第三章　主要营养元素营养特性

第一节　南疆高产棉花氮素养分营养特性

一、研究意义

在棉花生长发育所需的全部营养中，氮素是影响产量和品质的关键因素之一（Hearn，1980）。氮肥对棉花有极显著的增产效应，能提高棉花的纤维品质和比强度，降低马克隆值，增加纤维细度；借助放射性同位素探索棉株生长后期（开花后 10 d、25 d、50 d）对所施氮肥的吸收、利用和代谢，得出开花后 10 d 棉株吸收氮素量最多（苏联棉花无机营养研究，1983）。Hearn（1986）与 Hodgson（1988）提出棉花产量与氮素吸收量的一种相关模型为 $y=a+b_1x+b_2x^2$。增强对棉花田间氮消耗的了解将会改善氮的利用效率，使作物发育和产量达最佳水平，有助于避免氮过量（Donald J. Boquet，2002）。棉花最大吸氮素量出现在种植后的 49～71 d（谢国禄，2000）。

棉花一生中需要较多的氮素，单株吸氮量为 2.5～4.4 g，随施氮水平和干物质积累的提高而增加，其中 54%～65%用于生殖器官，分布趋势是：棉籽 > 铃壳 > 蕾 > 幼铃 > 纤维；35%～46%用于营养器官，分布趋势是：棉叶 > 果枝 > 茎 > 根（浙江农业大学，2000）。在不同水氮处理中，以供水 3900 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 和施 N 量 270 $kg \cdot hm^{-2}$ 处理的单株铃数和单铃重为最佳（孙孝贵，2006）。棉花可吸收 NO_3^--N、NH_4^+-N、酰胺态氮、

一些简单的氨基酸态氮，并以 NO_3^--N 为主。氮素对棉花生长发育起着重要作用，提高氮素浓度能促进出叶速率，延长叶片寿命和增大叶面积，加强光合作用并延缓衰老；氮对根的生长也有促进作用，氮主要是通过延长有效结铃期和增加总铃数来提高棉花产量，氮对提高单铃重的作用较小；在品质方面，氮能降低早期成铃的纤维细度，增加中后期成铃的纤维细度，对纤维强度影响小，衣分有所下降。棉花在整个生长发育过程中都需要氮素，在第 2～4 片真叶的形成时期是氮素营养临界期，这时需氮素不多但很重要，开花期是氮素营养最大效率期，氮素增产效果最大（浙江农业大学，2000）。

氮对作物生长的促进作用不是无限的，施过多氮肥，无论是对棉花苗期还是中后期生长均不利。氮是影响棉花生长和产量的最活跃的因素，在磷、钾营养得到满足的条件下，氮肥用量与器官生长及体内氮磷水平的变化有高度一致性。过高的氮肥对营养成分变化影响虽小，但易使现蕾开花延迟，收获期推迟，导致产量和品质下降（伍素辉，1990）。合理施氮可显著增强盛花前根系活力，使棉株稳健生长，增加单株叶片数，扩大叶面积指数，促进叶片增厚，从而显著提高群体净光合生产率，增加干物质生产和结实器官干物质积累比例，协调营养生长和生殖生长（成灿土等，1999）。棉花生育期各阶段吸收氮磷钾数量不同，氮素在各生育期的吸收量比例：苗期为 3.2%，蕾期为 12.5%，花铃期 63.1%，收获期为 21.2%；可见，棉花对氮的需求花铃期最多，蕾期次之，吐絮期又次之，苗期最少（浙江农业大学，2000）。张旺锋等（1998）研究得出棉株对氮磷的最大吸收强度在出苗后 75～76 d，这时棉株生长处于盛花期，对氮的吸收快增期出现在出苗后 59～93 d，这时棉株正处于开花前后到盛花结铃期。这为重施氮肥提供了理论依据，试验表明新疆特早熟棉区对氮磷的最大吸收强度比北方其他地区早 24～25 d，因此应有一套相应的施肥技术。王克如等（2003）指出高产棉田对氮肥的最大需求期是从初花期开始到盛花期结束，39 d 吸收氮素为全生育期吸氮量的 88%。棉花对氮素营养特性和需氮规律可以总括为：棉花一生中需要较多的氮素，吸收 NO_3^--N 为主，单株吸氮量为 2.5～4.4 g，开花后 10 d 棉株吸氮量最

多，2～4 片真叶的形成时期是氮素营养临界期，生殖器官吸收氮的比例（54%～65%）＞营养器官（35%～46%）。

二、研究方法

1. 试验设计

选择当地主栽培棉花品种，试验设三处理三重复，随机区组排列，小区面积为 228 m^2；其他试验设计按现有大田棉花种植方案进行。

（1）调查点：低产棉田，选择新开垦棉田并种植 2 年以上，其中皮棉产量连续 2 年在 1500～1800 $kg·hm^{-2}$，灌溉方式为滴灌，按现有的施肥、灌溉技术和化学调控等管理措施，在本试验中作为对照处理 CK。

（2）调查点：中产棉田，选择棉田连续 3 年皮棉产量持续在 2250～2400 $kg·hm^{-2}$，灌溉方式为滴灌，按现有的施肥、灌溉技术和化学调控等管理措施进行。

（3）调查点：高产棉田，选择棉田连续 3 年皮棉产量在 3000 $kg·hm^{-2}$ 以上，灌溉方式为滴灌，按现有的施肥、灌溉技术和化学调控等管理措施进行。

2. 植物样品采集、制备

从棉花苗期至收获期，每 15 d 在设定小区采样一次，在棉花全生育期，共采样 10 次，分别在棉花苗期（出苗后 25 d；5 月）、初蕾期（苗后 40 d；5 月）、盛蕾期（苗后 55 d；6 月）、初花期（苗后 70 d；6 月）、盛花期（苗后 85 d；7 月）、初铃期（苗后 100 d；7 月）、盛铃期（苗后 115 d；8 月）、初絮期（苗后 130 d；8 月）、盛絮期（苗后 145 d；9 月）和收获期（苗后 160 d；9 月）。

取样方式，在一膜上分别在边行、中行各取 10 株，苗期—蕾期每次

每个小区取 20 株，其余每次每个小区取 8 株代表性棉株。每次取带根整株棉花，及时带回实验室，用蒸馏水冲洗干净，以子叶节为界把棉花分地下部分（根）和地上部分（茎秆、叶片、蕾、铃和籽棉），把各器官分开，先将分开的新鲜样品放在 80～90 °C 烘箱鼓风烘 30 min，然后 60～70 °C 烘至恒重，分器官称重，用于测定棉花干物质量，最后用粉碎机把样品磨碎，保存，用于测定养分。

3. 土壤样品采集、制备

棉花播种前，在选定条田内“S”形采样，测定基础养分。以后每次都同点、同步进行土壤样品和植物样品的采集。

从棉花苗期（苗后 25 d）开始到收获期，每 15 d 在设定小区采样一次，棉花全生育期，共采样 10 次。别在棉花苗期（出苗后 25 d；5 月）、初蕾期（苗后 40 d；5 月）、盛蕾期（苗后 55 d；6 月）、初花期（苗后 70 d；6 月）、盛花期（苗后 85 d；7 月）、初铃期（苗后 100 d；7 月）、盛铃期（苗后 115 d；8 月）、初絮期（苗后 130 d；8 月）、盛絮期（苗后 145 d；9 月）和收获期（苗后 160 d；9 月）。分 0～20 cm、20～40 cm、40～60 cm 3 层取土样，每层取 6 点混合样。土样自然风干，先过 1.00 mm 筛（测定速效养分），再取部分过 0.25 mm 筛（测定有机质）。

4. 测定方法

植物样测定：植株样品消解用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮，植株全氮测定用全自动凯氏定氮仪和半微量凯氏蒸馏法测定。

土壤样品测定：土壤有机质用重铬酸钾法测定，土壤碱解氮用碱解扩散法。

5. 养分相关指标计算

棉花植株养分积累量 = 植株密度（株·hm^{-2}）×

单株干物质重（g）×养分浓度（%）

100 kg 皮棉养分摄取量 = 植株养分积累量/皮棉产量×100

6. 数据处理

实验所得数据采用 SPSS 12.0 进行统计分析。回归分析应用 Regression 中的 Nonlinear 程序，建模用数据库 DPS 数学模型中的 Logistic 生长函数模型模拟。

三、研究结果与分析

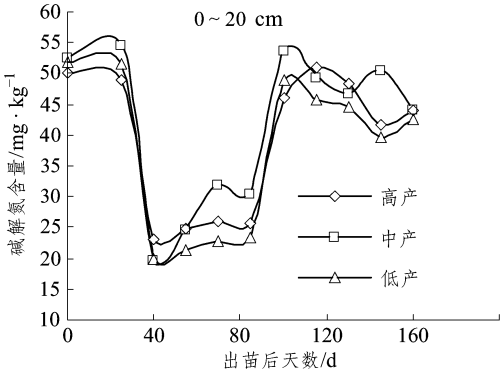
土壤中氮的名称和意义

土壤中的氮素绝大多数是以有机态存在的，有机态氮素在耕作等一系列条件下，经过土壤微生物的矿化作用，转化为无机态氮素供作物吸收利用。土壤中有机态氮素与无机态氮的总和称土壤全氮。土壤氮素绝大部分来自有机质，故有机质的含量与全氮含量成正相关。土壤中的全氮含量代表着土壤氮素的总贮量和供氮素潜力。因此，全氮含量与有机质一样是土壤肥力的主要指标之一。

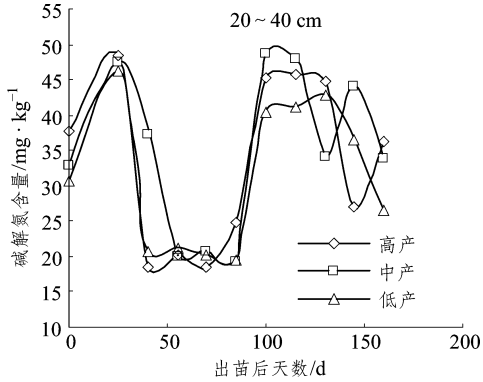
碱解氮又叫水解性氮（包括无机态氮和结构简单、能为作物直接吸收利用的有机态氮），它可供作物近期吸收利用，故又称速效氮。碱解氮含量的高低，取决于有机质含量的高低、质量的好坏以及放入氮素化肥数量的多少。有机质含量丰富，熟化程度高，碱解氮含量亦高，反之则含量低。碱解氮在土壤中的含量不够稳定，易受土壤水热条件和生物活动的影响而发生变化，它能反映近期土壤的氮素供应能力；能反映土壤近期内氮素供应情况，与作物生长有一定的相关性，因而对营养诊断和推荐施肥有重要的指导意义。

（一）棉田土壤水解性氮含量及分布特征

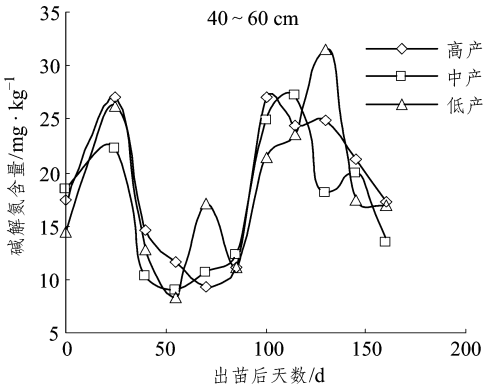
不同产量水平土壤碱解氮含量随棉花生育进程变化见图 3-1，0～20 cm 蕾期到初花期（出苗后 40～70 d），高产棉田土壤碱解氮含量小于低产田，中产田最高，进入铃期后，高产棉田土壤碱解氮含量大于低产田，相关性均达到极显著水平；20～40 cm 蕾期到初花期，高产田土壤碱解氮含量大于低产田，中产田最高，但盛铃到成熟高产田碱解氮变化稳定且大于中、低产；40～60 cm 蕾期到初铃期，高产田土壤碱解氮含量大于中、低产田，但盛铃到盛絮高产田碱解氮变化规律性不明显。



（a）



（b）



（c）

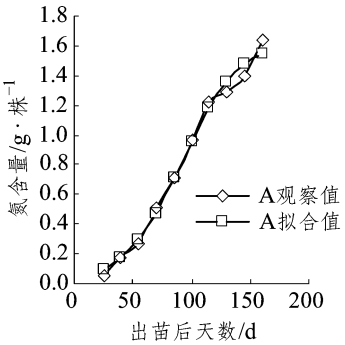
图 3-1　不同产量不同土层碱解氮的动态变化

不同土层碱解氮含量总体：0～20 cm > 20～40 cm > 40～60 cm。蕾期以前 0～20 cm 和 20～40 cm 土壤碱解氮变化基本相同；蕾期以后 20～40 cm 土壤碱解氮变化比 0～20 cm 大；40～60 cm 动态变化趋势明显较小。

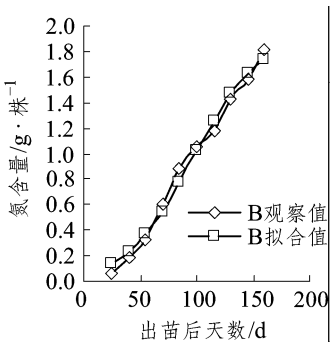
施氮肥对土壤影响较大；高产棉田碱解氮总体大于低产田，且变化比中、低产田平缓。

（二）高产棉花氮积累特征及模拟

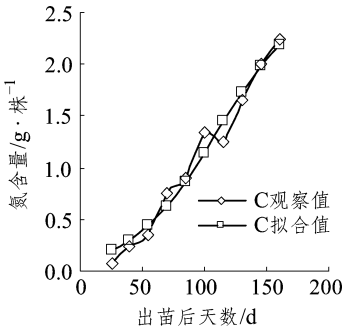
对 A、B、C 产量单株棉花总 N 吸收积累动态，它们呈“S”形曲线（图 3-2）。通过拟合，a、b、W_m 等参数值列于表 3-1。以上模型的相关系数 R 均达 0.98 以上，经 F 检验均达 α=0.01 极显著水平，说明拟合程度较好。



（a）



（b）



（c）

图 3-2　高产棉花氮（N）养分积累动态

不同产量棉花吸收氮（N）养分速率最大的时刻 t_0，A、B、C 分别出现在棉花出苗后 92 d（初铃期）、96 d（初铃期）、110 d（初铃至盛铃

期），日吸收量分别是 0.01679 g·d^{-1}·株$^{-1}$、0.016 75 g·d^{-1}·株$^{-1}$、0.019 98 g·d^{-1}·株$^{-1}$，氮（N）快速吸收的持续时间分别是 64～65 d、75～76 d、87～88 d，不同产量棉花氮（N）快速吸收结束时间，A、B、C 分别出现在棉花出苗后 124 d（盛铃至初絮期）、134 d（初絮期）、153 d（盛絮期），这一阶段吸收 C 产量棉花吸收的氮（N）占氮总积累量的 55.9%～60%，A 产量棉花吸收的氮（N）占氮总积累量的 47%～50%。

由此得出，高产棉花氮（N）吸收峰值比低产棉花推迟、快增期持续时间比低产棉花延长，在快速吸收阶段高产棉花吸收的氮（N）占棉株氮总积累量百分率比低产有所增加。

表 3-1　棉株氮素积累的 Logistic 模型及特征值

产量水平	生长特征值	拐点出现时间			吸收峰值出现时间	养分最大吸收速率/g·d^{-1}·株$^{-1}$	方　程	R	F
		t_1	t_2	Δt		V_m			
A	1.08	60	124	64	92	0.016 79	y=1.641 6/[1+exp (3.758 7 - 0.040 9t)]	0.995 3	368.21
B	1.26	59	134	75	96	0.016 75	y=1.919 9/[1+exp (3.361 8 - 0.034 9t)]	0.993 5	265.78
C	1.75	66	153	87	110	0.01998	y=2.6637/[1+exp (3.285 9 - 0.030 0t)]	0.987	132.33

（三）高产棉株各生育期氮绝对含量吸收特征

不同产量水平植株氮（N）的吸收总量均表现为随生育进程持续增加，在生育前期和中期增加较缓，后期增加迅速，不同产量棉花表现出一定差异（图 3-3）。

苗期的高、中、低产量对养分吸收基本无影响，从盛蕾期开始差异逐渐明显且随生育进程有增大趋势，养分吸收差异大小在出苗后 115 d 左右（盛铃期）为 C > A > B，其他时间均表现为 C > B > A，总体上高产棉株地上部分氮（N）的吸收量大于中、低产。高产较中、低产增加

了棉株氮（N）的吸收量，分别超出中、低产的 23.81%、36.67%，由此说明高产棉株养分吸收作用明显。

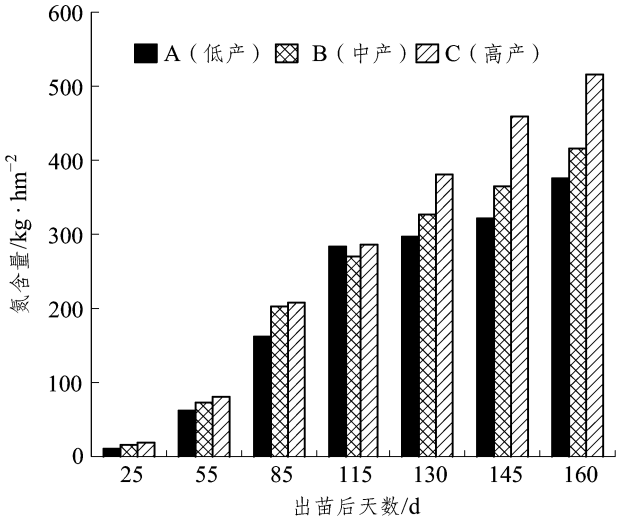


图 3-3　不同产量棉株氮积累动态

开花前高产棉株氮（N）养分吸收量的增加可归因于根、茎、叶氮量的增加。花铃中后期水量的增加能补充棉株生育中后期所需各种养分并了提高氮素利用率，而这时棉花生长开始向以生殖生长为中心的方向转移，氮（N）养分的增加有利于棉株的养分适时向生殖器官转移。

（四）高产棉花各器官氮分配规律

不同产量棉花养分在各器官的分配有一定差异，研究结果表明（表 3-2）：

（1）苗期（出苗后 25 d），高棉花氮（N）在叶片、主根中的分配率大于 A，较 A 提高 5.69%、2.21%，茎枝中的分配率较 A 低了 7.91%。

（2）盛蕾期（出苗后 55 d）高产棉花主根、茎枝和叶片的氮（N）分配率小于 A，分别降低了 0.16%、5.19%、0.52%，蕾的分配率较 A 提

高了 5.88%。

（3）盛花期（出苗后 85 d），高产棉花氮（N）在生殖器官（主要是铃壳）的分配率大于 A，较 A 分别提高了 2.22%，茎枝和叶片的分配率与 A 相比有所下降。

（4）盛铃期（出苗后 115 天），高产棉花氮（N）在花蕾、铃壳、棉纤维中分配较 A 有提高，在棉籽中的分配与 A 比较结果不呈现规律性；

表 3-2　各生育期氮（N）养分在各器官中的分配率

N%·株$^{-1}$

生育期	处理	主根	茎枝	叶	花蕾	铃壳	纤维	棉籽
苗期 25 d	A（CK）	5.45	15.36	79.19				
	B	6.56	9.84	83.60				
	C	7.66	7.45	84.88				
盛蕾期 55 d	A（CK）	8.66	16.17	52.79	22.38			
	B	9.00	10.23	50.81	29.96			
	C	8.50	10.98	52.27	28.26			
盛花期 85 d	A（CK）	4.93	15.17	43.03	6.33	30.53		
	B	5.91	20.88	38.84	5.40	28.97		
	C	8.00	17.53	35.80	5.93	32.75		
盛铃期 115 d	A（CK）	2.68	7.68	29.97	2.03	14.69	3.95	39.01
	B	5.42	10.30	20.66	3.01	17.78	4.67	38.16
	C	2.49	8.98	22.98	3.41	22.24	5.17	34.74

续表

生育期	处理	主根	茎枝	叶	花蕾	铃壳	纤维	棉籽
初絮期 130 d	A（CK）	3.04	7.50	28.47	0.47	11.75	2.52	46.24
	B	2.78	8.30	20.73	0.45	14.45	4.22	49.07
	C	2.79	7.80	21.13	0.70	13.77	5.74	48.07
盛絮期	A（CK）	4.46	8.38	21.39	0.06	9.49	2.96	53.26

145 d	B	2.86	8.61	22.35	0.10	7.73	3.73	54.63
	C	2.44	9.54	20.34	0.08	11.59	3.93	52.09
成熟期 160 d	A（CK）	3.51	9.64	20.28	0.01	8.47	2.23	55.87
	B	3.52	10.49	20.54	0.00	5.96	2.16	57.32
	C	3.50	7.61	18.09	0.04	9.19	2.17	59.39

（5）初絮期（出苗后 130 d），高产棉氮（N）在花蕾、铃壳、棉纤维、棉籽中分配率分别较 A 提高了 0.25%、2.02%、3.22%和 1.83%，在叶和主根中分配均小于 A。

（6）盛絮期（出苗后 145 d），高产棉的氮（N）只在铃壳、棉纤维中的分配率大于 A，且较 A 提高 2.41%、0.97%。

由此可以看出，高产棉花在苗期和蕾期主要提高了养分在茎叶中的分配，在花铃期主要提高养分在花蕾、铃壳和籽棉中的分配，而且这一作用比低产棉明显较大。

覆膜滴灌高产棉田施氮肥对土壤影响较大；高产棉田碱解氮总体大于低产田，且变化比中、低产田平稳，有利于棉株生长。高产棉花提高了氮（N）养分吸收量，最终比中、低产分别提高了 23.81%、36.67%，不同产量棉花氮（N）养分分配规律是，在苗期和蕾期主要提高养分在根、茎、叶中的分配，在花铃期主要提高养分在铃壳、棉纤维和棉籽中的分配。

但高产棉花氮（N）养分分配在各时期跟随器官旺盛生长而分配的趋向性比中、低产作用更加明显。

四、小　结

本章提出并验证了使用 Logistic 生长函数模型模拟棉花氮素养分吸收机理。结果表明：高产棉花吸收氮（N）养分速率最大的时刻 t_0，出现在棉花出苗后 110 d（初铃至盛铃期），日吸收量为 0.019 98 $g \cdot d^{-1} \cdot$株$^{-1}$，

氮素（N）快速吸收的持续时间是 87～88 d，高产量棉花氮素（N）快速吸收结束时间，出现在棉花出苗后 153 d（盛絮期），这一阶段吸收高产棉花吸收的氮（N）占氮总积累量的 55.9%～60%。所以在滴管施肥中要注意这段时间的施肥量，确保土壤供氮充足，对棉花稳产、高产有重要的意义。

长期以来，在我国的棉花生产中以施氮肥为主，且常常倾向于增施氮肥以获得棉花高产，这不但加重了土壤氮淋洗和对环境的污染，而且导致了因营养体生长过旺而贪青晚熟，前期僵烂花，后期铃及霜后花比重增加，纤维品质大幅度降低。若能量化施肥将有助于提高氮肥的利用率和棉花的产量，对改善生态环境也具有十分重要的意义。

从氮素管理的角度讲，一定要采取措施鼓励使用有机肥，而且一定要进行“科学普及”——农田需要畜禽粪便有机肥中的有机质和氮、磷、钾、微量元素等，不足的部分，再使用化肥来补充。目前农业生产中氮肥使用的主要问题：一是不能确定合理的用量；二是不能做到氮肥机械化深施，施肥方法粗放。科学上称之为，既给作物施肥，又给环境“施肥”。忽视有机肥的利用和氮肥的不合理施用是整个氮素管理中的主要问题，使我国农业生产中的氮素管理陷入困境，不仅影响农业生产，还对生态环境带来巨大的压力。

要系统地阐述氮素对棉花和其他作物生长发育及产量的影响，以探求在生产实践中实现棉花生产的节本与增效。在氮肥的施用中，要解决几个重要问题：

（1）必须估算出有机肥施了多少氮。

（2）根据氮素平衡 算出需要施用多少化肥氮。

（3）然后需要机械化深施。

（4）做到与其他营养元素的合理配合，包括中微量元素。

（5）优化其他农艺措施，进行作物的综合管理，比如提高土壤肥力，消除其他障碍因素等方面进行各个突破。

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.

[2] 薛晓萍，郭文琦，周治国. 氮素对棉花氮素利用率和产量的影响[J]. 中国科学通报，2008，24（10）: 462-466.

[3] ROCHESTER I J, PEOPLES M B, HULUGALLE N R, et al. Using legumes to enhance nitrogen fertility and soil condition in cotton cropping systems[J]. Field Crops Research, 2001, 70:27-41.

[4] 成少华，唐明星，陈晓玲，等. 氮素对棉花生长发育及产量影响的研究综述[J]. 江西农业学报，2010，22（9）:72-74.

[5] 李少昆，张旺锋，马富裕. 北疆超高产棉花（皮棉 2000 $kg \cdot hm^{-2}$）生理特性研究[J]. 作物学报，2000， 26（4）: 508-812.

[6] 李蕾，娄春恒，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.

[7] 李新裕，陈玉娟. 长绒棉生长发育规律的观察[J]. 中国棉花研究简报，2001，28（5）:23-30.

[8] 李蕾，等. 新疆不同密度下棉花 N、P 吸收及其分配研究[J]. 西北农业学报，1999，8（1）:37-39.

[9] 罗运选. 苏联棉花无机营养研究[J]. 国外农学，1983，3:25-29.

[10] 罗志桢. 河西走廊地区不同氮磷钾最佳配比对棉花产量影响[J]. 中国农学通报，2006，22（1）:191-193.

[11] 陆景陵，等. 植物营养学（上）[M]. 北京：中国农业大学出版社，1994.

[12] 姜存仓，王运华，等. 不同棉花品种苗期钾效率差异的初步探讨[J]. 棉花学报，2004，16 （3）:162-165.

[13] 姜益娟，郑德明，等. 新疆棉花施钾效果研究[J]. 干旱地区农

业研究，2005，3（2）:91-94.
[14] 毛树春著. 棉花营养与施肥[M]. 北京：中国农业科技出版社，1993.
[15] 马鄂超，柴付军，闵友信，等. 棉花高产优质需肥需水规律及高效施肥、节水灌溉综合技术研究[J]. 新疆农垦科学院科技简报，2004，4:83-83.
[16] 马富裕，杨建荣，郑重. 北疆高产棉花密度与打顶时序调控的生态位适宜度研究[J]. 生态学杂志，2005，24 （2）:136-140.
[17] 裴冬，张喜英. 调亏灌溉对棉花生长、生理和产量的影响[J]. 生态农业研究，2000，8（4）:52-55.
[18] 齐俊生. 棉花高产栽培技术（上）[J]. 农民科技培训，2006，1:14-15.
[19] 孙羲，饶立华，秦遂初，等. 棉花钾素营养与土壤钾素供应水平[J]. 土壤学报，1990，27（2）:166-171.
[20] 孙孝贵. 膜下滴灌水氮耦合对棉花生长发育的影响[J]. 中国棉花，2006，33 （1）:8-13.
[21] 孙福来，韩学斌，等. 棉花需肥规律及高产施肥技术[J]. 农业科技通讯，2002，8:31.
[22] 王平，陈新平，田长彦，等. 新疆南部地区棉花施肥现状及评价[J]. 干旱区研究，2005，22（2）:264-269.
[23] 王平，田长彦，等. 南疆棉花施氮量及氮素平衡分析[J]. 干旱地区农业研究，2006 24（1）:77-83.
[24] 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.

第二节　南疆高产棉花磷素养分营养特性