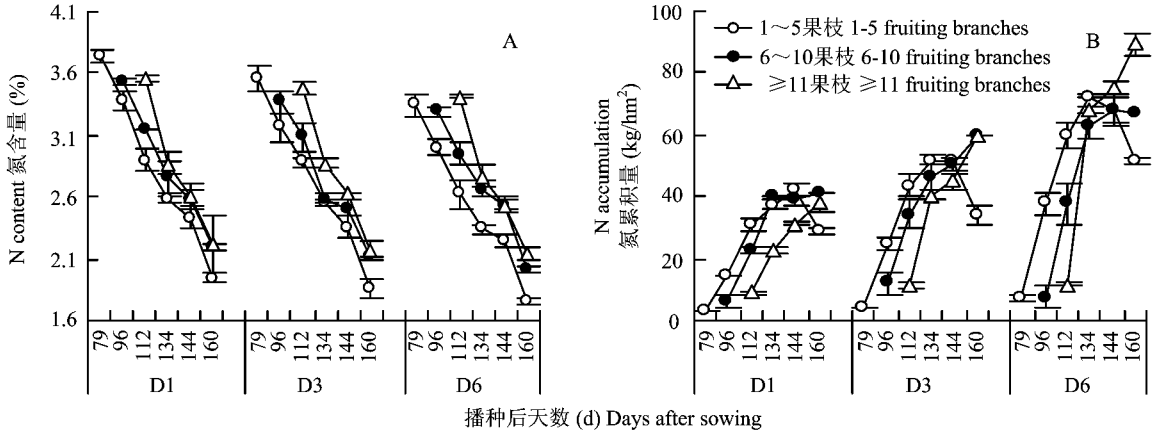

图1 种植密度对棉花不同果枝氮浓度（A）和氮吸收量的影响（B）

Fig. 1 Effects of planting densities on N content (A) and N accumulation (B) of different fruiting branches

表5 不同密度处理下棉花不同果枝部位氮浓度拟合方程的参数

Table 5 Parameters of equations of N content of different fruiting branches of cotton under different planting densities

处理 Treatment	LFB			MFB			UFB		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
D1	6.952	0.0076	0.975**	7.041	0.0071	0.989**	10.690	0.0098	0.999**
D2	6.580	0.0074	0.961**	6.671	0.0069	0.996**	10.379	0.0098	0.996**
D3	6.511	0.0074	0.959**	6.562	0.0068	0.989**	10.463	0.0097	0.990**
D4	6.391	0.0074	0.966**	6.482	0.0069	0.986**	10.109	0.0097	0.996**
D5	6.166	0.0073	0.957**	6.551	0.0069	0.946**	10.073	0.0096	0.998**
D6	6.049	0.0073	0.964**	6.371	0.0067	0.948**	10.097	0.0097	0.998**

注（Note）：LFB—1～5 果枝1-5 fruiting branches；MFB—6～10 果枝6-10 fruiting branches；UFB—≥11 果枝≥11 fruiting branches. $R^2_{0.01}=0.841$，$n=6$.

2.3.2 对磷素的吸收　不同果枝部位的磷浓度和磷累积吸收量的变化趋势与氮的变化趋势大致相同（图2）。各部位果枝的磷浓度均随着生育进程的推进呈负指数函数（$y=ae^{-bx}$）降低趋势，变化范围在0.52%～1.17%。同一果枝部位，种植密度越大磷浓度越低；密度增大使磷浓度衰减方程的 a 值和 b 值均有所降低（表6），b 值变化较小。磷吸收量随生育时间呈 Logistic 曲线型增长趋势，且随密度增加各果枝磷吸收量（kg/hm²）显著上升；下部果枝的磷累积量在播种后 134 d 前占主要部分，随着生育进程的推进，中、上部果枝的磷累积量逐渐增加，至吐絮期时下部果枝中的磷累积量明显低于中上部果枝。

2.3.3 对钾素的吸收　不同果枝部位的钾浓度和钾累积吸收量的变化趋势与氮、磷的变化趋势大致相同。各部位果枝的钾浓度亦随生育进程的推进均呈负指数函数（$y=ae^{-bx}$）降低，钾浓度的变化范围为1.58%～3.78%；同一果枝部位，种植密度越大钾浓度越低（图3A）。表7 显示，对同一果枝部位，随密度增大钾浓度衰减方程的 a 值逐渐降低，b 值则

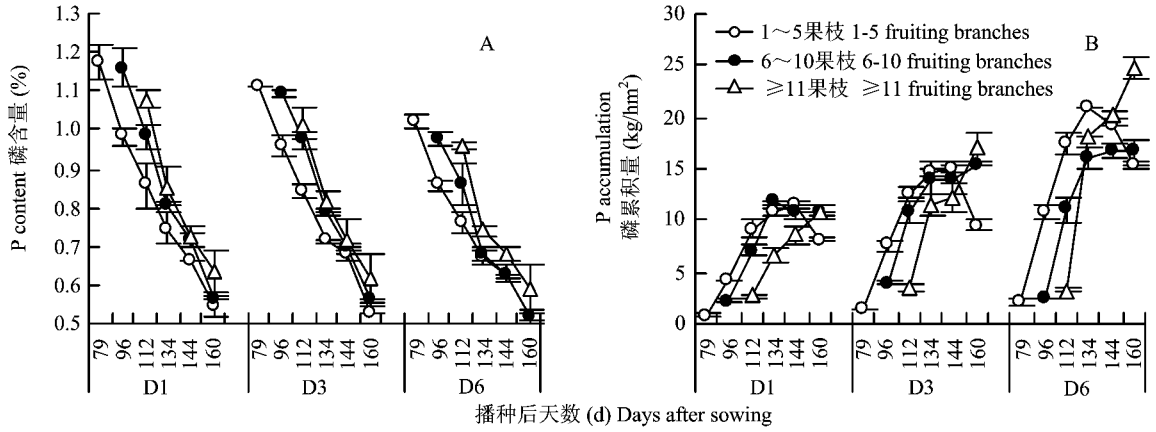

图 2　种植密度对棉花不同果枝磷浓度(A)和磷累积量的影响(B)

Fig. 2　Effects of planting densities on P content (A) and P accumulation (B) of different fruiting branches

表 6　不同密度处理下棉花不同果枝部位磷浓度(%)拟合方程的参数

Table 6　Parameters of equations of P content of different fruiting branches of cotton under different planting densities

处理 Treatment	LFB			MFB			UFB		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
D1	2.355	0.0089	0.990**	3.333	0.0108	0.988**	3.880	0.0114	0.992**
D2	2.293	0.0088	0.993**	3.082	0.0105	0.992**	3.342	0.0105	0.995**
D3	2.202	0.0086	0.977**	3.068	0.0104	0.986**	3.222	0.0106	0.997**
D4	2.124	0.0083	0.959**	2.821	0.0102	0.998**	3.173	0.0104	0.988**
D5	2.024	0.0082	0.977**	2.706	0.0101	0.994**	3.115	0.0103	0.991**
D6	1.866	0.0078	0.983**	2.561	0.0099	0.997**	2.916	0.0101	0.990**

注(Note): LFB—1～5 果枝1-5 fruiting branches; MFB—6～10 果枝6-10 fruiting branches; UFB—≥11 果枝≥11 fruiting branches. $R^2_{0.01}=0.841$, $n=6$.

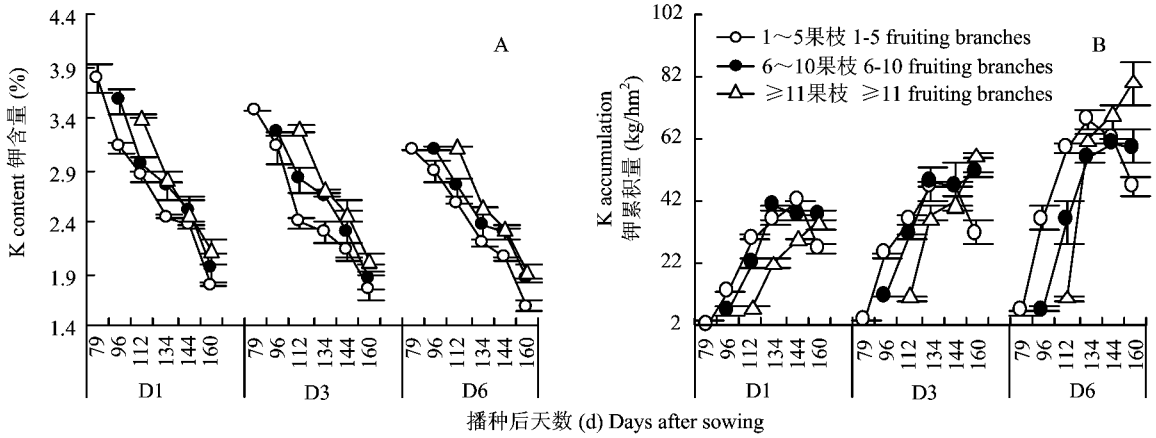

图 3　种植密度对棉花不同果枝钾浓度(A)和钾累积量的影响(B)

Fig. 3　Effects of planting densities on K content (A) and K accumulation (B) of different fruiting branches

略有降低,但总体变化很小; 果枝部位越高,a 值和 b 值越大。密度增大也使各果枝钾吸收量(kg/hm²)显著上升(图 3B),下部果枝的钾累积量在播种后 134 d 前占主要部分,随着生育进程的推进,中、上部果枝的钾累积量逐渐增加,至吐絮期时下部果枝中的钾累积量明显低于中、上部果枝。

表7 不同密度处理下棉花不同果枝部位钾浓度拟合方程的参数

Table 7 Parameters of equations of K content of different fruiting branches of cotton under different planting densities

处理 Treatment	LFB			MFB			UFB		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
D1	7.134	0.0082	0.960**	8.052	0.0085	0.937**	10.512	0.0100	0.994**
D2	6.734	0.0080	0.966**	7.525	0.0084	0.972**	10.319	0.0100	0.999**
D3	6.452	0.0080	0.950**	7.231	0.0081	0.917**	10.213	0.0100	0.995**
D4	6.428	0.0080	0.982**	6.767	0.0076	0.911**	9.946	0.0100	0.994**
D5	6.215	0.0078	0.978**	6.733	0.0077	0.951**	9.826	0.0101	0.989**
D6	6.050	0.0079	0.955**	6.510	0.0076	0.965**	9.652	0.0100	0.993**

注(Note): LFB—1～5 果枝1-5 fruiting branches; MFB—6～10 果枝6-10 fruiting branches; UFB—≥11 果枝≥11 fruiting branches. $R^2_{0.01}=0.841$, $n=6$.

3 讨论与结论

棉花不同生育阶段对养分的需求和分配不同,前期主要是促进棉花的生长发育,而后期氮、磷、钾的肥效则对产量形成至关重要[12]。本研究条件下,随种植密度的增加,生殖器官氮、磷、钾养分累积吸收量和养分经济系数呈抛物线变化趋势,均以30000 plant/hm^2(D3)密度为最大,与皮棉产量的变化趋势相同(2009年与2010年结果一致,本文以2010年数据为例)。说明适宜密度获得高产的原因与植株养分向生殖器官的高运转率有关,而非植株养分的总吸收量。娄善伟等[12]对新疆棉花的研究也得出相似的结论,吐絮期棉铃氮、磷、钾积累量以180000(D3)、225000(D4) plant/hm^2 密度处理较高,与产量结果一致,认为后期生殖器官的养分积累量对产量的形成具有重要的作用。另外,本研究认为密度增大对后期养分吸收及向生殖器官运转的不利影响,与高密度下植株在开花～盛花阶段氮、磷、钾养分吸收比例显著降低有一定关系,开花至盛花阶段是养分由营养器官向棉铃转化的关键时期。张旺锋等[4]指出,在盛铃期以前,随种植密度的增加,叶面积指数增大,冠层对光能的截获率增加,群体光合速率明显增强;但盛铃期以后高密度群体的叶片光合速率下降过快,叶面积指数下降早,影响了光合物质的生产及向棉铃的运输,造成铃重的降低。可见,高密度群体冠层结构对棉株光合生长及养分吸收的不利影响,主要在生育中后期才开始显现,影响了养分向生殖器官的运转。

棉株不同部位的成铃分布及其所占经济产量的份额与铃重存在一定的相关关系,并与最终产量密切相关[16]。马宗斌等[17]、房卫平等[18]都研究了种植密度对棉花不同果枝和果节成铃率的影响差异,但关于密度对不同果枝部位氮、磷、钾养分吸收的影响未有涉及。本研究得出,杂交棉不同果枝部位氮、磷、钾浓度均随着种植密度的增加呈下降趋势,同时群体各部位果枝的养分吸收量随密度增加显著升高,高密度导致各部位果枝,尤其是下部果枝衰老提前,不利于高产。这与铃重的果枝空间分布趋势相吻合。高密度之所以造成各果枝尤其是下部果枝营养早衰、铃重降低,与高密度群体叶面积过大,冠层通风透光差,特别是群体下部隐蔽,严重影响群体下部叶片的光合作用,使其下部棉铃有机养分供应不足有直接关系[4]。

Zhang 等[19]指出转基因棉品种较常规棉品种对 K^+ 亏缺似乎敏感,转基因棉品种的广泛使用和对产量提高的要求已促使我国棉花生产对钾肥施用的更大关注。Dong 等[3]对黄河流域棉区盐土棉田密度与肥料水平对棉花产量的影响研究认为,钾肥对棉花获得高产是非常重要的,生产100 kg皮棉所吸收钾的量,高产田比低产田高20.6%。本研究中每生产100 kg皮棉所吸收的钾量随种植密度增加而有所下降,最高密度比最低密度处理钾的吸收量减少约10.5%,而对氮和磷的吸收比例较稳定。这是否说明过高密度对转基因棉产量的不利影响与高密度使棉株钾素吸收比例降低也有一定关系?还需要通过进一步的试验研究来解释。

参 考 文 献：

[1] Ali M A, Lahore, Ali M *et al*. Effect of nitrogen and plant population levels on seed cotton yield of newly introduced variety CIM-497[J]. Agric. Res., 2007, 45(4): 289-298.

[2] Halemani H L, Hallikeri S S. Response of compact and early maturing cotton genotypes to plant population levels under rained conditions[J]. Cotton Res. Dev., 2002, 16: 143-146.

[3] Dong H X, Kong W, 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 Res., 2010, 119(1): 106-113.

[4] 张旺锋，王振林，余松烈，等. 种植密度对新疆高产棉花群体光合作用、冠层结构及产量形成的影响[J]. 植物生态学报，2004, 28(2): 164-171.
Zhang W F, Wang Z L, Yu S L *et al*. Effects of planting density on canopy photosynthesis, canopy structure and yield formation of high-yield cotton in Xinjiang, China[J]. Acta. Phytoecol. Sin., 2004, 28(2): 164-171.

[5] 娄善伟，赵强，高云光，等. 密度对棉花冠层小气候影响及其与棉花相关生理特征和纤维品质的关系[J]. 棉花学报，2010, 22(3): 260-266.
Lou S W, Zhao Q, Gao Y G *et al*. The effect of different density to canopy-microclimate and quality of cotton[J]. Cott. Sci., 2010, 22(3): 260-266.

[6] Dong H, Li W, Tang W *et al*. Yield, quality and leaf senescence of cotton grown at varying planting dates and plant densities in the Yellow River Valley of China[J]. Field Crops Res., 2006, 98: 106-115.

[7] Watt M S, Clinton P W, Whitehead D *et al*. Above-ground biomass accumulation and nitrogen fixation of broom (Cytisus scoparius L.) growing with juvenile Pinus radiata on a dryland site [J]. Forest Ecol. Manag., 2003, 184(1-3): 93-104.

[8] 李伶俐，房卫平，马宗斌，等. 施氮量对杂交棉氮，磷，钾吸收利用和产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2010, 16(3): 663-667.
Li L L, Fang W P, Ma Z B *et al*. Effects of nitrogen fertilization on uptake and utilization of NPK and yield and quality of hybrid cotton [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(3): 663-667.

[9] 王克如，李少昆，曹连莆，等. 新疆高产棉田氮，磷，钾吸收动态及模式初步研究[J]. 中国农业科学，2003, 36(7): 775-780.
Wang K R, Li S K, Cao L P *et al*. A preliminary study on dynamics and models of N, P, K absorption in high yield cotton in Xinjiang[J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(7): 775-780.

[10] 房卫平，李伶俐，谢德意，等. 杂交棉与常规棉干物质积累和氮、磷、钾吸收分配及产量比较[J]. 植物营养与肥料学报，2009, 15(6): 1401-1406.
Fang W P, Li L L, Xie D Y *et al*. Comparison of dry matter accumulation and N, P, K uptake and distribution in different organs and yield on hybrid cotton and conventional cotton[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(6): 1401-1406.

[11] Blaise D, Singh J V, Bonde A N *et al*. Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fibre quality and nutrient balance of rainfed cotton (Gossypium hirsutum) [J]. Bioresour. Technol., 2005, 96(3): 345-349.

[12] 娄善伟，高云光，郭仁松，等. 不同栽培密度对棉花植株养分特征及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2010, 16(4): 953-958.
Lou S W, Gao Y G, Guo R S *et al*. Effects of planting density on nutrition characteristics and yield of cotton[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(4): 953-958.

[13] Dong H Z, Li W J, Eneji A E, Zhang D M. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field[J]. Field Crops Res., 2012, 126: 137-144.

[14] 董玉霞，刘素敏，周树梅，等. 棉田巧施肥 稳产又增效[J]. 河北农业科技，2007, (7): 48-49.
Dong Y X, Liu S M, Zhou S M *et al*. Effects of fertilization on yield [J]. Hebei Agric. Sci. Technol., 2007, (7): 48-49.

[15] 赵俊晔，于振文. 高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J]. 作物学报，2006, 32(4): 484-490.
Zhao J H, Yu Z W. Effects of nitrogen fertilizer rate on uptake, distribution and utilization of nitrogen in winter wheat under high yielding cultivated condition[J]. Acta. Agron. Sin., 2006, 32(4): 484-490.

[16] Jenkins J N, McCarty J C, Parrott W L. Fruiting efficiency in cotton: Boll size and boll set percentage[J]. Crop Sci., 1989, 30(4): 857-860.

[17] 马宗斌，陈刚，房卫平，等. 种植密度对中早熟棉花成铃时空分布和产量的影响[J]. 江苏农业科学，2011, (6): 131-133.
Ma Z B, Chen G, Fang W P *et al*. Effects of planting density on bolls spatial and temporal distribution and yield of middle-early cotton[J]. Jiangsu Agric. Sci., 2011, (6): 131-133.

[18] 房卫平，谢德意，李文，等. 不同密度下短季棉成铃时空分布及产量比较研究[J]. 河南农业科学，2011, 40(1): 58-61.
Fang W P, Xie D Y, Li W *et al*. Studies on bolls spatial and temporal distribution and yield of short-season cotton under different planting densities[J]. J. Henan Agric. Sci., 2011, 40(1): 58-61.

[19] Zhang Z, Tian X, Duan L *et al*. Differential responses of conventional and Bt-transgenic cotton to potassium deficiency [J]. J. Plant Nutr., 2007, 30(5): 659-670.