

分类号：
学号：20222112026

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



磷肥运筹对滴灌棉花群体特征 及产量形成的调节

学位申请人	赵后秀
指导教师	罗宏海 教授 王军 研究员
申请学位类别	专业硕士
专业名称	农业硕士
研究领域	农艺与种业
所在学院	农学院

中国·新疆·石河子

2024年6月

分类号：
学号：20222112026

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



磷肥运筹对滴灌棉花群体特征 及产量形成的调节

学位申请人	赵后秀
指导教师	罗宏海 教授 王军 研究员
申请学位类别	专业硕士
专业名称	农业硕士
研究领域	农艺与种业
所在学院	农学院

中国·新疆·石河子

2024年6月

**Effects of phosphate fertilizer operation on canopy characteristics
and yield formation of drip irrigation cotton**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Agriculture

By

Zhao Houxiu

(Agronomy and Seed Industry)

Dissertation Supervisor: Prof. Luo Hong-hai

June, 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：赵后秀

时间：2024年5月5日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：赵后秀

时间：2024年5月5日

导师签名：明宏峰

时间：2024年5月5日

摘要

【目的】针对新疆棉田磷肥过量投入、利用率低和棉花不同生长阶段磷肥供需不平衡等问题，探寻通过优化磷肥运筹改善冠层微环境、增强冠层生产力，进而实现棉花产量和磷肥利用效率同步提高的作用机制和可能途径，为滴灌棉田磷肥合理施用及高效群体构建提供参考和依据。

【方法】本研究以新石 K18 为试验材料，采用双因子裂区试验设计，主区为 3 个施磷量 (P_2O_5) 水平：低磷 (P_1 , $50 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、中磷 (P_2 , $100 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、高磷 (P_3 , $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)，副区为 2 个磷肥滴施比例：前轻后重 (M_1 , 30%现蕾期前滴施+70%花铃期滴施)、前重后轻 (M_2 , 70%现蕾期前滴施+30%花铃期滴施)。通过系统测定棉花关键生育时期冠层微环境、农艺性状、冠层结构等，开展磷肥运筹对滴灌棉花群体特征及产量形成影响的研究。主要结果如下：

【结果】(1) 磷肥运筹对改善冠层微环境和调节棉花株型具有一定作用。不同施磷量水平下盛铃至吐絮期的冠层温度均以 M_2 表现最高。冠层湿度、冠层光合有效辐射吸收率及冠层 CO_2 浓度在盛铃至吐絮期均以 M_1 表现最优。各施磷量水平下盛铃至吐絮期株高、茎粗、倒四叶宽、果枝台数及蕾花铃数均以 M_1 表现最高。此外， P_2M_1 处理在吐絮期蕾花铃数较其余处理显著增加 12.8%~29.1%。(2) 磷肥运筹能够调节棉花冠层结构和群体光合速率。各施磷量水平下盛铃至盛铃后期 M_1 的叶面积指数、叶倾角及群体光合速率较 M_2 增加 3.7%、0.7%及 4.1%，且不同施磷量水平间盛铃期 P_2 的叶面积指数和群体光合速率较 P_1 和 P_3 分别增加了 12.1%、4.5%和 11.7%、5.6%。此外， P_2M_1 处理在盛铃期的叶面积指数和群体光合速率较其余各处理显著提高 6.6%~16.4%和 4.0%~15.2%。(3) 磷肥运筹能够提高棉花生产潜力。各施磷量水平下棉花盛铃期 M_1 的干物质较 M_2 增加 4.0%，且 P_2M_1 处理干物质在盛铃期表现最高。各施磷量水平下盛铃至吐絮期群体生长率与棉铃生长率均为 M_1 高于 M_2 。各施磷量水平下 M_1 的单铃重和单位面积铃数较 M_2 分别增加 2.7%和 1.5%。不同施磷量水平下 P_2 的单铃重和单位面积铃数较 P_1 和 P_3 增加 1.7%、0.6%和 4.1%、2.4%， P_2M_1 处理的籽棉产量较其余处理提高 2.1%~7.4%。不同施磷量水平 M_1 的磷肥偏生产力与农学效率较 M_2 分别提升 1.8%和 16.9%。此外，吐絮期冠层 CO_2 浓度、冠层湿度、冠层光合有效辐射、叶面积指数、叶倾角及群体光合速率与产量及其构成均呈正相关。

【结论】中磷 (P_2 , $100 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 水平且结合前轻后重 (M_1) 滴施，有利于营造适宜的棉花冠层温湿度、 CO_2 浓度、光合有效辐射，增强群体光合生产能力，促进干物质向生殖器官分配，单位面积铃数和单铃重得以增加，最终籽棉产量达到 $7078.0 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ，磷肥农学利用效率达 $10.0 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。因此，在膜下滴灌水肥一体化条件下，选择 $100 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施磷量水平以 30%现蕾期前滴施+70%花铃期滴施的磷肥运筹模式利于构建高光效群体，实现干旱区棉花高效可持续生产的目标。

关键词：棉花；磷肥运筹；冠层微环境；冠层结构；物质生产

论文类型：B（应用研究）

Abstract

【Objective】 Aiming at the low utilization rate of excessive phosphorus fertilizer input in cotton fields in Xinjiang and the imbalance between supply and demand of phosphorus fertilizer at different growth stages of cotton, we explored the mechanism and possible ways to improve the canopy microenvironment and enhance the productivity of the canopy through the optimization of phosphorus fertilizer transportation, and then realized the simultaneous improvement of cotton yield and phosphorus fertilizer utilization efficiency, which provided references and bases for the reasonable application of phosphorus fertilizers and the construction of high-efficiency groups for drip-irrigated cotton fields.

【Methods】 In this study, Xinshi K18 was used as the experimental material, and a two-factor split-area experimental design was adopted, with three phosphorus (P_2O_5) application levels in the main area: low phosphorus (P1, $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), medium phosphorus (P2, $100\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), and high phosphorus (P3, $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), and two phosphorus fertilizer drip application ratios in the subarea: front-light and back-heavy (M1, 30% pre-bud drop + 70% flower bolling drop), front-heavy and back-light (M2, 70% pre-bud drop + 30% flower bolling drop). Through systematic determination of canopy microenvironment, agronomic traits and canopy structure during the key reproductive period of cotton, we carried out research on the effect of phosphorus fertilizer transportation on the characteristics of drip-irrigated cotton populations and yield formation. The main results are as follows:

【Results】 (1) Phosphorus fertilizer transport has a role in improving canopy microenvironment and regulating cotton plant size. Canopy temperature was highest in M2 from boll to fluffing under different levels of phosphorus application. Canopy humidity, canopy photosynthetically active radiation absorption rate and canopy CO_2 concentration were all optimized in M1 during the period from boll to fluffing, and they increased and then decreased with increasing phosphorus application levels. Plant height, stem diameter, inverted leaf width, number of fruiting branches and number of buds and bells were all highest in M1 at all phosphorus application levels. In addition, the number of buds and bolls increased significantly by 12.8%-29.1% in P2M1 treatment compared with the rest of the treatments during the flocculation period. (2) Phosphorus fertilization can regulate the canopy structure and photosynthetic rate of cotton. The leaf area index, leaf inclination angle and cotton photosynthetic rate of M1 increased by 3.7%, 0.7% and 4.1% compared with that of M2 at all levels of phosphorus application, and the LAI and population photosynthetic rate of P2 increased by 12.1%, 4.5%, 11.7% and 5.6% compared with that of P1 and P3, respectively, at different levels of phosphorus application at boll stage. In addition, leaf area index and cotton photosynthetic rate were significantly increased by 6.6% to 16.4% and 4.0% to 15.2% in P2M1 treatment compared with the rest of the treatments at the full-bell stage. (3) Phosphorus fertilization can improve cotton production potential. The dry matter of M1 increased by 4.0% compared with that of M2 at each phosphorus application level, and the dry matter of P2M1

treatment was the highest at the boll stage. Crop growth rate and boll growth rate were higher in M1 than in M2 at all levels of phosphorus application, and single boll weight and number of bolls per unit area increased by 2.7% and 1.5% in M1 compared with M2 at all levels of phosphorus application. Single boll weight and number of bolls per unit area increased by 1.7%, 0.6%, 4.1% and 2.4% in P2 compared with P1 and P3 at different phosphorus application levels, and the seed cotton yield of the P2M1 treatment was increased by 2.1%-7.4% compared with the rest of the treatments. Phosphorus fertilizer bias productivity and agronomic efficiency of different phosphorus application levels M1 were 1.8% and 16.9% higher than M2, respectively. In addition, canopy CO₂ concentration, canopy humidity, canopy photosynthetically active radiation, leaf area index, leaf inclination angle, and population photosynthetic rate were positively correlated with yield and its components during the fluffing period.

【 Conclusion 】 Medium phosphorus (P2, 100 kg·hm⁻²) level and combined with the light before and heavy after (M1) drip application, is conducive to the creation of a suitable cotton canopy temperature and humidity, CO₂ concentration, photosynthetically active radiation, to enhance the photosynthetic production capacity of the population, to promote the distribution of dry matter to the reproductive organs, the number of bolls per unit area and the weight of each boll can be increased, and ultimately the final yield of cotton reached 7078.0 kg·hm⁻², the phosphorus fertilizer agronomic utilization efficiency reached 10.0 kg·kg⁻¹. The final seed cotton yield reached 7078.0 kg·hm⁻², and the agronomic efficiency of phosphorus fertilizer reached 10.0 kg·hm⁻². Therefore, under the condition of water-fertilizer integration of drip irrigation under the membrane, the phosphorus fertilizer transportation mode of selecting the phosphorus application level of 100 kg·hm⁻² and applying phosphorus by 30% drip application before the bud stage and 70% drip application during the boll stage was beneficial to the construction of a high light efficiency group, and realized the goal of efficient and sustainable production of cotton in arid zones.

Key words: cotton; Phosphate fertilizer operation and development; Canopy microenvironment; Canopy structure; Material production

Type of thesis: B (Applied research)

目录

摘要.....	I
Abstract.....	II
缩略词表.....	VII
第1章 绪论.....	1
1.1 研究背景及意义.....	1
1.2 国内外研究进展.....	2
1.2.1 磷肥对棉花冠层微环境的影响.....	2
1.2.2 磷肥对棉花植株农艺性状的影响.....	3
1.2.3 磷肥对棉花冠层结构的影响.....	4
1.2.4 磷肥对棉花群体光合与群体干物质生产的影响.....	5
1.2.5 施磷对棉花产量、纤维品质及肥料利用率的影响.....	6
1.3 研究目标.....	8
1.4 研究内容.....	8
1.4.1 磷肥运筹对棉花冠层微环境因子和农艺性状的影响.....	8
1.4.2 磷肥运筹对棉花冠层结构及群体光合能力的影响.....	8
1.4.3 磷肥运筹对棉花干物质生产与肥料利用率的影响.....	9
1.5 技术路线.....	9
第2章 材料与方法.....	10
2.1 试验概况.....	10
2.1.1 试验区概况.....	10
2.1.2 试验材料.....	10
2.1.3 试验设计.....	11
2.2 测定项目与方法.....	11
2.2.1 冠层温湿度.....	11
2.2.2 冠层 CO ₂ 浓度.....	12
2.2.3 冠层光合有效辐射吸收率.....	12
2.2.4 农艺性状.....	13
2.2.5 冠层结构.....	13
2.2.6 群体光合及呼吸速率.....	13

2.2.7 干物质生产	14
2.2.8 棉花产量	14
2.2.9 纤维品质	15
2.2.10 肥料利用效率	15
2.3 数据处理	15
第 3 章 结果与分析	16
3.1 磷肥运筹下棉花冠层微环境的变化	16
3.1.1 冠层温度	16
3.1.2 冠层湿度	17
3.1.3 冠层 CO ₂ 浓度	17
3.1.4 冠层光合有效辐射吸收率	18
3.2 磷肥运筹下棉花农艺性状的变化	19
3.2.1 株高与茎粗	19
3.2.2 功能叶宽	20
3.2.3 果枝数与蕾花铃数	21
3.3 磷肥运筹下棉花冠层结构及群体光合能力的变化	22
3.3.1 冠层结构	22
3.3.2 群体光合与呼吸速率	23
3.4 磷肥运筹下棉花地上部群体干物质生产的变化	24
3.4.1 总干物质重量	24
3.4.2 干物质积累与分配	25
3.4.3 干物质积累拟合	27
3.4.4 群体生长率与棉铃生长率	27
3.5 磷肥运筹下棉花产量、品质及肥料利用率变化	28
3.5.1 棉花产量	28
3.5.2 纤维品质	29
3.5.3 肥料利用率	30
3.6 相关性分析	31
第 4 章 讨论与结论	33
4.1 讨论	33
4.1.1 磷肥运筹对棉花冠层微环境的影响	33
4.1.2 磷肥运筹对棉花农艺性状的影响	34
4.1.3 磷肥运筹对棉花冠层结构与群体光合、呼吸速率的影响	35
4.1.4 磷肥运筹对棉花地上部群体干物质生产的影响	36

4.1.5 磷肥运筹对棉花产量、品质及肥料利用率的影响	36
4.2 结论	37
4.2.1 磷肥运筹对棉花冠层微环境与农艺性状的影响	37
4.2.2 磷肥运筹对棉花冠层结构与群体光合的影响	38
4.2.3 磷肥运筹对棉花干物质生产及肥料利用率的影响	38
4.3 创新点	38
4.4 展望	39
参考文献	40
致谢	51
作者简介	52

缩略词表

英文缩写	英文全称	中文名称
BO	Boll Opening stage	吐絮期
BGR	Boll growth rate	棉铃生长率
BN	Boll number	单位面积铃数
CAP	Canopy apparent photosynthetic rate	群体光合速率
CGR	Crop growth rate	群体生长率
CPB	Cotton plant biomass	植株干物质重
CR	Canopy respiration rate	群体呼吸速率
DIFN	Diffuse non-interceptance	冠层开度
FB	Full Boll stage	盛铃期
FF	Full Flowering stage	盛花期
FS	Full Squaring stage	盛蕾期
HCT	Highest canopy temperature	冠层最高温度
LAI	Leaf area index	叶面积指数
LFB	Later Full Boll stage	盛铃后期
LIR	Light interception rate	冠层光合有效辐射吸收率
MCH	Mean canopy humidity	冠层平均湿度
MCT	Mean canopy temperature	冠层平均温度
MTA	Mean tilt angle	叶倾角
NCO ₂	Narrow row CO ₂ concentration	窄行冠层 CO ₂ 浓度
P	Phosphorus	磷
SBW	Single Boll weight	单铃重
SY	Seed yield	籽棉重
WCO ₂	Wide row CO ₂ concentration	宽行冠层 CO ₂ 浓度

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

棉花是我国重要的纤维作物，在我国国民经济中占据重要地位（Constable et al., 2015）。新疆作为中国重要优质棉生产和出口基地，生产量占全国棉花总量的85%以上，是新疆农业经济的支柱产业（王俊铎等，2021）。近年来，随着滴灌技术的成熟，新疆棉花水分利用率得到了大幅提高，但是养分利用率相对较低，相较于发达国家肥料利用率达50%~55%，我国肥料利用率只有30%~35%，远低于国外平均水平（黄真真等，2020；林睿华等，2023；Oliver et al., 2022）。我国与发达国家肥料利用率之间的较大差距可能与气候环境及栽培管理等因素相关。“水肥一体化”作为新疆农田节水增效的重要栽培技术，通过滴灌系统将肥料输入作物根系，能够使作物更直接有效地吸收养分（任江静等，2019；Rekha et al., 2015）。在棉花生产中仍存在施肥结构比例不合理和肥料利用率低等问题。因此，在棉花稳产的前提下，优化肥料供给、提高养分利用效率是保证棉花生产可持续性发展的关键。

磷肥在植物所需三种大量营养元素中利用率最低，同时，磷素亏缺是限制新疆棉田养分利用潜力的重要因素（刘美娟等，2019）。目前新疆棉田生产中磷肥平均用量范围为135-160 kg·hm⁻²（赖波等，2014；庞保刚等，2020），并以每年7.7%的递增率逐年上升，且多采用“重基施，轻追施”的施磷模式，导致棉田土壤早期磷素供应充足而后期匮乏，造成棉花生育期磷肥供需不平衡，进而降低棉花产量和磷肥利用效率（王刚，2016；马丹等，2020）。但近年来，随着新疆膜下滴灌技术的推广，磷肥的施用方式由基施向滴施转变，水溶性磷肥能够有效为石灰质土壤上生长的棉花提供磷，避免了磷肥一次性施入土壤后的资源浪费，同时磷肥分次滴施既能提高磷的有效性，还能减少磷肥在土壤中的固定（Meyer et al., 2018；亢龙飞等，2020）。研究发现在棉花的花铃期分次滴施磷肥能够增加棉花的单铃重和单位面积铃数，同时于棉花蕾期、铃期和吐絮期分次滴施磷酸一铵能够明显增加土壤中有效磷含量，且磷酸一铵分次滴施较基施能够显著增加棉花产量（李俊杰等，2008；陈波浪等，2010；马丹等，2020）。此外，新疆棉田磷肥施用以“基肥+滴灌追施”与“种肥+滴灌追施”，忽略了棉花不同生育时期的需磷特性，造成磷素不满足于棉花各生育阶段磷素需求，影响群体光合物质生产（张学昕等，2018；彭懿等，2021）。

创建合理的冠层结构及微环境对实现棉花高产至关重要（冯洁等，2023；Chen et al., 2019）。有研究发现磷肥随水滴施能够保持较高的有效性和移动性去改善棉花冠层

结构,促进棉花对磷的吸收,加速棉株地上部分生长并保持旺盛的光合效能,为棉花高产提供充足的物质保障(郑曙峰等,2020)。此外,棉花生育前期充足磷素供应和较快群体光合速率是保障棉花高产的重要因素(李志强等,2014)。在干旱条件下合理施用磷肥能够提升棉花养分吸收能力,调控棉花营养和生殖生长,促进碳水化合物的运输与棉桃形成,也可提高其后期光合产物转化能力,进而显著增加籽棉产量(杨劲峰等,2016; LI et al., 2019)。因此,在新疆棉田水肥一体化条件下,针对磷肥过量投入而利用率较低、盲目施肥与生长后期配施比例不够精确等问题,能否通过磷肥运筹,利用其对棉花各生育阶段充分磷素供给促进优良冠层形成以弥补低磷肥利用率而导致的群体生长不足?尚亟待解决。深入研究这一问题,对进一步明确磷肥运筹对棉花冠层及群体光合生产的调节效应关系和构建高产群体具有重要意义。因此,本研究旨在棉田膜下滴灌条件下,开展磷肥运筹对棉花冠层微环境、冠层结构、干物质生产特性及产量调节效应的研究,以期新疆棉花产业高效可持续发展提供理论依据。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 磷肥对棉花冠层微环境的影响

作物冠层内的温度、湿度、光照及气体等气象因素共同构成了冠层微环境,其中冠层温湿度变化与作物光合产物形成、运输和干物质积累及生理生化代谢密切相关(林松明等,2020; Yang et al., 2018)。相较于较高冠层温度,冠层温度较低能够促进作物养分的吸收和积累,加速物质同化速率,形成饱满的果实,进而提高作物产量,然而冠层温度过高则会破坏光合相关酶,减弱光合速率,最终造成减产,且对于棉花这种喜温好光的经济作物,其叶片光合最适温度应保持在25~30℃(董合忠等,2000; Reddy et al., 1995)。此外,种植模式、肥料运筹、行间距配置等栽培措施都会对冠层温度产生影响。种植模式的选择直接影响到作物在田间的排列结构和密度分布,进而影响着冠层的形成与透光性,密植模式可能会导致作物间竞争激烈,增加冠层内的湿度和温度,而适当降低种植密度则有助于空气的流通和冠层温度的下降(Tan et al., 2021)。与此同时,合理施氮能够降低作物冠层温度,增施氮肥能够促进作物群体绿色器官生长,冠层叶片旺盛湿度得以增加,作物群体环境改善后其光合速率上升(赵春江等,2002; Liu et al., 2017)。磷肥的施用造成用水量增加,植株能够吸收充足的水分,光照条件下大麦冠层水分蒸腾效率提升后湿度有所增加(Cooper et al., 1987)。目前对棉花冠层微环境变化的研究多集中于株行距配置方面,针对肥料所引起冠层温湿度的变化机制尚不明确,尤其是磷肥运筹模式是否会调节棉花冠层温湿度的相关研究更是少有报道。

气象因素在优良冠层形成过程中发挥着至关重要的作用，在农业生态系统中，气体、和光照等直接影响着植物的生理过程和冠层形成。CO₂作为植物进行光合作用的必需原料，其浓度的增加可以促进作物群体光合水平提升，从而有助于优化小环境结构，其中CO₂浓度的升高被认为是一种调节冠层环境有效手段，其作为光合作用的原料能够增强光合作用的效率，从而为作物的生长提供有力的支持（Shikha et al., 2019）。大量研究表明提升CO₂浓度不仅对作物生理生长产生积极作用，还能够提高作物群体生物积累量、叶面积指数、含碳有机物及果实产量等（Baligar et al., 2021）。此外，近年来随着大气中CO₂含量的升高，全球变暖趋势日益严重，温度的升高造成地表蒸发过快，加剧了新疆干旱区水资源的匮乏，这也成为限制新疆干旱区棉花高产的重要因素（Liu et al., 2019）。有研究指出当棉花缺乏磷时，会导致棉花叶片内细胞单位面积的CO₂传导性能降低，从而影响CO₂的吸收和同化作用，在磷元素缺乏的情况下，细胞膜的结构和功能可能发生变化，导致CO₂在叶片细胞之间的传递效率下降（Itoh et al., 1983）。然而，增施磷肥有利于小麦生物固碳作用，加速CO₂同有机物质之间的转换，进而提高小麦蛋白质和淀粉等物质的累积（原亚琦等，2019）。此外，也有研究发现当前新疆膜下滴灌棉田中，随水施用可溶性碳肥能够改变干旱地区棉田冠层CO₂浓度，其浓度变化与肥料用量呈正相关（尹飞虎等，2011）。与此同时，合理光分布也是棉花冠层优良微环境的重要保障，冠层上部透光率较高，中部及下部叶片受光均匀的棉花群体，其冠层结构合理且漏光损失较小，而冠层郁蔽会间接造成冠层环境不良，群体光截获下降削弱了光合物质生产潜力（薛晓萍等，2006）。

施肥作为促进作物生长发育的重要栽培方式，其对棉花群体光能资源的利用及转化具有重要作用（Wang et al., 2021）。有研究发现对于新疆膜下滴灌棉花种植，通过合理肥料运筹，可以降低散射辐射透光系数从而改善植株的冠层结构，这一过程可以优化棉花中下部的透光和通风环境，使植株能够更充分获取光资源，棉花的光合能力得以提升，进而为高产奠定基础（李志强等，2014）。但目前对于新疆膜下滴灌棉田中磷肥随水滴施作用于棉花群体间的CO₂浓度变化和群体冠层间光照资源分布对高产环境构成影响的相关性研究较少，通过磷肥运筹改变棉田冠层间CO₂浓度、光照空间截获与光合物质积累、运移间的关系，对挖掘棉花生产潜力十分重要，且近年来新疆水肥一体化技术不断趋于成熟，研究可溶性磷肥随水滴施后棉花群体冠层环境变化与光合碳源积累及利用间的关系具有重要研究意义。

1.2.2 磷肥对棉花植株农艺性状的影响

鉴于棉花的复杂生长特性，其对田间管理措施极为敏感。在这些管理措施中，肥

料运筹尤为重要，直接影响着棉花的生长发育和最终产量（Ali et al., 2007）。优化水肥管理能够改善棉花生长中养分与水分的摄取，进而调节棉花生长势（Wang et al., 2021）。水肥一体化的应用能够更好地满足棉花水分与养分需求，促进棉花叶片、茎秆等源器官生长，其中功能叶宽作为棉花源库间运输的重要桥梁，其与棉花光合物质合成有关（张丽等，2020）。有研究发现施用混合磷源的液体肥料后棉花生长旺盛，株高与茎粗在打顶后均表现出优良生长势（李建峰等，2023）。已有研究表明在干旱条件下，以50%磷肥基施与50%磷肥追施的运筹模式能够扩张叶片延展程度，促进棉花叶片生长与增加茎粗、株高，塑造棉花高产株型（Li et al., 2019）。

合理施用肥料能够提供植物所需的养分，促进其生殖生长，增强其抗逆性和抗病能力，从而最大限度地实现棉花的生产潜力（Wang et al., 2018）。因此，只有在肥料适宜的情况下才能促进棉花生育期内协调生长并提高产量。水氮耦合会对棉株生殖生长产生影响，棉铃数随施氮量的增长表现为先增后降（Li et al., 2016）。深层水灌溉配合基肥浅施后棉花果枝台数和铃数分别增加19.0%和9.1%（王远远等，2018）。也有研究发现追施硝态氮和提高钾肥用量有利于棉花功能叶质体色素含量的增加，提高光合物质生产转运速率（刘爱忠等，2018）。花铃期以生物肥料配合磷肥增施后棉田磷酸盐溶解性增加，能够改善棉花生长速率，进而加强生长势（Shaikh et al., 2018）。前人研究指出石灰性土壤中随水多次少量施用磷肥后对棉花生长过程中花、铃的数量和大小均有所提升（Stewart et al., 2005）。然而，当前对于肥料减施的研究主要集中在土壤施用后的有效养分含量等方面，特别是关于氮肥减施与产量及其构成之间的联系。但对磷肥滴施下其运筹模式对棉花地上部株型变化影响的相关研究尚未得到充分关注和探索。

1.2.3 磷肥对棉花冠层结构的影响

冠层结构决定了作物对光能与养分的分布（Zhang et al., 2022）。棉花是一种喜光喜温的经济作物，并具有无限生长的特性，良好的冠层结构有利于棉花高效利用光热资源，同时棉花冠层结构是否优良直接关系到棉花物质生产能力强弱、产量高低和纤维品质优劣（田玉刚等，2023）。棉花的营养生长和生殖生长重叠期较长，营养生长期过旺生长会造成棉花冠层郁蔽，且会造成生殖生长所需养分不足（武兰兵，2019；Lv et al., 2021）。肥料配施与棉花营养吸收关系密切，氮钾配施显著促进了水稻生长发育，提高了叶面积指数，叶片较为直立，能够形成优良冠层结构（冯建骋等，2023）。通过优化灌溉和调节施肥对棉花全生育期良好冠层结构形成的动态变化尤为重要，更有利于保持较好的冠层结构和延缓叶片衰老，提高叶面积指数和冠层表观光合作用（Yao et al., 2013）。