

干旱区水氮调控对棉花根、冠生长特性及产量的影响

邓忠, 翟国亮, 宗洁, 吕谋超*, 李迎, 冯俊杰, 蔡九茂, 张文正

(中国农业科学院农田灌溉研究所/河南省节水农业重点实验室, 河南 新乡 453002)

摘要: 为了探明水分和氮素对棉花生长发育的影响, 设置了3个灌溉水量和4个施氮量, 研究了棉花生育时期地下(根)和地上部分(冠)的生长特性, 揭示了水氮调控对棉花根、冠生长以及产量的影响效应。试验结果表明: 不同生育时期, 灌溉水量为 $3\ 900\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时能提高棉花叶片光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、叶绿素SPAD值和水分利用效率(WUE)。随着施氮量的增加, 棉花根系干物质量呈先增加后降低而地上部分干物质量呈逐渐增加的趋势, 在不同灌溉水量下, 施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花各生育期根系干物质量均达到最大, 但棉花根冠比呈逐渐降低的趋势, 且随着灌溉水量的增加棉花根冠比也呈降低趋势。水分亏缺($W_{3\ 300}$ 处理)有利于棉花根冠比的增大, 但显著降低了棉花光合参数(Pn、Tr)、叶绿素SPAD值和WUE。在本试验条件下, 当灌溉水量为 $3\ 900\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花株高适宜(79 cm左右), 有效铃数和单铃重较高, 较 $W_{3\ 300}$ 处理和 $W_{4\ 500}$ 处理有效铃数分别增加1.0、0.4个·株⁻¹, 单铃重增加0.16、0.09 g, 产量提高8.35%、4.62%, 衣分增加1.4%、0.7%, 棉花适宜的根冠比为0.111。

关键词: 水氮调控; 膜下滴灌棉花; 根冠比; 产量

中图分类号: S275.6; S143.1; S562

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2015)06-0057-08

水肥是农业生产投入中可调控的两大因素, 在北方干旱地区, 灌水和施肥等因素对大田作物产量及经济效益起着决定性的作用^[1-2]。膜下滴灌技术把地膜栽培与滴灌技术结合在一起, 以其先进的节水、节能、增产、增效和改善作物品质等优点^[3-4]为棉花生产技术开辟了一条新的道路。以新疆膜下滴灌棉花为典型, 其种植面积、产量和品质均处于全国领先, 是著名的棉花高产地区之一。但是, 目前膜下滴灌棉田棉花早衰现象严重, 水氮调控不当而引起早衰或产量下降是当前水肥管理面临的主要问题之一^[5]。

根冠比是反映作物干物质协调积累状况的重要指标^[6-7]。在干旱条件下, 作物根冠比会增大, 但根冠比的增加会导致根系冗余, 最终限制地上部分的生长。在水分和养分充足条件下往往会使根冠比过低, 最终同样会限制地上部分生长, 导致作物减产。因此, 协调根冠生长是提高作物产量的基础^[8]。田间水分条件的改变会影响干物质在根冠间的分配模式。闫映宇

等^[9]研究表明, 在棉花各生育时期, 水分亏缺对地上部生长的限制大于根系, 会增大根冠比, 水分过量会促进棉花地上部分营养器官的旺盛生长, 减小根冠比, 适宜的水分可以协调棉花根冠生长, 维持适宜的根冠比。氮素营养对植物根冠比有显著的调控作用, 氮素缺乏会导致地上部分生长受阻而使根冠比增大, 过量氮素供应则会使地上部分过度生长而抑制根系的发育, 并最终影响地上部分生长, 导致作物产量下降。因此, 合理施氮对于协调根冠生长, 提高作物产量具有显著的促进作用^[10-11]。

关于棉花生产中水氮用量问题, 前人已从不同的角度进行了研究, 如水氮的适宜用量^[12]、灌水次数及灌水间隔时间^[13], 氮肥追施效应研究^[14]等, 为合理的水氮管理提供了科学依据。但上述研究大多集中于棉花水氮利用效率和产量的研究, 关于水氮用量对调节棉花根冠生长和产量效应的系统研究还较少。本文设置不同的灌溉水量和施氮量, 研究了水氮因素对棉花根冠生长和产量的影响, 为大田棉花膜下滴灌水氮管理提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在新疆巴音郭楞蒙古自治州水利管理处重

收稿日期: 2015-04-02; 最后修订日期: 2015-04-27

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201203031-03, 201203003); 国家科技支撑计划项目(2012BAD20B02-04)。

作者简介: 邓忠(1976-), 男, 甘肃武威人, 副研究员, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: dengzhong1976@126.com。

通讯作者: 吕谋超, E-mail: 13937381585@163.com。

点灌溉试验站进行。该试验区位于库尔勒市尉犁县, 海拔 892 m, 年降水量 20 ~ 80 mm, 年蒸发量 2 000 ~ 2 500 mm; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 3 950 ~ 4 500 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 180 ~ 215 d; 湿润度小于 0.33, 为纯灌溉农业^[15]。作物生长季节干旱少雨; 光热资源丰富, 主要种植棉花、果树、葡萄等经济作物。试验土壤为荒漠土, 砂壤质地, pH 值 8.50 左右, 有机质含量 12.5 g · kg⁻¹, 全氮 0.84 g · kg⁻¹, 碱解氮 58.7 mg · kg⁻¹, 有效磷 (P) 9.67 mg · kg⁻¹, 速效钾 (K) 139 mg · kg⁻¹。

1.2 试验材料及处理

供试棉花品种为“新陆中 26 号”。宽、窄行播种, 1 膜 4 行, 膜宽 125 cm, 行距为 20 cm + 40 cm + 20 cm, 株距 15 cm, 滴灌带铺在膜中间, 膜间行距 60 cm。试验采用二因素完全随机设计, 根据新疆南疆地区棉田全生育期耗水量研究^[16], 设 3 个灌溉水量: 3 300 m³ · hm⁻² (W₃₃₀₀, 亏缺灌溉)、3 900 m³ · hm⁻² (W₃₉₀₀, 适量灌溉) 和 4 500 m³ · hm⁻² (W₄₅₀₀, 过量灌溉), 根据生育期需水特性共滴水 13 次。4 个施氮量 (N) 为 150 kg · hm⁻² (N₁₅₀)、225 kg · hm⁻² (N₂₂₅)、300 kg · hm⁻² (N₃₀₀) 和 375 kg · hm⁻² (N₃₇₅), 采用压差式施肥罐随水滴施, 根据棉花生育期需肥规律分 7 次施完。播种前磷、钾肥 (300 kg · hm⁻²) 全部作为基肥一次性施入土壤 (P₂O₅: K₂O = 7: 3)。试验共计 12 个处理, 每个处理 3 次重复, 每个小区面积 30 m²。

1.3 测定项目及方法

光合参数: 分别在棉花蕾期、花铃期和吐絮期, 用 Li-6400 光合测定系统于 10: 00 ~ 13: 00 测定功能叶的 (主茎倒 4 叶) 光合速率 (Pn, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和蒸腾速率 (Tr, $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 每处理选择 10 片叶重复 4 次。单叶水分利用效率 (WUE) = Pn/Tr, 单位为 CO₂ $\mu\text{mol} \cdot \text{mmol H}_2\text{O}$ 。

干物质: 分别在棉花蕾期、花铃期和吐絮期, 各处理选外行和内行 3 个样点生长整齐一致的棉株 9 株 (每重复取 3 株), 以子叶节为界, 取地上部分测定干物质量。同时采用大口径土钻取根系, 在棉花行间和行上各取一钻, 以“S”型分布, 每小区取 4 钻, 深度 60 cm, 每 10 cm 一层, 所取根土样装入尼龙网袋进行过滤冲洗, 洗去泥土后移入玻璃器皿再用清水漂洗, 精细除去草根杂物, 分别带回实验室在 105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀青 30 min 后, 于 80 $^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重, 然后称其重量。

叶绿素 SPAD 值: 采用 SPAD-502 叶绿素计在

棉花蕾期、花铃期和吐絮期, 测定棉花功能叶 (打顶前为倒 4 叶, 打顶后为倒 3 叶或倒 2 叶) 的叶绿素 SPAD 值, 每个处理选 5 ~ 8 株 15 片叶, 每叶分别在主脉两侧测定 3 次。

棉花产量: 在采摘棉花前, 每小区选择长势均匀、无明显缺苗的 1 膜 4 行棉花, 以 3 m 为长度计算小区棉花株数, 然后每小区选择有代表性的 15 株棉花测定有效铃数并称单铃重, 最后折算成公顷产量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行相关分析与 One-Way ANOVA 方差分析, 并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 水氮调控对棉花叶片光合特性的影响

由图 1 可以看出, 在不同的水氮条件下, 随着生育期的延长, 棉花叶片光合速率 (Pn) 和蒸腾速率 (Tr) 均表现出先上升后下降的趋势, 各处理在花铃期均达最高, 吐絮期最低。从灌溉处理来看, 蕾期、花铃期、吐絮期不同施氮处理棉花 Pn 平均值表现为 W₃₃₀₀ 处理 < W₄₅₀₀ 处理 < W₃₉₀₀ 处理, W₃₉₀₀ 处理较 W₃₃₀₀ 处理和 W₄₅₀₀ 处理分别增加 12.43%、18.23%、27.93% 和 7.78%、9.19%、11.81%, 各生育期不同施氮处理棉花 Tr 平均值也表现为 W₃₃₀₀ 处理 < W₄₅₀₀ 处理 < W₃₉₀₀ 处理, W₃₉₀₀ 处理较 W₃₃₀₀ 处理和 W₄₅₀₀ 处理分别增加 21.43%、21.21%、34.78% 和 9.68%、11.11%、19.23%, 由此可见, 适量灌溉有助于棉花叶片 Pn 和 Tr 的增加。在不同灌溉水量下, 随着施氮量的增加, 棉花叶片 Pn 和 Tr 均表现为先上升后下降的趋势, 大小顺序为 N₁₅₀ 处理 < N₂₂₅ 处理 < N₃₇₅ 处理 < N₃₀₀ 处理, N₃₀₀ 处理均为最高, 以 W₃₉₀₀ 处理为例, 蕾期 N₃₀₀ 处理较 N₁₅₀ 处理、N₂₂₅ 处理和 N₃₇₅ 处理分别增加 32.14%、8.82% 和 2.78%, 花铃期分别增加 32.35%、15.38% 和 7.14%, 吐絮期分别增加 34.62%、16.67% 和 9.37%。表明适宜的施氮量能够促进棉花叶片 Pn 和 Tr 的提高, 促进光合作用, 增加干物质的积累。从图 1 中还可以看出, W₃₃₀₀ 处理棉花叶片 Pn 和 Tr 均最低, 但 W₃₉₀₀ 处理和 W₄₅₀₀ 处理的 Pn 降低程度显著高于 Tr, 说明合理的灌溉水量对棉花光合速率起着重要的作用, 土壤水分亏缺导致棉花叶片叶绿体的水分供给减少, 由于叶肉水分含量减少会通过膨压调节使气孔收缩, CO₂ 摄入量减少, 光合速率降低^[17]。

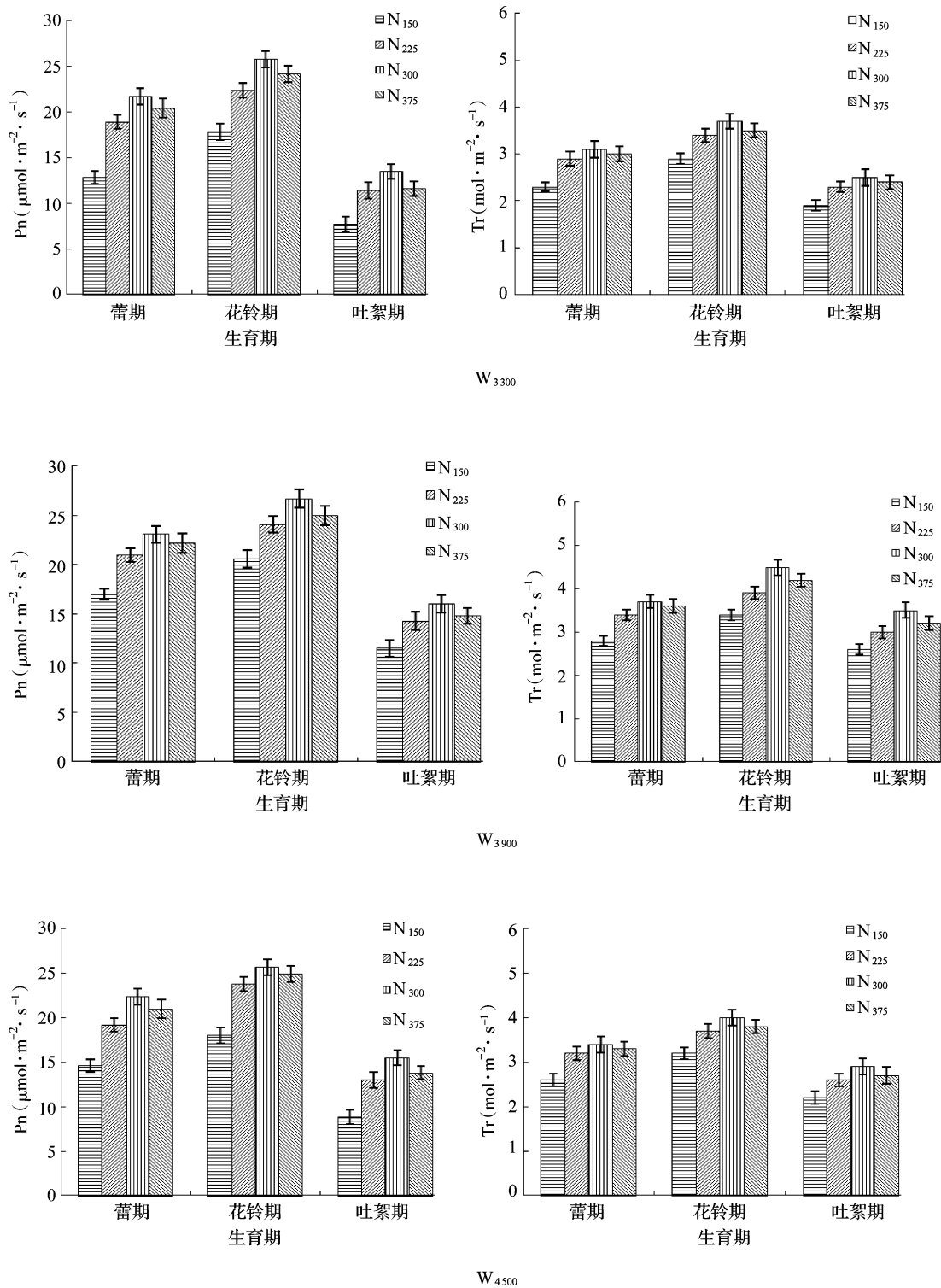


图1 水氮调控对光合速率 (Pn) 和蒸腾速率 (Tr) 的影响

2.2 水氮调控对棉花地上和地下部分干物质质量的影响

花铃期试验结果表明 (表1), 从施氮处理来看, 在一定的灌溉水量下, 随着施氮量增加棉花根系干物质质量均表现为 N₁₅₀ 处理 < N₂₂₅ 处理 < N₃₇₅ 处理

< N₃₀₀ 处理, 而地上部分干物质质量表现为 N₁₅₀ 处理 < N₂₂₅ 处理 < N₃₀₀ 处理 < N₃₇₅ 处理。从灌溉处理来看, 在一定施氮量下, 随着灌溉水量增加棉花根系干物质质量均表现为 W₃₃₀₀ 处理 < W₄₅₀₀ 处理 < W₃₉₀₀ 处理, 而地上部分干物质质量表现为 W₃₃₀₀ 处理 < W₃₉₀₀

处理 < W_{4500} 处理。可见, 灌溉水量和施氮量的不同影响棉花地下和地上部分干物质的分配。从表 1 可以看出, 在不同的灌溉水量下, 随着施氮量的增加棉花根冠比均呈逐渐下降趋势, 表现为 N_{375} 处理 < N_{300} 处理 < N_{225} 处理 < N_{150} 处理, 在不同的施氮量下, 随着灌溉水量的增加棉花根冠比也呈逐渐下降趋势, 表现为 W_{4500} 处理 < W_{3900} 处理 < W_{3300} 处理。由此表明, 一方面根冠生长对施氮水平的响应程度不同, 增加施氮量不利于根冠比的增加, 施氮量由 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加至 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 由于地

上部分随施氮量的增加而增加, 而且其干物质质量增加幅度大于根系干物质质量增加幅度, 因此根冠比逐渐下降。另一方面, 根冠生长对灌溉水量的响应程度也不同, W_{3300} 处理棉花根系干物质质量的降低程度低于 W_{3900} 处理和 W_{4500} 处理, 而地上部分生长增长幅度小于 W_{3900} 处理和 W_{4500} 处理, 因而其根冠比高于 W_{3900} 处理和 W_{4500} 处理。因此, 只有合理调配各生育期水氮供应才能促进棉花根和冠的协调发育, 使棉花具有合理的根冠比。

表 1 花铃期棉花根、地上部干物质质量和根冠比

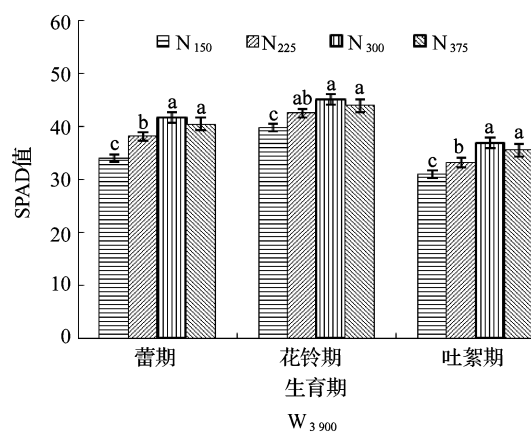
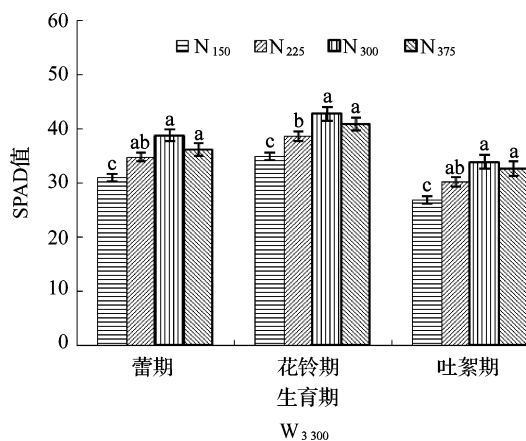
处理	根干物质质量 (g)			地上部分干物质质量 (g)			根冠比		
	W_{3300}	W_{3900}	W_{4500}	W_{3300}	W_{3900}	W_{4500}	W_{3300}	W_{3900}	W_{4500}
N_{150}	4.75c	4.94cd	4.87c	39.56d	42.35d	45.72d	0.120a	0.117a	0.106a
N_{225}	5.13b	5.28c	5.20b	43.18c	45.67c	49.32c	0.119a	0.116a	0.105a
N_{300}	5.87a	6.22a	6.14a	52.45b	56.92b	60.02b	0.112a	0.111a	0.102a
N_{375}	5.59ab	5.74b	5.62b	56.23a	62.23a	65.11a	0.099b	0.092b	0.086b

注: 表中同列不同小写字母表示同一灌溉条件下不同施氮处理间 5% 水平上的差异显著。

2.3 水氮调控对棉花叶片叶绿素 SPAD 值的影响

不同水氮处理下, 棉花 SPAD 值均随着生育期的延长先上升后下降, 花铃期最高而吐絮期最低。从灌溉处理来看, 在一定的施氮量下, 蕾期棉花 SPAD 值均表现为随着灌溉水量的增加而增加, W_{3300} 处理 < W_{3900} 处理 < W_{4500} 处理, 以 N_{300} 处理为例, W_{4500} 处理较 W_{3300} 处理和 W_{3900} 处理分别增加 11.39% 和 6.01%, 差异均显著; 花铃期和吐絮期棉花 SPAD 值均表现为随着灌溉水量的增加而先增加后下降, W_{3300} 处理 < W_{4500} 处理 < W_{3900} 处理, 以 N_{300} 处理为例, W_{3900} 处理较 W_{3300} 处理和 W_{4500} 处理分别增加 8.84% 和 5.25%、3.66% 和 0.19%,

W_{3900} 处理与 W_{3300} 处理差异显著, 与 W_{4500} 处理差异不显著, 说明水分亏缺状态下叶片叶组织水分缺乏, 显著影响叶绿素的生物合成。从施氮处理来看, 在不同的灌溉水量下, 各生育期棉花 SPAD 值均表现为 N_{150} 处理 < N_{225} 处理 < N_{375} 处理 < N_{300} 处理, 棉花 SPAD 值均在施氮量为 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时达到最高, 在施氮量为 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时有所降低, 说明过低或过高的施氮量不利于棉花叶绿素的合成, 造成 SPAD 值的下降。适宜的水氮量可以延缓叶片衰老和光合作用衰退, 水氮量不足加速了作物生育后期叶绿素的分解, 导致叶片失绿衰老^[18]。



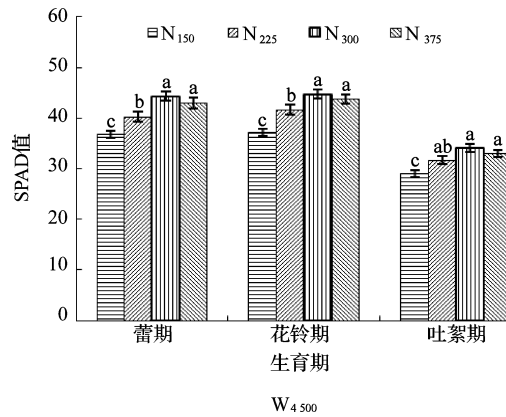


图2 不同水氮调控处理下棉花叶片 SPAD 值

注：图柱上不同小写字母表示同一生育期不同施氮处理间5%水平上的差异显著，下同。

2.4 水氮调控对棉花叶片水分利用效率的影响

叶片水分利用效率 (WUE) 的大小反映了作物光合作用的高低程度。不同水氮处理棉花各生育期叶片 WUE 在花铃期均达到最大，吐絮期呈显著降低趋势。从灌溉处理来看，在一定的施氮量下，蕾期、花铃期和吐絮期棉花叶片 WUE 均表现为 $W_{3\ 300}$ 处理 < $W_{4\ 500}$ 处理 < $W_{3\ 900}$ 处理，以 N_{300} 处理为例， $W_{3\ 900}$ 处理较 $W_{3\ 300}$ 处理和 $W_{4\ 500}$ 处理分别增加 17.19% 和 4.42%、18.03% 和 6.04%、17.73% 和 1.48%。可以看出，灌溉水量为 $3\ 900\ m^3 \cdot hm^{-2}$ 时能保持棉株在整个生育期具有较高的光合水平。从施氮

处理来看，在不同的灌溉水量下，随着施氮量的增加，棉花叶片 WUE 表现为先上升后下降的趋势，各生育期棉花叶片 WUE 均表现为 N_{150} 处理 < N_{225} 处理 < N_{375} 处理 < N_{300} 处理， N_{300} 处理与 N_{225} 处理、 N_{375} 处理差异均不显著，与 N_{150} 处理差异显著。可以看出，施氮量为 $300\ kg \cdot hm^{-2}$ 时最大，当施氮量增加至 $375\ kg \cdot hm^{-2}$ 时，棉花叶片 WUE 呈下降趋势，过量施氮使棉株徒长，叶面积指数过大，透光性变差，降低了棉花的光合速率，造成叶片 WUE 下降。施氮量过低，棉株发育不壮，叶面积指数较小，光合速率减小，最终导致叶片 WUE 的降低。

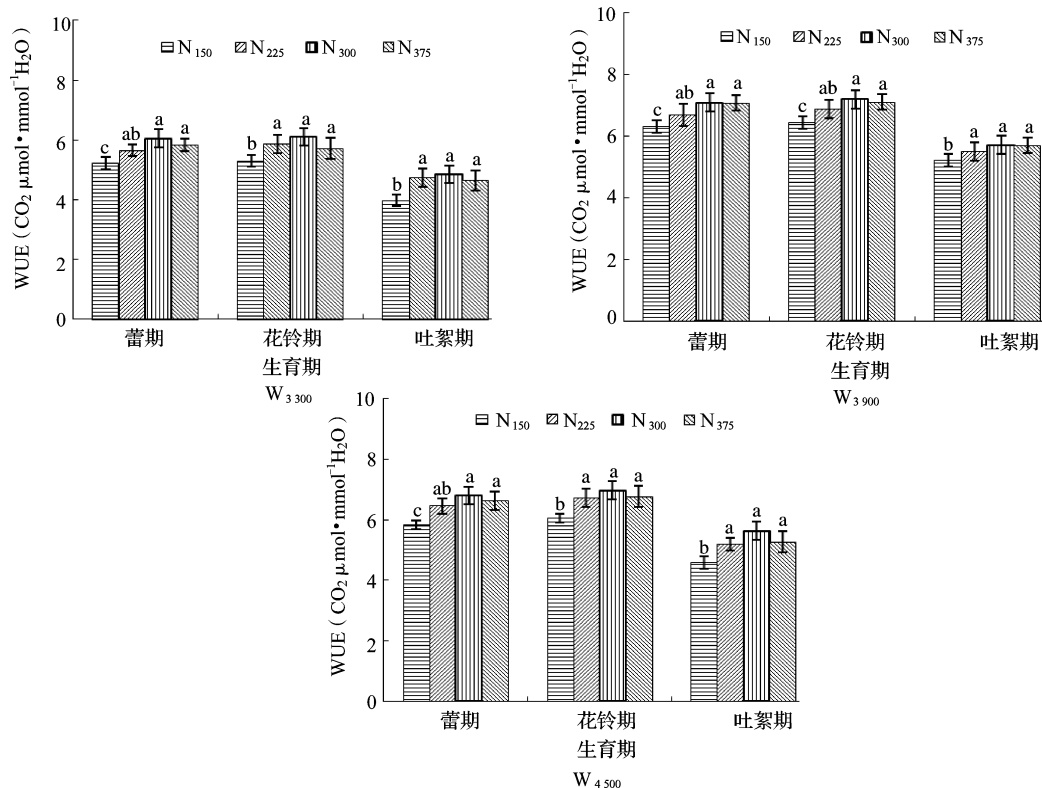


图3 水氮调控对棉花叶片水分利用效率 (WUE) 的影响

2.5 水氮调控对棉花产量及产量构成因素的影响

试验结果表明(表2),随着灌溉水量和施氮量的增加,棉花株高呈逐渐增加的趋势。从灌溉处理来看,在3个灌溉水量下各施氮处理平均株高分别为66.00、77.73和81.60 cm,差异均显著。从不同灌溉水量下各施氮处理之间差异性来看, N_{375} 处理与 N_{225} 处理和 N_{150} 处理差异显著,说明在高灌溉水量、高施氮量下能显著促进棉花株高的增加, $W_{4500}N_{375}$ 处理较 $W_{3900}N_{375}$ 处理和 $W_{3300}N_{375}$ 处理株高分别增加7.41和15.86 cm,表明灌溉水量是促进棉花株高增加的主要因素。在不同的灌溉水量下,随着施氮量的增加,棉花有效铃数、单铃重和衣分均表现为先增加后下降的趋势,在施氮量为300 $kg \cdot hm^{-2}$ 时均最高,最终产量也最高, W_{3300} 、 W_{3900} 和 W_{4500} 处理分别达到了6453.30、6992.33

和6683.45 $kg \cdot hm^{-2}$, W_{3900} 处理较 W_{3300} 处理和 W_{4500} 处理分别提升8.35%和4.62%,衣分分别增加1.4%和0.7%。施氮量增加至375 $kg \cdot hm^{-2}$ 时有效铃数、单铃重和衣分有不同程度的降低,产量也有不同程度的降低,但 N_{300} 处理产量与 N_{375} 处理差异不显著,与 N_{150} 处理差异均显著。

灌溉水量可显著促进棉花株高的增加,但是株高并不能准确反映棉花产量的高低,适宜的施氮量通过增加有效铃数和单铃重提高了棉花产量。另一方面, W_{3900} 各施氮处理平均有效铃数、单铃重、衣分较 W_{3300} 和 W_{4500} 各施氮处理平均值分别增加1.2个 \cdot 株 $^{-1}$ 、0.27 g、1.3%和0.5个 \cdot 株 $^{-1}$ 、0.13 g、0.9%,平均产量提升9.65%和4.60%。由此说明,适宜的水氮供应才能有效提升棉花产量,增加衣分。

表2 水氮调控对棉花产量及产量构成的影响

处理		株高 (cm)	有效铃数 (个 \cdot 株 $^{-1}$)	单铃重 (g)	籽棉产量 ($kg \cdot hm^{-2}$)	衣分 (%)
W_{3300}	N_{150}	62.77d	5.9d	4.12d	5136.00c	40.3c
	N_{225}	64.26d	7.0c	4.44c	5867.95bc	41.5b
	N_{300}	66.34d	8.2b	4.90b	6453.30ab	42.0ab
	N_{375}	70.66c	7.9b	4.84bc	6382.05b	41.9ab
W_{3900}	N_{150}	72.50c	7.3c	4.48c	5970.00bc	41.6b
	N_{225}	76.78b	8.3b	4.87bc	6435.77ab	42.9a
	N_{300}	79.11b	9.2a	5.06a	6992.33a	43.4a
	N_{375}	82.56a	8.9a	4.96b	6724.50a	43.2a
W_{4500}	N_{150}	77.10b	6.5c	4.36cd	5628.33c	41.0b
	N_{225}	79.62b	7.9b	4.62c	6193.46b	42.2a
	N_{300}	83.16a	8.8a	4.97a	6683.45a	42.7a
	N_{375}	86.52a	8.4b	4.89b	6485.86ab	42.1a

注:同列不同小写字母表示处理间5%水平上的差异显著。

4 讨论与结论

4.1 讨论

在土壤水分亏缺的情况下,根冠同时受到抑制,但同化物对根系的分配会有所增加,以恢复根系结构,维持其最低限度的功能发挥^[19]。试验结果表明,土壤水分亏缺(W_{3300} 处理)条件下,棉花根系下扎但茎生长受到限制,一定程度上抑制了地上部分生长,随着灌溉水量的增加,地上部分生长旺盛,根系生物量增加幅度小于地上部分生物量增加幅度,造成根冠比下降。随着施氮量的增大,

棉花根冠比均呈逐渐下降趋势,亏缺灌溉(W_{3300} 处理)根冠比均高于适量灌溉(W_{3900} 处理)和过量灌溉(W_{4500} 处理),但根冠比的增加会抑制作物对水分的有效利用^[20], W_{3300} 处理蕾期、花铃期和吐絮期棉花叶片WUE分别低于 W_{3900} 处理和 W_{4500} 处理16.30%和11.49%、16.88%和12.41%、17.77%和11.91%。

棉花叶绿素含量的高低直接影响光合产量,对土壤水分亏缺条件下棉花叶绿素含量的变化有不同的结论,有研究认为,水分胁迫条件下叶绿素含量会提高^[21],也有研究认为,在干旱条件下叶绿素

含量明显下降^[22], 本研究结果表明, 土壤水分亏缺会造成棉花各生育期叶绿素含量的显著下降, 导致了棉花光合性能的下降。生育期叶绿素含量与光合速率的变化呈正相关关系^[23], 适宜的灌溉使棉花全生育期都保持较高的叶绿素含量与光合速率, 但过量的灌溉与施肥会造成棉花叶绿素含量和光合速率的下降, 当灌溉水量为 $3\ 900\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 棉花叶片具有较高的 Pn 和 Tr, 叶绿素 SPAD 值也保持较高的水平, 这也是适宜的灌溉和施肥增强了棉花生育期的生长态势, 调节了叶绿素在棉株不同生育时期的含量和比例, 从光合器官的角度上根据棉花生长需要调节自身各部位的光合作用^[24]。

适宜的灌溉和施肥能促进棉花根-冠的协调生长, 塑造合理的冠层结构, 有利于地上部分生物量的积累, 为高产奠定基础。棉花高产需要较高的地上部分生物量为基础, 但产量与地上部分生物量并不呈正相关关系, 棉株具有较高的有效铃数与单铃重才能获得高产, 与株高没有直接的关系。在本试验条件下, 灌溉水量为 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花株高达到了最高, 地上部分生物量也最高, 但产量并未达到最高, 而当灌溉水量为 $3\ 900\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花产量达到最高。有研究表明^[25], 氮肥用量的多少主要是通过影响单株结铃数和单铃重而影响产量, 本试验结果也表明, 在一定的灌溉水量下施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉株有效铃数和单铃重均最高, 从而提升了棉花产量。当灌溉水量为 $3\ 900\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉株具有适宜的株高, 有效铃数与单铃重均最高, 促进了产量的提升, 过低或过高的灌溉水量与施肥量均会造成棉株过矮或过高, 导致有效铃数或单铃重的下降, 从而影响产量。

4.2 结论

适量灌溉 ($W_{3\ 900}$) 处理棉花各生育期 Pn 和 Tr 均高于亏缺灌溉 ($W_{3\ 300}$) 和过量灌溉 ($W_{4\ 500}$) 处理, 且在施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时 Pn 和 Tr 达到最高。土壤水分亏缺显著影响棉花 Pn 的变化, 降低了棉花叶片 WUE 和 SPAD 值, 不利于光合物质的积累。

亏缺灌溉 ($W_{3\ 300}$) 促进了棉株根系生长而抑制了地上部分的生长, 根冠比高于适量灌溉 ($W_{3\ 900}$) 和过量灌溉 ($W_{4\ 500}$) 处理。不同灌溉水量下, 随着施氮量的增加, 棉花根系生长呈先上升

后下降而地上部分生长呈持续增加的趋势, 棉花根冠比呈逐渐下降的趋势。适量灌溉 ($W_{3\ 900}$) 处理可协调根冠生长, 维持适宜的根冠比。试验结果表明适宜的根冠比为 0.111。

亏缺灌溉 ($W_{3\ 300}$) 处理棉花产量及产量构成因素均低于适量灌溉 ($W_{3\ 900}$) 和过量灌溉 ($W_{4\ 500}$) 处理。在不同的灌溉水量下施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时棉花单株有效铃数、单铃重和衣分均高于其他施氮处理。本试验结果表明, 在适量灌溉 ($W_{3\ 900}$) 条件下施氮量为 $300\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 棉花产量和衣分率最高, 较亏缺灌溉和过量灌溉产量分别提高 8.35% 和 4.62%, 衣分增加 1.4% 和 0.7%。

参考文献:

- [1] 吕金岭, 吴儒刚, 范业泉, 等. 干旱条件下施肥与作物抗旱性的关系 [J]. 江西农业学报, 2012, 24 (2): 6-10.
- [2] 徐振剑, 华璐, 蔡典雄, 等. 农田水肥关系研究现状 [J]. 首都师范大学学报 (自然科学版), 2007, 28 (1): 83-88.
- [3] 耿献辉, 张晓恒, 宋玉兰. 农业灌溉用水效率及其影响因素实证分析—基于随机前沿生产函数和新疆棉农调研数据 [J]. 自然资源学报, 2014, 29 (6): 934-943.
- [4] 刘新永, 田长彦. 棉花膜下滴灌水氮耦合效应研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (2): 286-291.
- [5] 徐飞鹏, 李云开, 任树梅. 新疆棉花膜下滴灌技术的应用与发展的思考 [J]. 农业工程学报, 2003, 19 (1): 25-27.
- [6] 陈晓远, 刘晓英, 罗远培. 土壤水分对冬小麦根、冠干物质动态消长关系的影响 [J]. 中国农业科学, 2003, 36 (12): 1502-1507.
- [7] 阿丽艳·肉孜, 郭仁松, 杜强, 等. 施氮量对枣棉间作棉花干物质积累、产量与品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 761-767.
- [8] 宋海星, 李生秀. 水、氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (1): 6-11.
- [9] 闫映宇, 赵成义, 盛钰, 等. 膜下滴灌对棉花根系、地上部分生物量及产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (4): 970-976.
- [10] 刘梅先, 杨劲松, 李晓明, 等. 滴灌模式对棉花根系分布和水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (增刊1): 98-105.
- [11] 陈宾宾, 邹德堂, 赵宏伟, 等. 不同灌溉方式和氮肥用量对寒地粳稻干物质积累与转运的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015, (1): 84-90.
- [12] 邓忠, 白丹, 翟国亮, 等. 膜下滴灌水氮调控对新疆棉花产量及水氮利用率的影响 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (9): 2525-2532.
- [13] 王淑芬, 裴冬, 贾金生, 等. 膜下滴灌棉花关键生育期不

- 同灌水量、灌水次数对其生长、产量及水分利用效率的影响 [J]. 华北农学报, 2005, 20 (5): 76-80.
- [14] 杨荣, 苏永中. 水氮供应对棉花花铃期净光合速率及产量的调控效应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (2): 404-410.
- [15] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉, 等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应 [J]. 地理学报, 2009, 64 (11): 1331-1341.
- [16] 张振华, 蔡焕杰, 杨润亚, 等. 膜下滴灌棉花产量和品质与作物缺水指标的关系研究 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (6): 26-29.
- [17] 刘连涛, 李存东, 孙红春, 等. 氮素营养水平对棉花不同部位叶片衰老的生理效应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (5): 910-914.
- [18] 汪玲, 朱靖蓉, 杨涛, 等. 氮肥施用策略对膜下滴灌棉花叶片叶绿素含量变化的影响 [J]. 棉花学报, 2010, 22 (5): 454-459.
- [19] 王军, 关新元, 李永生, 等. 不同类型滴灌专用肥对棉花根系生长及产量的调节 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (3): 53-57.
- [20] 张绪成, 郭天文, 谭雪莲, 等. 氮素水平对小麦根-冠生长及水分利用效率的影响 [J]. 西北农业学报, 2008, 17 (3): 97-102.
- [21] 邵瑞鑫, 上官周平. 外源一氧化氮供体 SNP 对受旱小麦光合色素含量和 PS II 光能利用能力的影响 [J]. 作物学报, 2008, 34 (5): 818-822.
- [22] 高三基, 罗俊, 张华, 等. 甘蔗抗旱性生理生化鉴定指标 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (6): 1051-1054.
- [23] 杨世丽, 张凤路, 贾秀领, 等. 水氮耦合对冬小麦叶片叶绿素含量和光合速率的影响 [J]. 华北农学报, 2008, 23 (5): 161-164.
- [24] 张旺锋, 王振林, 余松烈, 等. 氮肥对新疆高产棉花群体光合性能和产量形成的影响 [J]. 作物学报, 2002, 28 (6): 789-796.
- [25] 杨志彬, 陈兵林, 周治国. 施氮量对花铃期棉花果枝生物量累积时空变异特征的影响 [J]. 应用生态学报, 2008, 19 (10): 2215-2220.

Effects of water and nitrogen regulation on root and shoot growth characteristics and yield of cotton in arid area

DENG Zhong, ZHAI Guo-liang, ZONG Jie, LÜ Mou-chao*, LI Ying, FENG Jun-jie, CAI Jiu-mao, ZHANG Wen-zheng (Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences /Key Laboratory of Water-Saving Agriculture of Henan Province, Xinxiang Henan 453002)

Abstract: Water and nitrogen (N) are two important factors impacting crops growth, it is necessary to pay much attention to the synergistic regulation effects of water and nitrogen on crops in arid areas, especially in northwest China. To address the coupling effects of water & N interaction on yield and photosynthetic parameters of cotton, a field experiment was carried out to study the growth characteristics in terms of belowground (root) and aboveground (shoot) parts in cotton growing stages and the synergetic effects of water and N regulation on cotton yield components. In this study, three irrigation quotas (i. e. 3 300, 3 900 and 4 500 m³ · hm⁻²) and four N rates (i. e. 150, 225, 300 and 375 kg · hm⁻²) were set up in a completely randomized block design with three replicates. Results showed that the treatment with water and nitrogen amounts at 3 900 m³ · hm⁻² and 300 kg · hm⁻² promoted photosynthetic parameters (Pn, Tr) and SPAD value and leaf WUE of cotton leaf in different stages. Dry weight of cotton root showed a parabolic curve with nitrogen amounts increasing, while shoot parts increased gradually with nitrogen application amounts increasing. Dry weight of cotton root under different irrigation amounts reached the maximum in each growing stage at N 300 kg · hm⁻², but the root/shoot ratio of cotton present declined gradually, also the ratio decreased with irrigation amounts increased. Deficient irrigation (W_{3 300} treatment) was benefit to increase the ratio of root to shoot, but it led to a significant decline in photosynthetic parameters (Pn, Tr) and SPAD values and leaf WUE. In this experiment, it generated a pleasant cotton height at 79 cm and an improvement in numbers of available bolls and single boll weight when irrigation quota at 3 900 m³ · hm⁻² and N rate at 300 kg · hm⁻², available bolls increased 1.0 and 0.4 per plant, single boll weight increased 0.16 and 0.09 g, yield was increased by 8.35% and 4.62%, and the lint percentage was increased by 1.4% and 0.7%, compared with those of the treatments of W_{3 300} and W_{4 500}. Therefore, the suitable ratio of root to shoot of cotton was about 0.111.

Key words: water and nitrogen regulation; mulched-cotton by drip irrigation; root/shoot ratio; yield