



周杰闻, 王亮, 张娜, 崔建平, 林涛, 田立文, 汤秋香, 郭仁松. 减氮配施腐植酸对新疆海岛棉光合特性及产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(12): 254-265.

ZHOU Jiewen, WANG Liang, ZHANG Na, CUI Jianping, LIN Tao, TIAN Liwen, TANG Qiuxiang, GUO Rensong. Effects of nitrogen reduction combined with humic acid application on photosynthetic characteristics and yield of island cotton in Xinjiang [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(12): 254-265.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.12.22

减氮配施腐植酸对新疆海岛棉光合特性及产量的影响

周杰闻¹ 王亮² 张娜² 崔建平² 林涛² 田立文² 汤秋香^{1*} 郭仁松^{2*}

(1. 新疆农业大学 农学院/棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业科学院 经济作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

摘要 为探究减氮配施腐植酸对新疆海岛棉光合特性及产量的影响,以海岛棉‘新78’为试验材料,采用单因素随机区组试验,分别设置不施氮(CK)、常规施氮 600 kg/hm²(OF₁)、减量施氮 300 kg/hm²(OF₂)、减量施氮 300 kg/hm²+腐植酸 150 kg/hm²(OF₃)、施腐植酸 300 kg/hm²(OF₄)5个处理,分析不同施肥方式对海岛棉叶面积指数(LAI)、光合有效辐射(PAR)截获率和叶片 SPAD、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO₂ 浓度(C_i)及产量等指标的影响。结果表明:与 CK 相比,OF₃可显著提高海岛棉的 LAI、PAR 截获率和叶片 SPAD。OF₃的 LAI 在盛铃期达到峰值,比 CK、OF₂、OF₄分别升高 7.56%、6.41%、6.37%,与 OF₁无显著差异($P < 0.05$)。群体 PAR 截获率全生育期呈现先上升后降低的趋势,OF₃盛铃期在垂直距离 70 cm 处可达 0.9 以上,且 OF₃在盛铃期叶片 SPAD 分别比 CK、OF₂、OF₄高 6.00%、4.77%、3.67% ($P < 0.05$),与 OF₁无显著差异。减氮配施腐植酸可使光合特性保持较高水平,增加干物质积累量,提高海岛棉产量。整个生育期内,OF₁和 OF₃海岛棉的 P_n 、 G_s 和 T_r 均显著高于 CK、OF₂ 和 OF₄,且 OF₃与 OF₁无显著差异($P < 0.05$)。光合参数在盛铃期差异达到最大值,OF₁的 P_n 、 G_s 和 T_r 分别比 OF₃高 2.62%、1.75%、1.51%,OF₁的 C_i 较 OF₃降低 4.64%。同时,OF₃可使海岛棉植株干物质积累比 CK、OF₁、OF₂、OF₄提前 4~13 d 进入快速积累期,海岛棉产量升高 6.31%~20.89%,并获得最大的积累速率(1.53 g/d)和生长特征值(60.67),分别比 OF₁高出 25.41% 和 2.67%。综上,在新疆海岛棉种植中采用氮 300 kg/hm²+腐植酸 150 kg/hm²(OF₃)的施肥策略可显著提高海岛棉 LAI 和 PAR 截获率,保持较好光合特性促进产量的形成,有利于实现减氮和产量提升的双重目标。

关键词 海岛棉; 氮肥; 腐植酸; 光合特性; 新疆

中图分类号 S562

文章编号 1007-4333(2024)12-0254-12

文献标志码 A

Effects of nitrogen reduction combined with humic acid application on photosynthetic characteristics and yield of island cotton in Xinjiang

ZHOU Jiewen¹, WANG Liang², ZHANG Na², CUI Jianping², LIN Tao², TIAN Liwen²,
TANG Qiuxiang^{1*}, GUO Rensong^{2*}

(1. College of Agronomy/Cotton Engineering Research Center of the Ministry of Education, Xinjiang Agricultural University, Urumchi 830052, China;

2. Cash crop research institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumchi 830091, China)

收稿日期: 2024-04-22

基金项目: 新疆农业科学院自主培育专项(xjnykzyp-2022002);新疆维吾尔自治区重点研发计划(202107201);国家重点研发课题(2022YFD1900105)

第一作者: 周杰闻(ORCID:0009-0004-1516-868X),硕士研究生,E-mail:2427664366@qq.com

通讯作者: 郭仁松(ORCID:0009-0006-4022-4035),研究员,主要从事棉花栽培生理与耕作研究,E-mail:songgr08@163.com

汤秋香(ORCID:0000-0003-0355-1003),教授,主要从事农田生态环境研究,E-mail:790058828@qq.com

Abstract In order to investigate the effects of nitrogen reduction and humic acid application on the photosynthetic characteristics and yield of island cotton in Xinjiang, island cotton ‘Xin 78’ was used as experimental material. Five treatments were set up, which were no nitrogen (CK), conventional nitrogen 600 kg/hm²(OF₁), reduced nitrogen 300 kg/hm²(OF₂), reduced nitrogen 300 kg/hm² + humic acid 150 kg/hm² (OF₃) and humic acid 300 kg/hm²(OF₄), respectively. The effects of different fertilization methods on the leaf area index (LAI), photosynthetic active radiation (PAR) interception rate, leaf SPAD, net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s), intercellular CO₂ concentration (C_i) and yield of island cotton were analyzed. The results showed that: OF₃ significantly increased LAI, PAR interception rate and leaf SPAD of Island cotton compared with CK. The LAI of OF₃ reached its peak in the blooming period, and was 7.56%, 6.41% and 6.37% higher than CK, OF₂ and OF₄, respectively, with no significant difference from OF₁ ($P < 0.05$). The population PAR interception rate increased first and then decreased during the whole growth period, and the hammer distance of OF₃ at the bolling stage could reach more than 0.9 at 70 cm, and the leaf SPAD of OF₃ at full bolling stage was 6.00%, 4.77% and 3.67% higher than CK, OF₂ and OF₄, respectively ($P < 0.05$), with no significant difference from OF₁. Nitrogen reduction and humic acid application can maintain a higher level of photosynthetic characteristics, increase dry matter accumulation and increase the yield of island cotton. During the whole growth period, P_n , G_s and T_r of OF₁ and OF₃ island cotton were significantly higher than CK, OF₂ and OF₄, and there was no significant difference between OF₃ and OF₁ ($P < 0.05$). The difference of photosynthetic parameters reached the maximum at the peak of bolling stage. P_n , G_s and T_r of OF₁ were 2.62%, 1.75% and 1.51% higher than those of OF₃, respectively, and the C_i of OF₁ was 4.64% lower than that of OF₃. At the same time, OF₃ accelerated the dry matter accumulation of island cotton plant into the rapid accumulation period, which was 4 to 13 d earlier than CK, OF₁, OF₂ and OF₄. OF₃ increased the yield of island cotton by 6.31% to 20.89%. OF₃ obtained the maximum accumulation rate (1.53 g/d) and growth characteristic value (60.67), which were 25.41% and 2.67% higher than OF₁ respectively. In conclusion, the fertilization strategy of 300 kg/hm² nitrogen and 150 kg/hm² humic acid (OF₃) in Xinjiang island cotton planting can significantly improve LAI and PAR of island cotton, maintain good photosynthetic characteristics and promote the formation of yield, which is conducive to achieving the dual goals of nitrogen reduction and yield improvement.

Keywords island cotton; nitrogen fertilizer; humic acid; photosynthetic characteristics; Xinjiang

新疆是我国唯一的海岛棉产区,海岛棉作为一种特色经济作物,其纤维具有长、细、强的特点,被广泛应用于高端纺织品和国防工业,其产量和品质对新疆经济发展和我国高品质棉花安全具有重要作用^[1]。氮是海岛棉生长必需的养分元素,对其产量和品质形成起重要的影响,尤其是海岛棉对氮肥的需求量高于陆地棉^[2]。长期以来,为了提升产量,氮肥投入不断增加,从而引起土壤板结,加剧盐碱化,降低了植株的氮肥利用效率^[3]。目前,新疆棉花氮肥施用量已超过实际需求^[4],而我国大田作物氮肥的当季利用率仅为 30% 左右,导致产量及品质提升缓慢,资源利用效率降低等问题^[5]。此外,新疆海岛棉连作障碍突出,土壤生产力提升困难,有机质含量偏低^[6],是限制新疆海岛棉产量及品质形成的主要因素。因此,开展合理减少氮肥施用量的

研究,对于减少氮肥的损失、降低生产成本、减轻环境污染并提高氮肥利用效率具有重要意义。

有机无机肥料混合施用是当前国内外研究的热点,涉及有机肥种类、成分、施用效果、微生物和生物活性、环境效应以及生产利用技术等多个方面的研究报道。石丽红等^[7]研究表明,有机肥能提供碳源和其他营养物质,促进土壤微生物生长和繁殖,增加土壤微生物的多样性和活性,提高土壤生态系统的稳定性。有机肥和化肥中的营养元素可以互补,减少氮肥施用量,配合有机肥的施用还可以提高作物的产量和质量,同时减少对环境的污染,促进农业生产的可持续发展^[8]。然而,要实现增加产量和养分高效利用的目标却面临较大挑战^[9]。近年来,腐植酸在棉花生产中被广泛应用,在提高土壤肥力、调节土壤 pH、增强土壤生物活性方面发

挥重要作用^[10]。腐植酸与尿素一起施用,能促进土壤肥力增加、改善并维持土壤微环境,在减少环境污染方面具有重要作用,具有明显的养分利用优势^[11]。已有研究表明,在作物的生产中有关减氮配施腐植酸的比例存在差异^[12-13],对海岛棉的相关研究却鲜见报道。本试验基于新疆膜下滴灌条件,设置5种不同施肥处理,对海岛棉的LAI、PAR截获率、叶片SPAD、光合特性及产量形成进行测定和分析,旨在揭示减氮配施腐植酸对海岛棉光合特性和产量形成的影响,以期新疆海岛棉氮肥高效利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2023年4—10月在阿克苏地区的阿瓦提棉花综合试验基地(40°06′N, 80°44′E,海拔1 025 m)进行,该地区为温带大陆性气候,年平均气温10.4℃,平均降雨量46.7 mm,平均蒸发量1 890.7 mm,无霜期211 d^[14]。试验地土质为砂壤土,耕层土壤(0~30 cm)基础肥力平均值为全氮

0.59 g/kg、有机质9.88 g/kg、碱解氮33.25 mg/kg、速效磷12.2 mg/kg、速效钾190.67 mg/kg,前茬作物为海岛棉,收获后粉碎还田,并对土壤进行40 cm的深松处理。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,分别设置不施氮(CK)、常规施氮600 kg/hm²(OF₁)、减量施氮300 kg/hm²(OF₂)、减量施氮300 kg/hm²+腐植酸150 kg/hm²(OF₃)、施腐植酸300 kg/hm²(OF₄)5个处理(表1),3次重复,共15个小区,种植模式为一膜三管六行,膜宽2.05 m,播幅2.3 m,行距为10 cm+66 cm,株距为10.5 cm,试验地总长度为34.5 m(15幅膜),宽度为21.5 m,总面积为741.75 m²。供试材料为机采海岛棉‘新78’,由新疆农业科学院经济作物研究所提供。矿源腐植酸(养分含量全氮1 280 mg/L、全磷986.26 mg/L、全钾17.75 mg/L、有机质90 g/L),氮肥来源为尿素(N 46 g/100 g),小区统一施用过磷酸钙(P₂O₅ 16 g/100 g)300 kg/hm²,硫酸钾(K₂O 52 g/100 g)150 kg/hm²,其他管理模式与海岛棉高产栽培模式相同。

表1 不同处理施肥量和灌水量

Table 1 Fertilizer application amount and irrigation amount under different treatments

处理 Treatment	基肥/(kg/hm ²) Base fertilizer			追肥/(kg/hm ²) Rations of topdressing		灌水量/(m ³ /hm ²) Irrigation amount
	纯氮	过磷酸钙	硫酸钾	纯氮	腐植酸	
	Nitrogen	P ₂ O ₅	K ₂ O	Nitrogen	Humic acid	
CK	0	375	150	0	0	4 650
OF ₁	225	375	150	600	0	4 650
OF ₂	225	375	150	300	0	4 650
OF ₃	225	375	150	300	150	4 650
OF ₄	225	375	150	0	300	4 650

1.3 测定指标

1.3.1 冠层LAI测定

于海岛棉主要生育期(蕾期、初花期、盛花期、盛铃期、吐絮期),选择晴朗无风的天气,于18:00在各小区长势均匀处定点用美国CID公司生产的CI-110植物冠层数字图像分析仪测定窄行、宽行及膜间的叶面积指数(LAI),取平均值^[15]。

1.3.2 冠层(PAR)截获率

于海岛棉主要生育期选择晴朗天气,在13:00使用长80 cm、高110 cm的光合有效辐射传感器(北崎国际贸易(北京)有限公司的LI-191SA线性光量子传感器)选择各小区中长势均匀的海岛棉进行测量,测量时仪器垂直于作物行。垂直方向上:从地面至作物冠层顶部每20 cm为1个测量点,共测6个点

(10、30、50、70、90、110 cm); 水平方向上: 群体行向东每 20 cm 为 1 个测量点, 共测 5 个点(0、20、40、60、80 cm), 总共得到 30 个点的测量数据(6 个高度×5 个水平位置)。用测量数据绘制海岛棉冠层不同空间位置的 PAR 等值线分布图^[16]。

1.3.3 相对叶绿素含量(SPAD)测定

在主要生育期, 采用日本柯尼卡美能达公司的 SPAD-502 型便携式叶绿素测定仪测定倒四叶(打顶后选倒三叶)的 SPAD。每叶测定 5 个点, 每个小区测 3 株, 测定 3 个重复, 取平均值即为 SPAD。

1.3.4 光合特性测定

于海岛棉主要生育期选择晴天的 12:00—13:00, 每小区选 5 株长势一致的植株取主茎倒四叶(打顶后选倒三叶), 采用美国 PP Systems 公司的 TPS-2 光合仪测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i), 每处理重复 3 次。

1.3.5 植株干物质累积量及累积速率

于海岛棉全生育期, 选取各小区具有代表性的植株地上部, 将茎、叶、蕾、花、铃各部位分别装入牛皮纸袋, 置于 105 °C 烘箱杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒重, 冷却后立即称量各器官干物质重量。采用 Logistic 方程拟合海岛棉干物质积累变化

$$y = k / [1 + e^{-(a+bt)}]$$

式中: y 为干物质积累量, g ; k 为相应的理论最大值, t 为出苗后的生长时间, d ; a 、 b 为待定系数。分别对方程求 1 阶、2 阶和 3 阶导, 可得出干物质快速积累期起始时间(t_1)、干物质快速积累期终止时间(t_2)、干物质快速积累期持续时间(Δt)、干物质最大积累速率(v_m)、最大积累速率出现时间(t_0)和相应生长曲线特征值^[17]。

1.3.6 产量测定

海岛棉吐絮期, 调查各个小区有效株数和单株结铃数; 并在每小区连续采收棉株下部、中部、上部棉铃共 50 朵, 将采收回吐絮棉铃晒干, 计算海岛棉单铃重、籽棉产量, 轧花后用公式: 衣分 = 皮棉产量/籽棉产量计算。

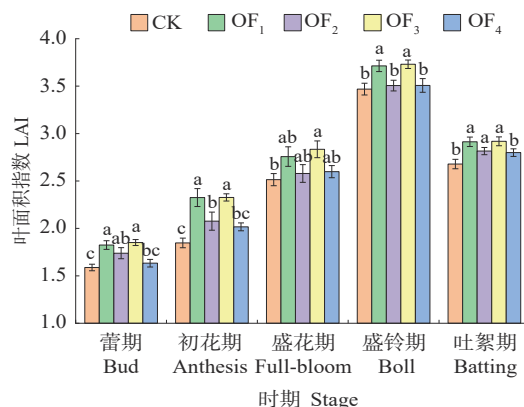
1.4 数据处理及分析

数据均采用 IBM SPSS Statistics 27 进行方差分析和多重比较差异显著水平($P < 0.05$)。利用 Surfer 16、Origin Lab 2021 进行作图, DPS 拟合生长曲线方程。

2 结果与分析

2.1 减氮配施腐植酸对海岛棉 LAI 的影响

由图 1 可知, 全生育期海岛棉叶面积指数(LAI)自蕾期呈现先上升后下降的趋势, 各处理 LAI 在盛铃期达到最大值。减氮配施腐植酸处理(OF_3)全生育期 LAI 均高于不施氮(CK)、常规施氮(OF_1)、单纯减施氮肥(OF_2)、单施腐植酸(OF_4)处理; 在盛花期和盛铃期各处理呈现较大差异。在盛花期、盛铃期和吐絮期时 OF_3 的 LAI 比 OF_1 分别高出 2.79%、0.48%、0.18%, 盛铃期 OF_3 比 CK、 OF_2 、 OF_4 分别高出 7.56%、6.41%、6.37%, 盛铃期和吐絮期各处理 LAI 由高到低均为 $OF_3 > OF_1 > OF_4 > OF_2 > CK$ 。由此可见, 单纯减施氮肥(OF_2)可显著降低海岛棉 LAI, 而在相同氮肥水平下配施腐植酸(OF_3)可显著提高 LAI, 且略高于常规施氮量处理(OF_1), 但差异不显著($P < 0.05$)。



CK, 不施氮; OF_1 , 常规施氮 600 kg/hm²; OF_2 , 减量施氮 300 kg/hm²; OF_3 , 减量施氮 300 kg/hm² + 增施腐植酸 150 kg/hm²; OF_4 , 施腐植酸 300 kg/hm²。下同。

CK, no nitrogen; OF_1 , conventional nitrogen 600 kg/hm²; OF_2 , reduced nitrogen 300 kg/hm²; OF_3 , reduced nitrogen 300 kg/hm² + increased humic acid 150 kg/hm²; OF_4 , humic acid 300 kg/hm². The same below.

图 1 不同处理下海岛棉 LAI 变化特征

Fig. 1 Characteristics of changes in leaf area index of island cotton under different treatments

2.2 减氮配施腐植酸对海岛棉群体 PAR 截获率的影响

由图 2 可知, 全生育期海岛棉群体 PAR 截获率随着生育期的推进呈现先增加后降低的趋势, 各处理间存在差异, CK 的 PAR 截获率均低于 OF_1 、 OF_2 、 OF_3 、 OF_4 。除蕾期外, OF_3 的 PAR 截获率均高于

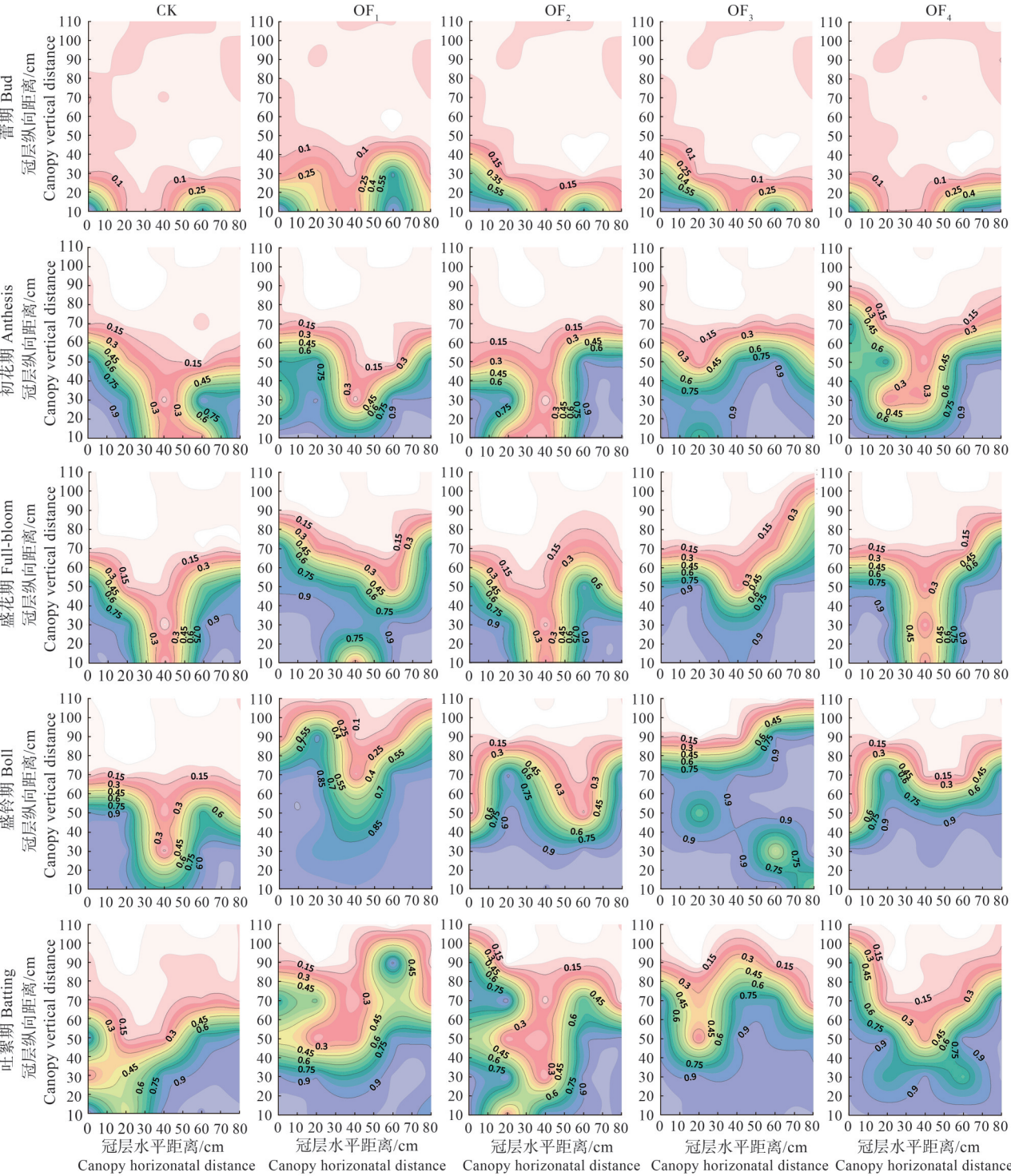


图2 不同处理海岛棉冠层PAR截获率的变化特征

Fig.2 Comparison of photosynthetically active radiation in cotton canopy under different treatments

CK、OF₂、OF₄。盛铃期,垂直距离20—40 cm、水平距离40 cm处,CK的PAR截获率在0.30~0.90,OF₁的PAR截获率在0.85~0.90,OF₂的PAR截获率在0.60~0.90,OF₃的PAR截获率保持在0.90左

右,OF₄的PAR截获率在0.60~0.90。盛铃期的PAR截获率由高到低表现为OF₃>OF₁>OF₂>OF₄>CK。与单纯减氮施肥(OF₂)相比,减氮配施腐植酸(OF₃)可显著提高海岛棉群体PAR截获率。

2.3 减氮配施腐植酸对海岛棉叶片 SPAD 的影响

由图 3 可知,全生育期各处理的海岛棉 SPAD 均呈现先降低后上升的趋势,最小值出现在初花期,吐

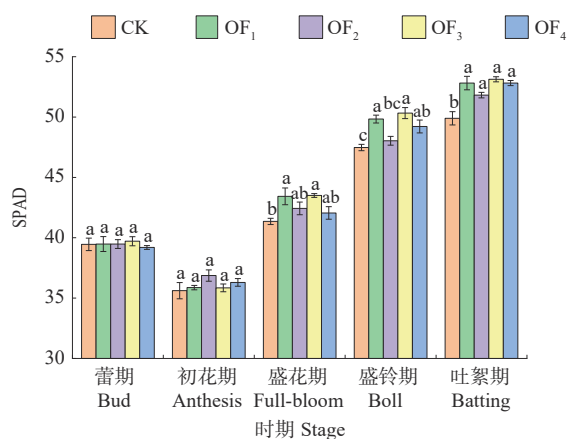


图 3 不同处理海岛棉叶片 SPAD 变化

Fig. 3 The leaf SPAD variation characteristics of island cotton under different treatments

絮期达到最大值。蕾期与初花期的海岛棉 SPAD 无显著差异,随着生育时期的推进,各处理间呈现较大差异。OF₃的盛花期、盛铃期和吐絮期 SPAD 比 CK 分别升高 5.20%、6.00%、6.48%;比 OF₁分别升高 0.17%、0.99%、0.59%;比 OF₂分别升高 2.53%、4.77%、2.53%。OF₄的盛花期、盛铃期和吐絮期 SPAD 比 CK 分别升高 1.69%、3.67%、5.85%,其中盛铃期和吐絮期各处理均表现为 OF₃>OF₁>OF₄>OF₂>CK。表明单纯减少氮肥施用量的情况下,不利于海岛棉叶片 SPAD 的提升,而在减氮基础上配施腐植酸有利于增加海岛棉叶片 SPAD。

2.4 减氮配施腐植酸对海岛棉光合特性的影响

由图 4 可知,全生育期各处理的海岛棉叶片 P_n 呈单峰曲线状,均在盛铃期达到峰值,吐絮期时迅速降低。且随着生育时期的推移,海岛棉植株的 P_n 在不同生育阶段表现出差异,从蕾期到盛铃期, P_n 的差异逐渐增大,达到最大值,在吐絮期又有所减小。在盛铃

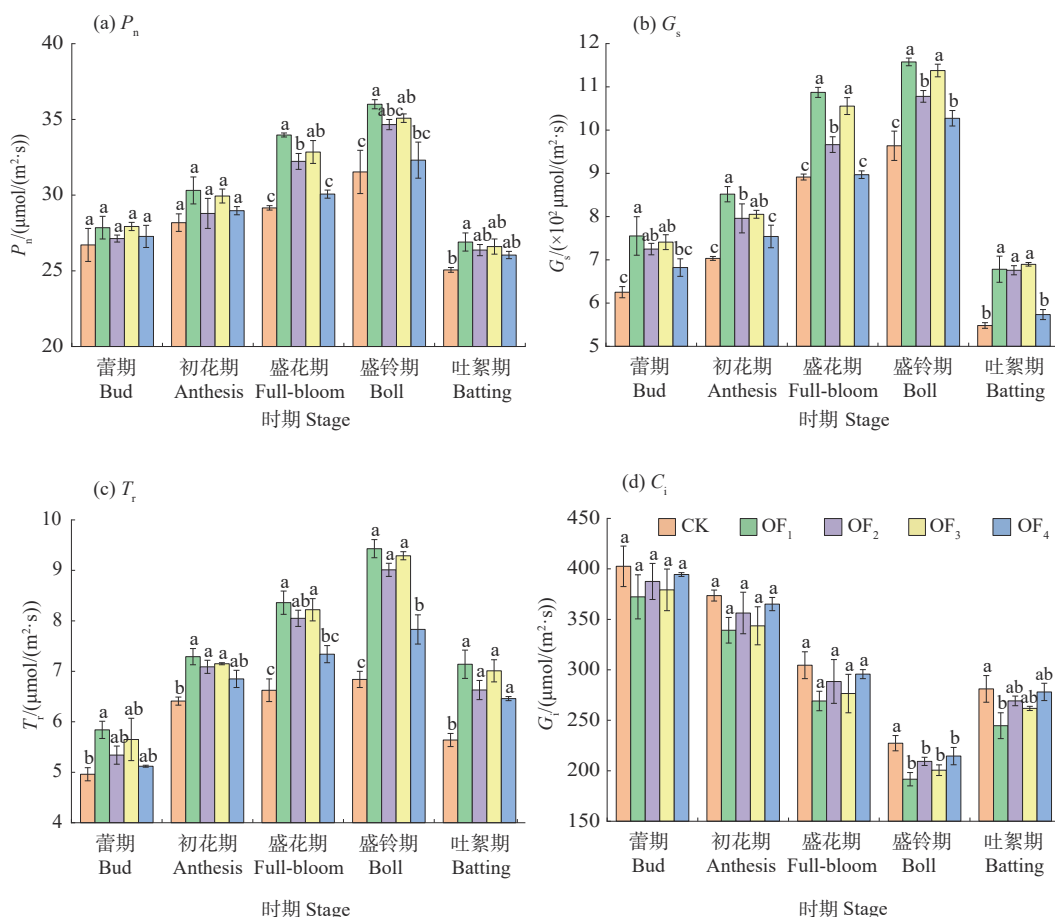


图 4 不同处理海岛棉光合特性的比较

Fig. 4 Comparison of photosynthetic characteristics of cotton under different treatments

期,CK、OF₂、OF₃、OF₄的海岛棉叶片 P_n 分别比OF₁降低14.18%、3.87%、2.62%、11.42%,但OF₁与OF₃无显著差异($P<0.05$)。全生育期各处理海岛棉叶片 G_s 呈现先升高后降低的趋势,但其增长和降低的速率较为缓慢。在盛铃期,OF₁的 G_s 比CK、OF₂、OF₃、OF₄分别升高20.13%、7.39%、1.75%、12.69%。全生育期各处理海岛棉叶片 T_r 整体变化趋势与 G_s 一致,在盛铃期达最大值。盛铃期OF₁的海岛棉叶片 T_r 比CK、OF₂、OF₃、OF₄分别升高37.87%、4.66%、1.51%、20.43%。全生育期海岛棉叶片 C_i 呈现先降低后升高的趋势,在盛铃期各处理的 C_i 差异达到最大。在盛铃期,OF₁的 C_i 相比CK、OF₂、OF₃、OF₄分别降低18.61%、9.22%、4.64%、11.95%。同一生育期内,各处理 P_n 、 G_s 、 T_r 由高到低均表现为OF₁>OF₃>OF₄>OF₂>CK,而各处理的

C_i 由高到低呈相反顺序。虽然,减氮增施腐植酸(OF₃)没有显著提高海岛棉光合特性,但其光合指标优于不施肥(CK)和氮肥减半处理(OF₂)。可见,单纯减施氮肥使海岛棉的 P_n 、 G_s 和 T_r 均表现降低;在相同氮肥水平下,配施腐植酸可以显著提高海岛棉的 P_n 、 G_s 和 T_r ,同时降低 C_i 。

2.5 减氮配施腐植酸对海岛棉干物质积累的影响

由图5可知,在盛花前各处理海岛棉干物质总积累量差异较小,但盛花以后,各处理海岛棉地上部分干物质质量迅速积累。在盛花期、盛铃期和吐絮期时,OF₃干物质总量高于其他处理,且干物质质量总量由高到低为OF₃>OF₁>OF₄>OF₂>CK;吐絮期OF₃分别比CK、OF₁、OF₂、OF₄高为28.75%、5.33%、20.57%、15.06%。可见,减氮配施腐植酸可有效提高海岛棉的干物质积累。

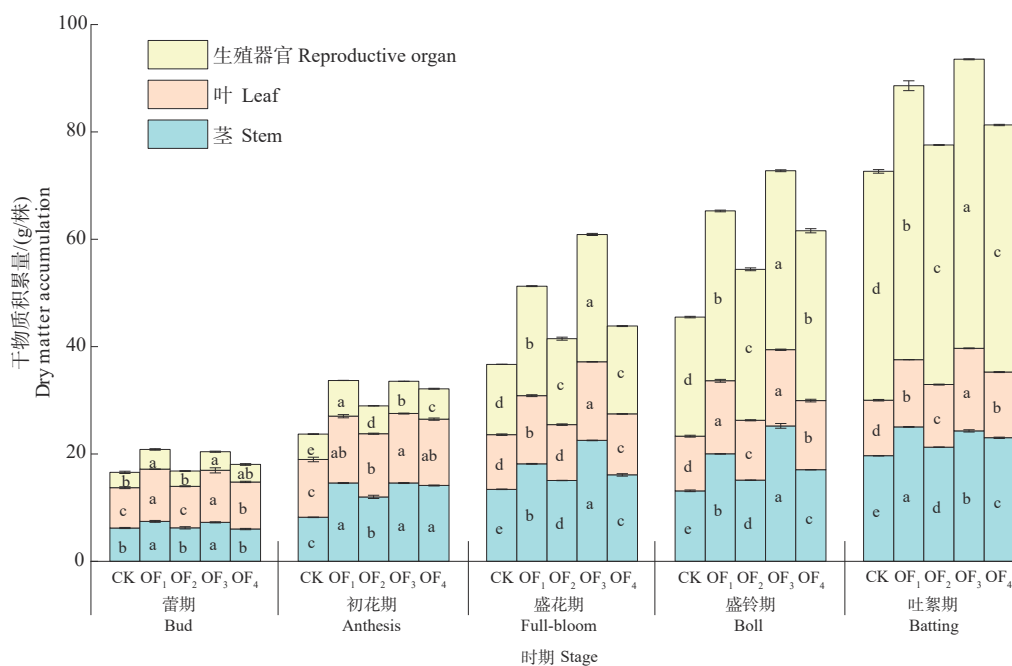


图5 不同生育时期各处理海岛棉干物质积累与分配的动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of dry matter accumulation and distribution in cotton in different growth periods

由表2可知,Logistic生长曲线方程的系数(R^2)均 ≥ 0.96 ,说明该方程能够较为准确的拟合海岛棉干物质积累特征。减氮配施腐植酸可以使海岛棉植株干物质积累提前进入快速积累期(t_1),OF₃分别比CK、OF₁、OF₂、OF₄的 t_1 提前13、4、10、6 d。OF₃的速度特征值(v_m)和生长特征值(GT)均显著高于其他处理,OF₃的 v_m 分别比CK、OF₁、

OF₂、OF₄高出71.91%、25.41%、57.73%、40.37%,GT分别比CK、OF₁、OF₂、OF₄高出17.12%、2.67%、12.44%、9.71%。表明减氮配施腐植酸能够使干物质积累量和生长速率达到最大值。此外,OF₃的时间特征值(Δt)最小,表明该处理干物质积累强度大。综上,各处理群体最大干物质积累量(y)由高到低为OF₃>OF₁>OF₄>

表 2 不同处理群体干物质积累回归方程

Table 2 Regression equation of dry matter accumulation in different treatment groups

处理 Treatment	回归方程 Regression equation	R^2	$v_m/(g/d)$	t_0/d	t_1/d	t_2/d	$\Delta t/d$	GT
CK	$y=78.67/(1+e^{(3.64-0.05t)})$	0.98	0.89	80	51	109	58	51.80
OF ₁	$y=89.73/(1+e^{(3.84-0.05t)})$	0.97	1.22	71	46	95	48	59.09
OF ₂	$y=81.95/(1+e^{(3.63-0.05t)})$	0.98	0.97	77	49	105	56	53.96
OF ₃	$y=92.14/(1+e^{(4.46-0.07t)})$	0.96	1.53	67	47	87	40	60.67
OF ₄	$y=83.97/(1+e^{(3.81-0.05t)})$	0.98	1.09	73	48	99	51	55.30

OF₂>CK,说明单纯减少氮肥施用量会降低 y 和 GT。然而,在减少氮肥施用量的基础上配施腐植酸,能提高群体 y 和 GT,同时促进棉花快速生长发育。

2.6 减氮配施腐植酸对海岛棉产量及其构成因素的影响

由表 3 可知,减氮配施腐植酸对海岛棉产量有显著影响,OF₃的籽棉产量为 6 683.41 kg/hm²,分别比 CK、OF₁、OF₂、OF₄高 40.59%、6.31%、14.70%、

20.89%,单铃重以 OF₃最大,但各处理间差异不显著。OF₃收获株数分别比 CK、OF₁、OF₂、OF₄高 16.59%、1.46%、2.97%、7.06%;衣分分别比 CK、OF₁、OF₂、OF₄高 7.32%、0.97%、3.99%、4.02%;单株结铃数较 CK、OF₂、OF₄分别高 14.58%、7.38%、10.31%,比 OF₁低 0.56%,但无显著差异($P<0.05$)。因此,减氮配施腐植酸可显著提高海岛棉收获株数、单株结铃数和衣分,从而显著提升海岛棉产量。

表 3 不同处理下产量及产量构成因素的比较

Table 3 Comparison of yield and yield components under different treatments

处理 Treatment	收获株数/(10 ⁴ /hm ²) Number of harvested plants	单株结铃数 Number of bolls per plant	单铃重/g Single boll weight	衣分/% Fiber yield	籽棉产量/(kg/hm ²) Seed cotton yield	皮棉产量/(kg/hm ²) Lint yield
CK	20.80 ^c	7.75 ^c	2.95 ^a	31.84 ^c	4 753.68 ^d	1 513.65 ^d
OF ₁	23.90 ^{ab}	8.93 ^a	3.07 ^a	33.84 ^{ab}	6 286.88 ^b	2 127.17 ^b
OF ₂	23.55 ^{ab}	8.27 ^b	2.99 ^a	32.86 ^{bc}	5 826.77 ^c	1 914.55 ^c
OF ₃	24.25 ^a	8.88 ^a	3.10 ^a	34.17 ^a	6 683.41 ^a	2 284.44 ^a
OF ₄	22.65 ^b	8.05 ^{bc}	3.05 ^a	32.85 ^{bc}	5 528.63 ^c	1 817.03 ^c

3 讨 论

3.1 减氮配施腐植酸对海岛棉冠层结构和冠层 PAR截获率的影响

氮肥过量会导致植株叶片茂密生长,冠层过于密集,减少生殖器官养分分布,限制果实发育;氮肥施用不足会导致作物冠层结构的稀疏化,影

响 LAI、光能吸收力和作物生长发育的正常进行^[18]。徐海东^[19]研究表明,与传统施肥方式相比,减氮配施有机肥有助于提高棉花冠层 LAI,增加叶片吸收光能,减少光能损失,从而促进棉花的生长发育。魏庆薪等^[20]研究表明,调整大量元素肥料用量是提高 PAR 截获率和籽粒产量的有效途径,在一定范围内增加施氮量能够显著提高小麦

冠层PAR截获率。马云珍等^[16]的研究认为,适宜的施氮量可以获得较高的PAR截获率,优化棉花群体冠层结构。本试验研究结果与其基本一致,单纯减少氮肥和单纯施用有机肥都会导致海岛棉冠层LAI降低,而减氮配施腐植酸能保持海岛棉较高的冠层LAI,相较于常规施氮能提高0.45%~2.79%。与单施化肥和单施腐植酸相比,减氮配施腐植酸能增加海岛棉群体PAR截获率,盛铃期在垂直距离70 cm处PAR截获率可达0.9。

3.2 减氮配施腐植酸对海岛棉光合作用的影响

光合作用在作物生长发育和产量形成中起着至关重要的作用,是作物获取能量和累积生物量的关键过程^[21]。叶绿素作为光合作用的重要因子,能够将光能转化为化学能,从而促进光合作用的进行^[22]。李智等^[22]研究表明,保持适宜的氮素水平对于维持棉花叶绿素含量的平衡和作物健康生长至关重要。光合速率与光合产物的积累呈正相关关系,光合速率的高低直接影响了植物光合产物的数量和质量^[24-25]。本试验结果表明,随着施氮量的减少,海岛棉叶片SPAD显著降低,配施腐植酸可显著提高海岛棉叶片SPAD,这与段连学等^[26]对燕麦增施有机肥的研究结果一致。但本研究中海岛棉SPAD的变化与秦宇坤等^[27]的研究存在一定差异,原因可能是初花期高温干旱引起的土壤含水量显著降低,影响了叶绿素的合成和含量。此外,赵菁婉等^[28]研究表明,适宜浓度的腐植酸可以促进草莓子苗的光合作用。本试验结果表明,与单纯减氮(OF₂)和单施腐植酸(OF₄)相比,减氮配施腐植酸处理(OF₃)可显著提高海岛棉 P_n 、 T_r 、 G_s ,降低 C_i ,有利于海岛棉合成有机物。但该处理的光合速率略低于常规量施肥处理(OF₁),二者无显著差异,这与长绒棉叶片对光的敏感程度和光化学效率有关,或者受干物质转运影响,导致各处理海岛棉光能吸收和干物质累积速率不一致^[29-30]。

3.3 减氮配施腐植酸对海岛棉干物质积累和产量形成的影响

氮肥的施用能够影响作物干物质积累与作物产量^[31],减氮配施腐植酸能够促进作物营养和生殖器官生长,同时可以增加干物质的积累量和棉花产量^[32]。范开伦等^[33]研究表明,在腐植酸肥料替代传统复合肥棉花试验中,腐植酸肥料处理有

较大的增产和增收潜力,较不施肥对照增产23.26%。本试验研究表明,与单纯减少氮肥和单纯施用有机肥相比,减氮配施腐植酸可显著提高海岛棉收获株数、单株结铃数、单铃重和衣分,从而达到产量的提升,这与蒋阿宁等^[34]的研究结果基本一致。在Logistics拟合方程中,氮肥增加可使干物质前期快速积累,减氮配施有机肥则使得干物质高强度积累期提前,速度特征值和生长特征值显著升高。施用腐植酸能够有效促进作物的生长发育,对产量的提高有积极作用,这与哈丽哈什·依巴提等^[35-37]研究结果一致。本试验设置的减氮和配施腐植酸用量梯度较大,考虑到生产以及推广的便捷性,不利于选择最优的施肥比例,今后可缩小减氮和配施腐植酸的梯度跨度,以便更准确地评估减氮配施腐植酸的优劣势,确定更精准的配施比例。

4 结 论

减氮配施腐植酸可显著提高新疆南疆地区海岛棉LAI和SPAD,优化冠层结构,增加海岛棉群体光截获,保持较高光合速率的同时增加干物质积累,进而获得最高产量(6 683.41 kg/hm²)。因此,在新疆海岛棉主产区,减量施氮300 kg/hm²+腐植酸150 kg/hm²的施肥方式,有利于海岛棉植株光合能力的增强、光合产物的积累和产量的提升。

参考文献 References

- [1] 赵君红,李惠军.长绒棉纤维性能与成纱质量关系的研究[J].新疆大学学报:自然科学版,2015,32(2):245-247,252
Zhao J H, Li H J. Study on the relationship between the performance of long-staple cotton fiber and yarn quality [J]. *Journal of Xinjiang University: Natural Science Edition*, 2015, 32 (2): 245-247, 252 (in Chinese)
- [2] 廖若星,胡云,蒲甜,陈国鹏,梁冰,封亮,杨文钰,王小春.密度与氮素互作对带状套作玉米产量的影响[J].中国农业大学学报,2023,28(12):25-38
Liao R X, Hu Y, Pu T, Chen G P, Liang B, Feng L, Yang W Y, Wang X C. Effect of density and nitrogen interaction on the yield of maize in maize-soybean relay strip intercropped maize [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(12): 25-38(in Chinese)
- [3] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China-Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63: 117-127
- [4] 玛衣拉·吐尔逊,南祺娜依·尤力瓦斯,阿斯亚·托乎提.农户过量施用化肥行为的影响因素分析:以新疆棉花种植户为例[J].棉花学报,2016,28(6):619-627

- Mayila T E X, Puqinayi Y L W S, Asiya T H T. Analysis of influencing factors of farmers' excessive application of chemical fertilizer: A case study of cotton farmers in Xinjiang [J]. *Cotton Journal*, 2016, 28(6): 619-627 (in Chinese)
- [5] 安保军. 新型尿素行业发展与嘉康新型尿素技术开发[C] // 全国第 22 届新型肥料技术及新工艺推介研讨会论文集. 上海: 中国化工学会全国化肥工业信息总站, 2017
- An B J. New urea industry development and jiakang new urea technology development [C] In: The 22nd national seminar on new fertilizer technology and new process promotion. National chemical fertilizer industry information station, Chemical Industry Society of China, 2017 (in Chinese)
- [6] 孙新展. 不同种植模式对缓解棉花连作障碍的化感作用机制[D]. 石河子: 石河子大学, 2018
- Sun X Z. Allelopathy mechanism of different planting patterns on alleviating cotton continuous cropping obstacles of cotton [D]. Shihezi: Shihezi University, 2018 (in Chinese)
- [7] 石丽红, 李超, 唐海明, 文丽, 李微艳, 肖小平, 程凯凯, 刘曲, 程爱武. 长期施肥方式对双季稻根系生理特性与产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(9): 18-29
- Shi L H, Li C, Tang H M, Wen L, Li W Y, Xiao X P, Cheng K K, Liu Q, Cheng A W. Effects of different long-term fertilizer management on physiological characteristic of root and yield of rice in double-cropping rice paddy field [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(9): 18-29 (in Chinese)
- [8] 袁天佑. 减氮配施腐植酸对冬小麦夏玉米轮作系统的增产效应及机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017
- Yuan T Y. Effect and mechanism of nitrogen reduction combined with humic acid on yield increase of winter wheat and summer maize rotation system [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [9] 欧杨虹, 徐阳春, 沈其荣. 有机氮部分替代无机氮对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1): 106-111
- Ouyang H, Xu Y C, Shen Q R. Effect of combined use of organic and inorganic nitrogen fertilizer on rice yield and nitrogen use efficiency [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 25(1): 106-111 (in Chinese)
- [10] 赖波, 董巨河, 单娜娜, 阿曼古丽·艾孜孜, 汤明尧, 买吾兰·马合木提. 新疆腐植酸资源的区域差异及分布特征[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(4): 625-630
- Lai B, Dong J H, Shan N N, Amanguli A Z Z, Tang M Y, Maiwulan M H M T. Regional differences and distribution characteristics of organic fertilizer source in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012, 49(4): 625-630 (in Chinese)
- [11] 李芳汀, 骆璐, 孙伟, 刘凤珍, 万勇善, 谷明轩, 张昆. 活性腐植酸肥对花生叶片光合特性及产量的影响[J]. 花生学报, 2023, 52(4): 40-46
- Li F T, Luo L, Sun W, Liu F Z, Wan Y S, Gu M X, Zhang K. Effects of active humic acid fertilizer on the photosynthetic characteristics and yield peanut [J]. *Journal of Peanut Science*, 2023, 52(4): 40-46 (in Chinese)
- [12] 胡娜, 袁天佑, 闫军营, 孙笑梅. 腐植酸与化肥配施对冬小麦光合特性的影响[J]. 河南农业, 2021(19): 18
- Hu N, Yuan T Y, Yan J Y, Sun X M. Effect of humic acid combined with chemical fertilizer on the photosynthetic characteristics of winter wheat [J]. *Agriculture of Henan*, 2021(19): 18 (in Chinese)
- [13] 胡慧慧, 郭伟, 韦娜, 邢力文. 化肥减量配施腐植酸对土壤特性、玉米植株养分含量及其干物质积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(1): 232-240
- Hu H Y, Guo W, Wei N, Xing L W. Effects of fertilizer reduction and humic acid application on soil characteristics, nutrient content and dry matter accumulation in maize plants [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2024, 52(1): 232-240 (in Chinese)
- [14] 林涛, 汤秋香, 郝卫平, 吴凤全, 雷蕾, 严昌荣, 何文清, 梅旭荣. 地膜残留量对棉田土壤水分分布及棉花根系构型的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 117-125
- Lin T, Tang Q X, Hao W P, Wu F Q, Lei L, Yan C R, He W Q, Mei X R. Effects of plastic film residue rate on root zone water environment and root distribution of cotton under drip irrigation condition [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(19): 117-125 (in Chinese)
- [15] 吴凤全, 林涛, 陈兵林, 周治国, 赵文青, 陈利军, 汤秋香. 密度和灌溉量互作对 76 cm 等行距机采棉产量及水分利用效率的影响[J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(5): 833-840
- Wu F Q, Lin T, Chen B L, Zhou Z G, Zhao W Q, Chen L J, Tang Q X. The impact of interaction between density and irrigation volume on yield of machine-harvested cotton with 76 cm equivalent row spacing and water use efficiency [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2021, 44(5): 833-840 (in Chinese)
- [16] 马云珍, 董合林, 李玲, 李鹏程, 郑苍松, 李春梅, 万素梅, 徐文修, 王芳, 张娜. 连续定点定量施氮对棉花花铃期冠层光分布及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58(7): 1236-1245
- Ma Y Z, Dong H L, Li L, Li P C, Zheng C S, Li C M, Wan S M, Xu W X, Wang F, Zhang N. Effects of continuous fixed-point and quantitative nitrogen application on canopy light distribution and yield of cotton in blossing and boll-forming stages [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2021, 58(7): 1236-1245 (in Chinese)
- [17] 师晶晶, 兰慧青, 张向前, 路战远, 步恒通, 白东星, 程玉臣, 杜香玉, 王满秀, 陈宣伊. 滴灌量对耐密宜机收玉米干物质积累分配及产量形成的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(9): 1-8
- Shi J J, Lan H Q, Zhang X Q, Lu Z Y, Bu H T, Bai D X, Cheng Y C, Du X Y, Wang M X, Chen X Y. Influence of drip irrigation on dry matter distribution and yield formation of the grains of densely planted maize [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2023, 42(9): 1-8 (in Chinese)
- [18] 彭增莹, 申莹莹, 段松江, 吴一帆, 李奈润, 郭仁松, 张巨松. 化学调控对不同施氮量棉花冠层结构及产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(7): 177-186
- Peng Z Y, Shen Y Y, Duan S J, Wu Y F, Li Z R, Guo R S, Zhang J S. Effect of chemical regulation on canopy structure and yield of cotton with different nitrogen amounts [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(7): 177-186 (in Chinese)
- [19] 徐海东. 液态有机肥与尿素氮配施对棉花生理特性及产量形成的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017
- Xu H D. Effects of liquid organic fertilizer combined with urea nitrogen on physiological characteristics and yield formation of cotton [D]. Urumchi: Xinjiang Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [20] 魏庆薪, 于振文, 张永丽, 石玉. 氮磷钾用量对小麦冠层不同层次光截获和干物质分配的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(11): 1351-1356
- Wei Q X, Yu Z W, Zhang Y L, Shi Y. Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer rates on light interception and dry matter distribution at different layers in wheat canopy [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(11): 1351-1356 (in Chinese)

- [21] 陈俊英,陈硕博,张智韬,付秋萍,边江,崔婷. 无人机多光谱遥感反演花蕾期棉花光合参数研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(10): 230-239
Chen J Y, Chen S B, Zhang Z T, Fu Q P, Bian J, Cui T. Investigation on photosynthetic parameters of cotton during budding period by multi-spectral remote sensing of unmanned aerial vehicle [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(10): 230-239 (in Chinese)
- [22] 李智,王宏富,王钰云,杨净,鱼冰星,黄珊珊. 谷子大豆间作对作物光合特性及产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(6): 168-175
Li Z, Wang H F, Wang Y Y, Yang J, Yu B X, Huang S S. Impact of millet and soybean intercropping on their photosynthetic characteristics and yield of crops [J]. *Chinese Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(6): 168-175 (in Chinese)
- [23] 杜珊珊,罗静,姚青青,孙绘健,何忠盛,王东力. 不同追施氮肥量对南疆陆地棉 SPAD 值及干物质积累与分配的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(4): 1-6
Du S S, Luo J, Yao Q Q, Sun H J, Hen Z S, Wang D L. Effects of nitrogen fertilizer topdressing rates on SPAD value and dry matter accumulation and distribution of upland cotton in southern Xinjiang [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 39(4): 1-6 (in Chinese)
- [24] 平文超,石学萍,蒋建勋,赵光辉,刘贞贞,曹平平,薛文,张永江,王长安,王安录,张忠波. 盐碱旱地减氮增施叶肥对棉花光合特性产量和品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(11): 1971-1978
Ping W C, Shi X P, Jiang J X, Zhao G H, Liu Z Z, Cao P P, Xue W, Zhang Y J, Wang C A, Wang A L, Zhang Z B. Effects of reduced nitrogen and increased leaf fertilizer application on photosynthetic characteristics, yield and quality of cotton in saline-alkali dryland [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 57(11): 1971-1978 (in Chinese)
- [25] 陈静,刘连涛,孙红春,张永江,王占彪,李存东. 氮素水平对棉花幼苗生长和光合特性的影响[J]. 棉花学报, 2013, 25(5): 403-409
Chen J, Liu L T, Sun H C, Zhang Y J, Wang Z B, Li C D. Effects of nitrogen concentrations on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedling growth and photosynthetic characteristics of cotton [J]. *Cotton Science*, 2013, 25(5): 403-409 (in Chinese)
- [26] 段连学,马祥,琚泽亮,刘凯强,何纪桐,贾志峰. 减氮配施有机肥对‘青海甜燕麦’光合特性和产量的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(2): 471-477
Duan L X, Ma X, Ju Z L, Liu K Q, He J T, Jia Z F. Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of *Avena sativa* ‘Qinghai’ [J]. *Acta Agritech Sinica*, 2022, 30(2): 471-477 (in Chinese)
- [27] 秦宇坤,陈俊英,江洪,赵丽娟. 减施氮肥对棉花叶片光合特性、氮素含量及产量的影响[J]. 亚热带农业研究, 2024, 20(1): 15-22
Qin Y K, Chen J Y, Jiang H, Zhang L J. Effects of nitrogen fertilizer reduction on photosynthetic characteristics, nitrogen content and yield of cotton [J]. *Journal of Subtropical Agriculture Research*, 2024, 20(1): 15-22 (in Chinese)
- [28] 赵菁婉,张彦萍,刘海河,朱立保,范中艺,杨志桃. 外源腐植酸对草莓种苗繁育、光合特性及氮代谢的影响[J]. 河北农业大学学报, 2023, 46(6): 46-51
Zhao J W, Zhang Y P, Liu H H, Zhu L B, Fan Z Y, Yang Z T. Effects of exogenous humic acid breeding, photosynthetic characteristics and nitrogen metabolism of strawberry [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2023, 46(6): 46-51 (in Chinese)
- [29] 陆燕元,潘立. 两种土壤条件下山杨幼苗不同叶位叶片适应干旱胁迫的光合特性分析[J]. 山西农业大学学报:自然科学版, 2023, 43(1): 119-126
Lu Y Y, Pan L. The effects of soil type on photosynthetic characteristics of different leaf-position of potted *Populus-Tremuloides* under drought stress [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University; Natural Science Edition*, 2023, 43(1): 119-126 (in Chinese)
- [30] 理娜,王培,PEGGY Cellya Angue Edou,林思祖,陈宇. 不同叶龄杉木叶片形态及光合特性分析[J]. 亚热带农业研究, 2018, 14(3): 167-171
Li N, Wang P, Peggy C A E, Lin S Z, Chen Y. Leaf morphology and photosynthetic characteristics at different leaf ages in Chinese fir [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2018, 14(3): 167-171 (in Chinese)
- [31] 唐江华,苏丽丽,徐文修,孟令贻,王晨,田文强,张俊尧,王家勇. 氮肥减施对棉花产量、干物质生产与氮素吸收利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(2): 86-95
Tang J H, Su L L, Xu W X, Meng L Y, Wang C, Tian W Q, Zhang J Y, Wang J Y. Effects of nitrogen fertilizer reduction on cotton yield, dry matter production and nitrogen uptake and utilization [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2023, 41(2): 86-95 (in Chinese)
- [32] 王文军,蔡勇,陈奇凌,郑强卿,王晶晶,支金虎,王振东. 不同模式下整形方式对骏枣养分运转分配过程中光合特性的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(1): 112-119
Wang W J, Cai Y, Chen Q L, Zheng Q Q, Wang J J, Zhi J H, Wang Z D. Effects of different shaping methods in different modes on photosynthetic characteristics of *Ziziphus jujuba* cv *junzao* during nutrient transport and distribution [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2020, 57(1): 112-119 (in Chinese)
- [33] 范开伦,李明昊. 腐植酸肥料在棉花生产中增产试验报告[J]. 湖北植保, 2022(1): 43-44, 48
Fan K L, Li M H. Experimental report on yield increase of humic acid fertilizer in cotton production [J]. *Hubei Plant Protection*, 2022(1): 43-44, 48 (in Chinese)
- [34] 蒋阿宁,高聚林,管建慧,王志刚. 变量施肥对开花后冬小麦冠层光辐射性能及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(1): 255-259
Jiang A L, Gao J L, Guan J H, Wang Z G. Effects of variable nitrogen application on character of light radiation and yield in canopy of winter wheat after anthesis [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28(1): 255-259 (in Chinese)
- [35] 哈丽哈什·依巴提,李青军,张炎. 有机肥氮替代部分化肥氮对棉花养分吸收、氮素利用和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(3): 137-142
Halihashi Y B T, Li Q J, Zhang Y. Effects of organic manure nitrogen replacing chemical fertilizer nitrogen on cotton nutrient uptake, nitrogen utilization efficiency and yield [J]. *Chinese Journal of Soil Science and Fertilizer*, 2019(3): 137-142 (in Chinese)
- [36] 杨龙涛,尚玮瑶,万子龙,杨海兴,张国斌. 化肥减量配施生物有机肥对露地西葫芦产量、品质和养分分配的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2024, 59(2): 64-73
Yang L T, Shang W Y, Wan Z L, Yang H X, Zhang G B. Effects of fertilizer reduction combined with bio-organic fertilizer on yield, quality and nutrient distribution of zucchini in open field zucchini [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2024, 59(2): 64-73 (in Chinese)
- [37] 罗雪梅. 减氮配施有机肥对土壤氮素有效性及棉花生长的影响[D]. 石河子:石河子大学, 2023
Luo X M. Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer application on soil nitrogen availability and cotton growth [D]. Shihezi: Shihezi University, 2023 (in Chinese)

责任编辑:吕晓梅



第一作者简介：周杰闻，硕士研究生，现就读于新疆农业大学农学院农艺与种业专业。参与新疆维吾尔自治区重点研发计划(2022B02009-2)。2022 和 2023 年获得新疆维吾尔自治区奖学金。



通讯作者简介：汤秋香，博士、新疆农业大学农学院副院长、教授，博士生导师。主要从事农田生态环境、作物高产栽培等科研及教学工作。主持国家自然科学基金、自治区基金及校级教研项目 10 余项。发表论文 100 余篇，出版专著、教材 13 部，专利 5 项，标准 4 项。获新疆维吾尔自治区科技进步二等奖 3 项，中国农业科学院杰出科技创新奖 1 项，新疆维吾尔自治区自然科学优秀论文三等奖 1 项等。获全国第二届教学创新大赛新疆维吾尔自治区二等奖、全国教学创新大赛校赛二等奖 2 项。



通讯作者简介：郭仁松，新疆农业科学院经济作物研究所研究员，主要从事棉花高产栽培生理生态与耕作及产业化研究，担任新疆维吾尔自治区棉花学会第二届理事会理事。主持、参与国家重点研发计划、新疆维吾尔自治区重点研发计划等各类项目近 20 项。入选新疆维吾尔自治区“天山英才”计划第三期培养人选。获新疆维吾尔自治区科技进步一、二等奖各 1 项，获得国家发明专利 8 项，实用新型专利 2 项；参与选育棉花新品种 7 个(其中长绒棉 3 个)；获得新品种保护权 1 项；制定新疆维吾尔自治区地方标准 8 项；编写专著 3 部，在核心期刊发表学术论文 20 余篇。