

非充分滴灌下施氮量对棉花生长特性、产量及水氮利用率的影响

石洪亮¹,张巨松¹,严青青¹,田立文²,崔建平²,林涛²,郭仁松²

(1.新疆农业大学教育部棉花工程研究中心,新疆乌鲁木齐 830052;
2.新疆农业科学院经济作物研究所,新疆乌鲁木齐 830091)

摘 要:以新陆中 54 号为试材,采用裂区试验设计,主区为总灌溉量为 2 800 m³·hm⁻²(非充分滴灌)和 3 800 m³·hm⁻²(常规滴灌),副区为 4 个施氮(纯 N)水平,N0(0 kg·hm⁻²),N1(150 kg·hm⁻²),N2(300 kg·hm⁻²),N3(450 kg·hm⁻²),研究棉花在非充分滴灌条件下最佳的施氮量。结果表明:同一滴灌量下,生育进程随着施氮量的增加而明显延迟,株高、真叶数和果枝数随着施氮量的增加而增加,倒四叶宽和有效果枝数随着施氮量的增加呈先增后减的趋势;同一氮肥处理下,株高随着滴灌量的增加而增大,真叶数、倒四叶宽、茎粗随着滴灌量的增加略有降低;现蕾数、成铃数、干物质积累量、持续时间和最大积累速率随着施氮量的增加呈先升后降的趋势,以 N2 处理较高,生长特征值较为协调;两灌溉量间单铃重、皮棉产量及水氮利用效率差异不显著,但随着施氮量的增加其呈先增后降的趋势,以 N2 处理最高,分别比 N0、N1、N3 平均增产 39.9%、20.1%、4.3%,水分利用效率分别提高了 40.97%、19.02%、4.88%,氮肥利用率较 N1、N3 分别提高了 53.91%、21.36%。因此,在南疆阿克苏地区,棉花滴灌量在 2 800 m³·hm⁻²条件下,施氮量以 300 kg·hm⁻²适宜。

关键词:棉花;氮肥;滴灌;生长特性;产量
中图分类号: S562; S143.1 **文献标志码:** A

Effects of different nitrogen fertilizer levels on growth, yield, water and nitrogen use efficiency of cotton under non-sufficient drip irrigation

SHI Hong-liang¹, ZHANG Ju-song¹, YAN Qing-qing¹, TIAN Li-wen²,
CUI Jian-ping², LIN Tao², GUO Ren-song²

(1. Xinjiang Agricultural University/Research Center of Cotton Engineering, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. Institute of Economic Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

Abstract: The optimal amount of nitrogen fertilizer on cotton was investigated under the condition of non-sufficient drip irrigation to provide scientific basis for highly efficient use of water and fertilizer of cotton in arid regions. Xinluzhong 54 was used as test material in split plot experiment design, the total drip-irrigation amount of 2 800 m³·hm⁻²(non full irrigation) and 3 800 m³·hm⁻²(conventional drip irrigation) for the main plot, four nitrogen (N) level, N0 (0 kg·hm⁻²), N1 (150 kg·hm⁻²), N2 (300 kg·hm⁻²), N3 (450 kg·hm⁻²) for sub-plot. Results showed that with the same irrigation amount, the growth process prolonged significantly with the increase in nitrogen fertilization. The plant height, the number of main leaf and fruit spur increased with the increase in nitrogen fertilization. The fourth from top leaf width, and effective fruit spur number first increased and then decreased with the increase in nitrogen fertilization. With the same nitrogen fertilization, plant height increased, and the number of main leaf, the fourth from top leaf width, stem diameter slightly decreased with the increase in drip irrigation. The number of bud and boll, the accumulation amount of dry matter, time of duration and the maximum rate of accumulation of dry matter first increased and then decreased with the increase in nitrogen fertilization, which was more significant in N2, and the growth characteristic value was more coordi-

收稿日期:2016-04-27
基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目“棉花高产高效关键技术与示范”(2014BAD11B02);新疆农业大学产学研联合培养研究生项目(xjaucxy-yjs-20151010)
作者简介:石洪亮(1990—),男,吉林双辽人,硕士研究生,主要从事棉花高产栽培生理生态研究。E-mail: xjndshl@163.com。
通信作者:张巨松(1963—),男,江苏江都人,教授,主要从事棉花高产栽培生理生态研究。E-mail: xjndzjs@163.com。

nated in N2. The difference in single boll weight and lint yield between the two irrigation quantity was not significant, but single boll weight and lint yield first increased and then decreased with the increase in nitrogen fertilization. Those in N2 wasthe highest, 39.9% , 20.1% and 4.3 % higher than N0, N1, N3 respectively in average yield. Compared with N1 and N3, the water use efficiency increased by 40.97% , 19.02% and 4.88% respectively. The nitrogen utilization efficiency increased by 53.91% and 21.36% respectively compared with N1 and N3. Therefore, in the Nanjiang Akesu area, drip irrigation of 2 800 m³·hm⁻², and 300 kg·hm⁻² nitrogen fertilization was the optimal condition for cotton.

Keywords: cotton; nitrogen fertilizer; irrigation amount; growth characteristics; yield

新疆是我国最重要的棉区,也是最大的内陆灌溉棉区,光热资源充足,十分适宜棉花产业的发展^[1]。但新疆棉区年降雨少,尤其是南疆地区年降雨量不足 100 mm,农业生产对灌溉水的需求大,水资源紧缺已成为新疆绿洲区制约作物产量和农业发展的重要因素^[2]。非充分灌溉是针对水资源的紧缺和用水效率低下的普遍性而提出的^[3]。非充分灌溉研究表明,作物对水分亏缺具有适应性和补偿性,适度的水分亏缺有助于作物生长及产量的形成^[4-6]。膜下滴灌技术以其先进的节水、节肥、增产、增效和改善作物品质等优点,促进了新疆棉花的发展^[7-10]。关于干旱区棉花滴灌已有报道,灌溉水量过多会降低水分利用率,同时也会造成贪青晚熟,灌溉量过少会抑制氮肥增产效应的发挥,同时也不利于棉花增产^[11-12]。有研究表明为了取得高产和提高水分利用率,棉花全生育期的滴灌水量应在 5 175 ~ 5 700 mm·hm⁻²^[13]。施肥一直对棉花的增产发挥着巨大的作用,尤其氮肥是影响棉花产量和品质的关键因素之一,氮肥的合理施用一直是调控作物生

长发育和产量的主要措施^[14-15]。前人在常规滴灌下氮肥的合理施用研究较多,但在非充分滴灌下施氮量对棉花生长发育的影响方面还鲜见报道。因此,本试验针对非充分滴灌下施氮量对棉花生长发育、产量及水氮利用率的影响进行研究,以期为干旱地区棉花水肥高效管理技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2015 年 4—10 月在新疆农业科学院经济作物研究所实验基地进行。该实验基地位于新疆阿克苏市阿瓦提县丰收二场一连,地处北纬 39°31′ ~ 40°50′、东经 79°45′ ~ 81°5′之间,属暖温带大陆性干旱气候,无霜期 183 ~ 227 d,年均日照 2 750 ~ 3 029 h,全年 ≥ 10℃ 积温 3 802.9℃,多年平均降水量 46.7 mm,多年平均蒸发量 1 890.7 mm,试验区耕作层(0 ~ 40 cm)土壤为砂壤土,土壤平均容重 1.43 g·cm⁻³。供试土壤背景值见表 1。

表 1 供试土壤基本化学性质
Table 1 Basic chemical properties of test soil

土层深度/cm Soil depth	全氮/(g·kg ⁻¹) Total N	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	水解性氮/(mg·kg ⁻¹) Hydrolytic N	有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available P	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available K
0 ~ 20	0.5	6.9	105.0	32.4	131.0
20 ~ 40	0.4	5.6	70.8	21.6	168.0
40 ~ 60	0.2	2.2	45.0	2.6	240.0

1.2 试验方案

采用裂区试验设计,主区为总灌溉量,分别为非充分滴灌 2 800 m³·hm⁻²和常规滴灌 3 800 m³·hm⁻²;副区为 4 个施氮(N)水平,即 0、150、300、450 kg·hm⁻²,分别用 N0、N1、N2、N3 表示。供试棉花品种为新陆中 54 号。采用机采棉种植模式,行距配置(66 + 10) cm,膜间行距 60 cm,株距 11 cm,理论株数为 24.25 万株·hm⁻²。小区(3 膜)面积 29 m²,重复 3 次,重复间距 50 cm,占地面积为 756 m²。

根据棉花生育期需水情况,本试验共 10 次滴灌,自现蕾开始滴灌,每 7 d 滴灌 1 次;每次滴灌量

由水表控制,施氮量经电子秤称量后,对应各处理放入施氮罐中,随水滴施,按照 1 水 1 肥进行。施用的肥料为尿素(N 46%)、颗粒状过磷酸钙(P₂O₅ 12%)和农用颗粒钾肥(K₂O 40%)。基肥:尿素施用总量的 20%,颗粒状过磷酸钙 200 kg·hm⁻²,农用颗粒钾肥 100 kg·hm⁻²;追肥:全部施用尿素(总量的 80%),如表 3。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生育时期 记载苗期、盛蕾期、初花期、盛花期、盛铃期、吐絮期的日期,各生育时期的确定以达到调查数量 50%为标准。

表 2 滴灌方案/(m³·hm⁻²)
Table 2 Drip irrigation scheme

滴灌量/(m ³ ·hm ⁻²) Irrigation amount	滴灌时间(M - d) Drip irrigation time									
	06 - 20	06 - 27	07 - 04	07 - 11	07 - 18	07 - 25	08 - 01	08 - 08	08 - 15	08 - 22
2800	168	224	280	336	392	392	336	280	224	168
3800	228	304	380	456	532	532	456	380	304	228

表 3 施肥方案
Table 3 Fertilization scheme

处理 Treatments	施氮量 Nitrogen rate /(kg·hm ⁻²)	基肥 Base N fertilizer /(kg·hm ⁻²)	施肥时间(M - d) Fertilization time									
			06 - 20	06 - 27	07 - 04	07 - 11	07 - 18	07 - 25	08 - 01	08 - 08	08 - 15	08 - 22
N0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N1	150	30	7.2	9.6	12	14.4	16.8	16.8	14.4	12	9.6	7.2
N2	300	60	14.4	19.2	24	28.8	33.6	33.6	28.8	24	19.2	14.4
N3	450	90	21.6	28.8	36	43.2	50.4	50.4	43.2	36	28.8	21.6

1.3.2 农艺性状 自现蕾开始调查各生育时期的现蕾数、成铃数,在 8 月 25 日调查株高、真叶数、主茎到 3 叶宽、茎粗、果枝数等主要农艺性状。在定点区域选择长势均匀具有代表性连续 10 株棉花,内外行各 5 株,取平均值。

1.3.3 干物质 蕾期至吐絮期(5 月 30 日—9 月 15 日)的各个生育时期,每隔 15 d 取样一次,选取具有代表性的 6 株棉花,按照茎枝、叶、蕾花铃等器官分开,放入电热恒温鼓风干燥箱 105℃杀青 30 min,然后 80℃恒温至恒重,测定其干物质质量。

1.3.4 经济产量 吐絮后对每小区株数和铃数记数,选取有代表性的棉株,分上(30 朵)、中(40 朵)、下(30 朵)取样,测其铃重和衣分,重复 3 次。

1.3.5 水分利用效率 水分利用效率(Water use efficiency, WUE): $WUE(kg \cdot m^{-3}) = \frac{\text{总产量(籽棉产量)}}{\text{总灌水量}}$ 。

1.3.6 氮肥利用率 氮肥利用率(Nitrogen use efficiency, NUE): $NUE(\%) = \frac{(\text{施氮条件下作物吸氮量} - \text{不施氮条件下作物吸氮量})}{\text{施氮量}} \times 100\%$

1.4 数据分析

采用 Excel 2013、SPSS19.0 进行统计分析,方差分析均为 0.05 水平,采用 Duncan 新复极差多重比较法。

2 结果与分析

2.1 非充分滴灌下施氮量对棉花生育进程的影响

如表 4、表 5 所示,不同处理间生育进程在初花期前差异不大,初花期后各处理间差异显著。同一氮肥处理下,生育进程随着滴灌量的减少而明显提

前,从整个生育期来看,滴灌量 2 800 m³·hm⁻²处理下各施氮量比 3 800 m³·hm⁻²提前 2~4 d,差异主要表现在初花期至盛铃期。同一滴灌量下,在初花期后,生育进程随着施氮量的增加而明显延迟,N1、N2、N3 较 N0 处理平均延迟 2.5、4.5、6 d;从整个生育期来看,N1、N2、N3 较 N0 处理平均延迟 4、7、10 d。N0、N1 自初花后出现轻度早衰现象,至吐絮期 N0 处理出现严重早衰。

2.2 非充分滴灌下施氮量对棉花农艺性状的影响

由表 6 可知,同一氮肥处理下,株高随着滴灌量的增加而增加,真叶数、倒四叶宽、茎粗随着滴灌量的增加略有降低。同一滴灌量下,株高、真叶数和果枝数随着施氮量的增加而增加,均表现为 N3 > N2 > N1 > N0,倒四叶宽和有效果枝数随着施氮量的增加呈先增后减的趋势,均表现为 N2 > N3 > N1 > N0。综上所述,轻度水分胁迫虽然株高较常规滴灌低,但真叶数、倒四叶宽、茎粗优于常规滴灌,且增加效果明显;氮肥处理方面表现为 N2 处理最优。

2.3 非充分滴灌下施氮量对棉花 LAI 的影响

叶面积指数(LAI)是衡量棉花群体冠层结构是否合理的重要指标之一。如图 1 所示,在初花期(出苗后 50 d)各处理差异不大,初花期后各处理差异显著。同一氮肥处理下,随着滴灌量的增加,LAI 呈增加趋势,同 2 800 m³·hm⁻²相比,3 800 m³·hm⁻² LAI 平均增加了 11.32%。同一滴灌量下,不同氮肥处理 LAI 呈先上升后下降的趋势,在盛铃期(出苗后 82 d)达到最大值,各氮肥处理 LAI 均表现为 N2 > N3 > N1 > N0,在 2 800 m³·hm⁻²滴灌量下 N1、N2、N3 处理 LAI 较 N0 处理分别增加了 5.61%、37.52%、

33.40%,在 3 800 m³·hm⁻²滴灌量下 N1、N2、N3 处理 LAI 较 N0 处理分别增加了 3. 81%、36. 02%、31.19%,且 2 800 m³·hm⁻²较 3 800 m³·hm⁻²滴灌量下 N1、N2、N3 处理增加效果显著,分别提高了 32.12%、4.01%、6.58%。至吐絮期,N2、N3 处理仍然保持较高水平,说明 N2、N3 处理保证了棉花后期叶片的光合有效面积,提高了光合产物积累能力。

表 4 不同处理下棉花生育进程(M-d)
Table 4 The growth process of cotton under different treatments

滴灌量/(m ³ ·hm ⁻²) Drip irrigation amount	氮肥处理 Nitrogen fertilization rate	盛蕾期 Full squaring stage	初花期 Early flowering stage	盛花期 Full flowers stage	盛铃期 Full bolls stage	吐絮期 Opening bolls stage
2800	N0	06-18	06-30	07-08	07-23	09-07
	N1	06-18	06-30	07-09	07-25	09-11
	N2	06-18	07-01	07-10	07-27	09-14
	N3	06-18	07-02	07-12	07-28	09-16
3800	N0	06-18	06-30	07-09	07-24	09-09
	N1	06-18	07-01	07-10	07-26	09-12
	N2	06-18	07-01	07-11	07-28	09-16
	N3	06-18	07-03	07-14	07-31	09-19

表 5 不同处理下棉花生育期/d
Table 5 The comparison of cotton growth stages under different treatments

滴灌量/(m ³ ·hm ⁻²) Drip irrigation amount	氮肥处理 Nitrogen fertilization rate	盛蕾~初花 Fullsquaring~early flowering	初花~盛花 Early flowering~full flowers	盛花~盛铃 Full flowers~full bolls	盛铃~吐絮 Full bolls~opening bolls	生育期 Growth period
2800	N0	13	9	16	47	140
	N1	13	10	17	49	144
	N2	14	10	18	50	147
	N3	15	11	17	51	149
3800	N0	13	10	16	48	142
	N1	14	11	17	49	146
	N2	14	11	18	51	149
	N3	15	12	19	52	153

表 6 不同处理下棉花农艺性状比较
Table 6 The comparison of cotton agronomic traits under different treatments

滴灌量/(m ³ ·hm ⁻²) Drip irrigation amount	氮肥处理 Nitrogen fertilization rate	株高/cm Plant height	真叶数 Number stem leaf	倒四叶/cm Fall four leaf width	茎粗/cm Stem diameter	果枝数 Number fruit branch	有效果枝数 Effective fruit branch number
2800	N0	67.3 c	13.2 c	10.3 c	0.8 c	8.6 b	3.5 b
	N1	69.6 c	14.2 b	12.5 b	1.0 b	9.6 a	4.5 ab
	N2	77.5 b	15.0 a	14.4 a	1.2 a	10.2 a	5.2 a
	N3	80.4 a	15.2 a	14.3 a	1.2 a	10.4 a	5.0 a
3800	N0	68.9 c	12.6 c	10.1 c	0.8c	8.4 c	3.6 b
	N1	71.0 c	13.8 b	11.9 b	0.9 b	9.2 bc	4.6 ab
	N2	81.2 ab	15.0 a	14.1 a	1.1 a	10.2 ab	5.3 a
	N3	83.1 a	15.1 a	13.6 a	1.1 ab	10.4 a	5.2 a

注:不同小写字母表示差异达 $P < 0.05$ 显著水平,下同。
Note: different lowercase letters mean significant differences at $P < 0.05$, the same below.

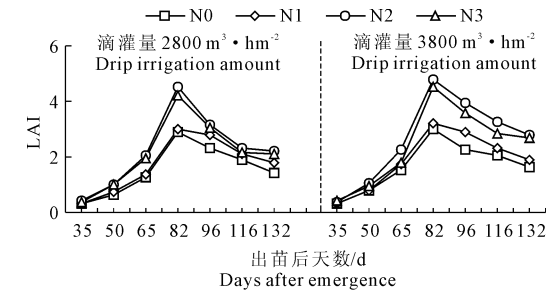


图 1 不同处理下棉花 LAI 的比较

Fig.1 The comparison of cotton LAI under different treatments

2.4 非充分滴灌下施氮量对棉花蕾铃消长的影响

由图 2 可知,同一氮肥处理下,随着滴灌量的增加,现蕾数呈增加趋势,与 $2\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 相比, $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 滴灌量下现蕾数平均增加了 $0.5\text{ 个}\cdot\text{株}^{-1}$ 。同一滴灌量下,随着施氮量的增加,现蕾数表现为先增加后下降的趋势,初花期达到峰值,各处理现蕾数均表现为 $\text{N}2>\text{N}3>\text{N}1>\text{N}0$ 。由图 3 可知,同一氮肥处理下,随着滴灌量的增加,成铃数呈增加趋势,与 $2\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 相比, $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 滴灌量下成铃数平均增加了 $0.2\text{ 个}\cdot\text{株}^{-1}$ 。同一滴灌量下,随着施氮量的增加,成铃数表现为增加趋势,盛铃期达到峰值,各处理成铃数均表现为 $\text{N}2>\text{N}3>\text{N}1>\text{N}0$ 。综上所述,不同处理蕾铃消长情况表现为此消彼长的关系,现蕾数、成铃数均表现为 $2\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 滴灌量下 N2 处理增加幅度最大,较 $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 滴灌量下 N2 处理现蕾数、成铃数分别提高了 3.8% 、 13.3% ,说明在一定干物质积累与分配的前提下,较多的现蕾数与成铃数是获得产量的关键。

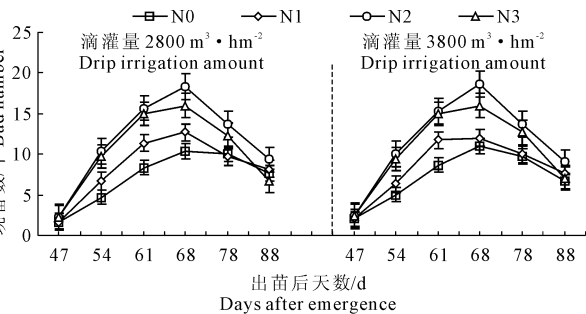


图 2 不同处理下棉花现蕾数动态变化

Fig.2 The dynamic changes of bud number under different treatments

2.5 非充分滴灌下施氮量对棉花地上部干物质积累与分配的影响

2.5.1 非充分滴灌下施氮量对棉花干物质积累的影响 较高的干物质积累是棉花获得高产的物质基

础,不同水肥处理直接影响棉花干物质积累。各处理棉花单株地上部总干物质(y)依出苗后天数(t)的增长可依据 Logistic 方程得出快速积累时间及最快积累速率,从表 7 可知,棉花单株地上部总干物质快速积累时间段出现在出苗后 $52\sim110\text{ d}$ 。同一氮肥处理下,滴灌量 $2\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理比 $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的持续时间长 $2\sim3\text{ d}$,但最大干物质积累速率提高了 $4.5\%\sim6.6\%$ 。同一滴灌量下,随着施氮量的增加,棉株干物质积累量、持续时间及最大积累速率呈先升后降的趋势,均表现为 $\text{N}2>\text{N}3>\text{N}1>\text{N}0$;至吐絮期,在 $2\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 滴灌量下, N1、N2、N3 处理分别较 N0 处理干物质积累量增加了 3.4 、 41.9 、 $31.7\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,持续时间缩短了 4 d 、 7 d 、 6 d ,最大积累速率提高了 9.69% 、 37.6% 、 31.95% ;在 $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 滴灌量下, N1、N2、N3 处理分别较 N0 处理干物质积累量增加了 15.7 、 47.1 、 $31.9\text{ g}\cdot\text{株}^{-1}$,持续时间缩短了 2 、 7 、 3 d ,最大积累速率提高了 18.1% 、 36.8% 、 31.7% 。说明不同滴灌量下 N2 处理能够有效地协调植株的营养生长与生殖生长关系,前期积累较高的干物质为后期生殖生长阶段提供物质基础,有利于棉花产量及品质的形成。

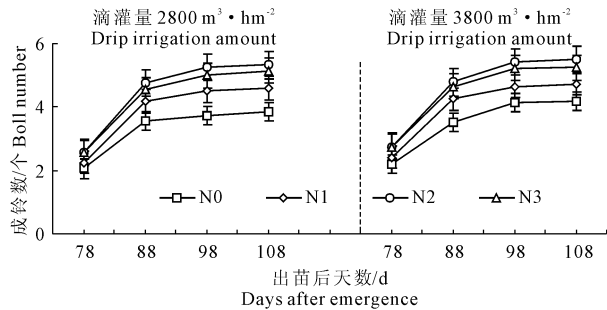


图 3 不同处理下棉花成铃数动态变化

Fig.3 The dynamic changes of boll number under different treatments

2.5.2 非充分滴灌下施氮量对棉花干物质分配的影响 由图 4 可知,营养器官干物质积累至盛铃期最大,随后降低;生殖器官干物质积累和分配比例均随生育进程而逐渐增加。同一氮肥处理下,滴灌量 $2\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理比 $3\,800\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理营养器官和生殖器官分别平均降低了 9.1% 、 0.3% 。同一滴灌量下,随着施氮量的增加,营养器官干物质积累比例呈增加趋势,表现为 $\text{N}3>\text{N}2>\text{N}1>\text{N}0$;生殖器官干物质积累比例呈先升后降的趋势,表现为 $\text{N}2>\text{N}3>\text{N}1>\text{N}0$ 。不同滴灌量下 N2 处理均有利于营养生长及时向生殖生长转化,促进最终产量的形成。

表 7 棉花干物质累积的 Logistic 模型及其特征值

Table 7 The logistic model of cotton dry matter accumulation and its characteristics

滴灌量 Drip irrigation amount /(m ³ ·hm ⁻²)	氮肥处理 Nitrogen fertilization rate	方程 Equation	t ₀ /d	t ₁ /d	t ₂ /d	Δt /d	V _m /(g·株 ⁻¹ ·d ⁻¹) /(g·plant ⁻¹ ·d ⁻¹)	R ²
2800	N0	y = 64.52/(1 + e ^(4.86 - 0.068t))	72	52	91	39	0.95	0.97 [*]
	N1	y = 67.95/(1 + e ^(5.13 - 0.062t))	83	62	104	43	1.05	0.99 [*]
	N2	y = 106.4/(1 + e ^(4.99 - 0.057t))	87	64	110	46	1.52	0.97 [*]
	N3	y = 96.23/(1 + e ^(4.93 - 0.058t))	85	62	108	45	1.40	0.97 [*]
3800	N0	y = 56.36/(1 + e ^(4.71 - 0.064t))	74	53	94	41	0.90	0.98 [*]
	N1	y = 72.04/(1 + e ^(4.70 - 0.061t))	77	56	99	43	1.10	0.98 [*]
	N2	y = 103.4/(1 + e ^(4.60 - 0.055t))	84	60	108	48	1.42	0.95 [*]
	N3	y = 88.27/(1 + e ^(4.79 - 0.059t))	80	58	102	44	1.32	0.99 [*]

注: t 为棉花出苗后的天数(d); y 为棉花干物质积累量(g·株⁻¹); t_0 为干物质积累最大速率出现时间; t_1 、 t_2 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点; Δt 为干物质快速积累持续时间; V_m 为干物质最大增长速率。

Note: t represents days after the emergence of cotton; y represents dry matter accumulation(g·plant⁻¹); t_0 represents days when the maximum dry matter accumulation rate occurred; t_1 , t_2 are the two inflexions of the logistic equations respectively; Δt represents the duration time taken by dry matter rapid accumulation; V_m represents the maximum increase rate of dry matter.

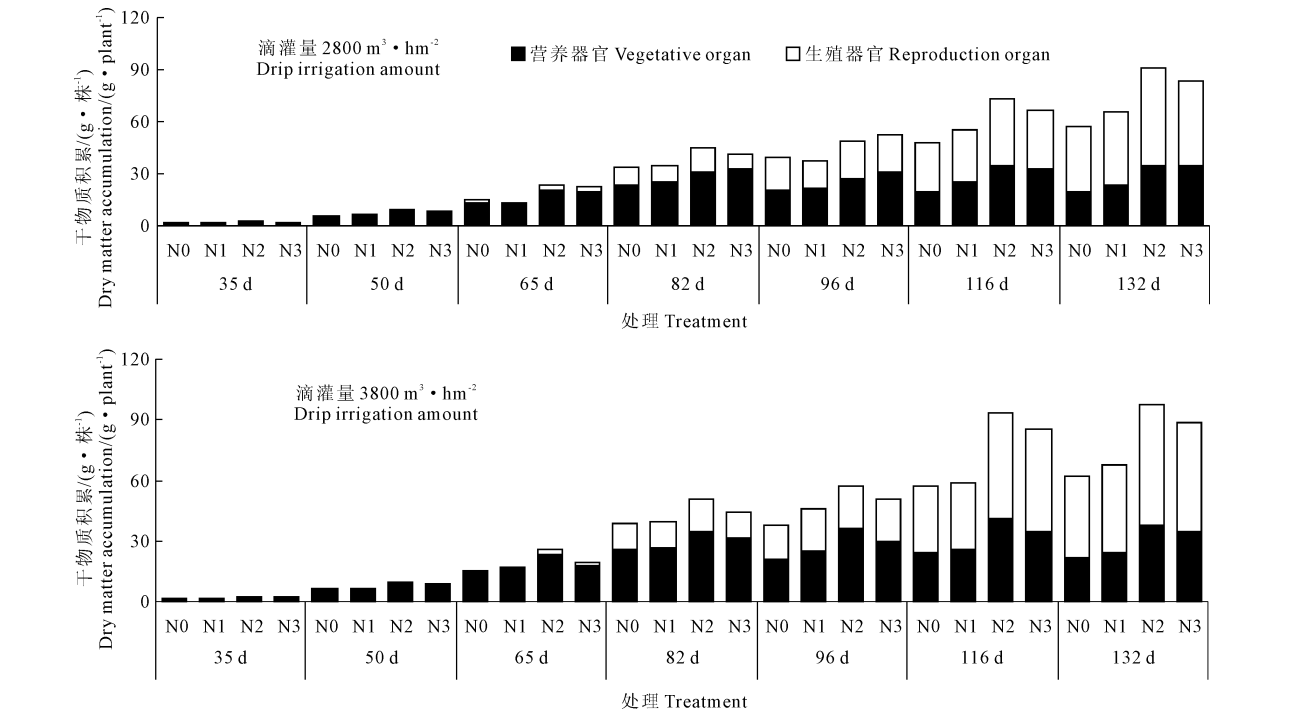


图 4 不同处理棉花干物质累积分配的动态变化

Fig.4 Dynamic changes of dry matter accumulation and distribution of cotton under different treatments

2.6 非充分滴灌下施氮量对棉花产量及水氮利用率的影响

如表 8 所示,N2、N3 处理除水、氮利用率均无显著性差异,但与 N0、N1 均达到显著性差异。同一氮肥处理下,随着滴灌量的增加单株结铃数、单铃重、皮棉产量呈上升趋势,但水分利用率及氮肥利用率呈下降趋势,与 3 800 m³·hm⁻²相比,滴灌量为 2 800 m³·hm⁻² 的处理单株结铃数减少了 0.89% ~

3.79%、单铃重下降了 0 ~ 3.19%、皮棉产量降低了 14.1 ~ 129.1 kg·hm⁻²、水分利用率提高了 20.66% ~ 26.51%、氮肥利用率提高了 27.37% ~ 35.96%。同一滴灌量下,不同处理随着施氮量的增加单株结铃数、单铃重、皮棉产量、水分利用效率及氮肥利用率呈先增后降的趋势,表现为 N2 > N3 > N1 > N0;在 2 800 m³·hm⁻²滴灌量下,N1、N2、N3 处理较 N0 处理单株结铃数分别增加了 14.41% ~ 28.03%、单铃重

增加了 15.15%~16.17%、水分利用率提高了 27.11%~40.98%、氮肥利用率提高了 17.24%~37.41%、皮棉产量分别增产了 26.8%、40.4%、39.6%;在 3 800 m³·hm⁻²滴灌量下,N1、N2、N3 处理较 N0 处理单株结铃数分别增加了 11.83%~

26.17%、单铃重增加了 10.89%~13.91%、水分利用率提高了 21.31%~36.84%、氮肥利用率提高了 11.04%~27.17%、皮棉产量分别增产了 20.7%、36.3%、33.7%。说明 2 800 m³·hm⁻²滴灌量与 N2 处理组合水、氮利用效率最高,且增产效果最优。

表 8 不同处理对棉花产量及水氮利用率的影响							
Table 8 Effects of different treatments on the yield,water and nitrogen use efficiency of cotton							
滴灌量 Drip irrigation amount /(m ³ ·hm ⁻²)	氮肥处理 Nitrogen fertilization rate	单株成铃数 Bolls per plant	单铃重 Boll weight /g	皮棉产量 Lint yield /(kg·hm ⁻²)	增产率 Yield increase rate /%	水分利用率 WUE /%	氮肥利用率 NUE /%
2800	N0	3.80 c	5.15 b	1363.1 c		1.21 c	
	N1	4.44 b	6.07 a	1908.6 b	26.76	1.66 b	17.24 c
	N2	5.28 a	6.18 a	2366.6 a	40.41	2.05 a	37.41 a
	N3	5.05 a	6.15 a	2257.9 a	39.63	1.95 b	29.42 b
3800	N0	3.95 c	5.32 b	1492.2 c		0.96 c	
	N1	4.48 b	5.97 a	1885.5 b	20.68	1.22 b	11.04 c
	N2	5.35 a	6.18 a	2380.7 a	36.30	1.52 a	27.17 a
	N3	5.14 a	6.17 a	2283.3 a	33.65	1.46 b	21.35 b

3 讨论与结论

近年来,为了提高棉花产量,氮肥施用量已超过棉花生长所需,造成了贪青晚熟、产量和品质大幅度下降,氮利用效率不高,生产成本增加及生态环境恶化等问题^[16-17]。大量研究表明适宜的施氮能优化株型,改善生育进程,减少蕾铃脱落^[18-19]。本研究表明,在初花期后,生育进程随着施氮量的增加而明显延迟,从整个生育期来看,N1、N2、N3 较 N0 处理平均延迟 4 d、7 d、10 d。N0、N1 自初花后出现轻度早衰现象,至吐絮期 N0 处理出现严重早衰,不利于产量形成。同一氮肥处理下,株高随着滴灌量的增加而增加,真叶数、倒四叶宽、茎粗随着滴灌量的增加略有降低。同一滴灌量下,株高、真叶数和果枝数随着施氮量的增加而增加,倒四叶宽和有效果枝数随着施氮量的增加呈先增后减的趋势。不同氮肥处理 LAI 呈先上升后下降的趋势,在盛铃期(出苗后 82 d)达到最大值,各氮肥处理 LAI 均表现为 N2>N3>N1>N0。综上所述,非充分滴灌虽然株高和 LAI 较常规滴灌低,但真叶数、倒四叶宽、茎粗优于常规滴灌,且增加显著;氮肥处理方面以 N2 处理下株高、真叶数、果枝数和 LAI 最高;显著提高了水分利用效率,并且没有限制氮肥利用效率提高,最终有利于产量的形成。

氮肥运筹是有效地提高作物产量和品质的关键^[20-21]。对于棉花滴灌条件下的施氮量,王肖娟

等研究得出,随施氮量的增加,棉花产量呈先增大后减小的趋势,当施氮量为 360 kg·hm⁻²时,棉花产量和氮肥利用率达最高^[22]。但也有研究表明,施氮量在 300 kg·hm⁻²以上时,氮肥的增产效果已经不显著^[23]。本研究表明,现蕾数和成铃数表现为随着施氮量的增加呈先增加后下降的趋势,以 N2 处理较多。滴灌量 2 800 m³·hm⁻²比 3 800 m³·hm⁻²的快速生长期持续短 2~3 d,使营养器官和生殖器官干物质平均降低了 9.1%、0.3%,但最大干物质积累速率提高了 4.5%~6.6%;干物质积累量、持续时间和最大积累速率随着施氮量的增加呈先升后降的趋势,以 N2 处理最为协调,有利于营养生长及时向生殖生长转化,促进最终产量的形成。两灌溉量间单铃重与皮棉产量差异不显著,但随着施氮量的增加呈先增后降的趋势,以 N2 处理最高,分别比 N0、N1、N3 平均增产 39.9%、20.1%、4.3%。因此棉花在非充分滴灌(2 800 m³·hm⁻²)条件下施氮量(纯 N)以 300 kg·hm⁻²较为适宜。

参 考 文 献:

[1] 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.
[2] 吴立峰,张富仓,周罕宽,等.不同滴灌施肥水平对新疆棉花水分利用率和产量的影响[J].农业工程学报,2014,30(20):137-146.
[3] 郭艳波,冯 浩,吴普特.作物非充分灌溉决策指标研究进展[J].中国农学通报,2007,23(8):520-525.
[4] Du Taisheng, Kang Shaozhong. Water use and yield responses of cotton

to alternate partial root-zone drip irrigation in the arid area of north-west China[J]. Irrigation Science, 2008, 26: 147-159.

[5] 冯绍元, 马英, 霍再林, 等. 非充分灌溉条件下农田水分转化 SWAP 模拟[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 60-68.

[6] 陈玉民, 孙景生, 肖俊夫. 节水灌溉的土壤水分控制标准问题研究[J]. 灌溉排水, 1997, 16(1): 24-28.

[7] 程冬玲, 林性粹, 蔡焕杰. 膜下滴灌技术对新疆绿洲农业持续发展的效应[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 59-62.

[8] 高龙, 田富强, 倪广恒, 等. 膜下滴灌棉田土壤水盐分布特征及灌溉制度试验研究[J]. 水利学报, 2010, 41(12): 1158-1165.

[9] 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.

[10] 邵光成, 俞双恩, 杨道成, 等. 大田棉花膜下滴灌与沟灌的应用研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 84-86.

[11] 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.

[12] 陈宝燕, 马兴旺, 盛建东, 等. 新疆内陆干旱区棉花水肥耦合研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13): 124-128.

[13] 蔡焕杰, 邵光成, 张振华. 棉花膜下滴灌水毛布置方式的试验研究[J]. 水利学报, 2002, 33(11): 119-123.

[14] 张海娜, 李存东, 肖凯. 氮素对不同衰老特性棉花品种光合

特性和细胞保护酶活性的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(5): 170-174.

[15] 刘永红, 杨勤, 杨文任, 等. 花期干湿交替对玉米干物质积累与再分配的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1723-1727.

[16] 李培岭, 张富仓, 贾运岗. 沙漠绿洲地区膜下滴灌棉花利用的水氮耦合效应[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 1346-1354.

[17] 王海江, 崔静, 侯振安, 等. 膜下滴灌棉花水氮耦合对其干物质和水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 76-80.

[18] 余渝, 陈冠文, 林海, 等. 北疆棉区棉花蕾铃脱落规律的初步研究[J]. 中国棉花, 1999, 26(11): 12-13.

[19] 胡明芳, 田长彦, 马英杰, 等. 氮素营养对棉铃形成与脱落的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 95-98.

[20] 黄绍文, 金继运, 董悦厚, 等. 追肥运筹对优质小麦产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2003, (2): 2-6.

[21] 王春枝, 郭世乾, 刘凤芹, 等. 追肥运筹对不同品种春小麦蛋白质含量及组分的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 204-207.

[22] 王肖娟, 危常州, 张君, 等. 灌溉方式和施氮量对棉田氮肥利用率及损失的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2751-2758.

[23] 侯秀玲, 张炎, 王晓静, 等. 新疆超高密度棉田氮肥运筹对产量和氮肥利用的影响[J]. 棉花学报, 2006, 18(5): 273-278.

(上接第 66 页)

碳氮比较低的处理烟叶总糖和还原糖含量的合成受到抑制,特别是上部叶,而碳氮比大于 20 的处理中含量明显偏高;其还原糖/总糖的比值综合以碳氮比在 20~40 范围内最接近优质烟叶的标准。同时还原糖/烟碱和总氮/烟碱的比值也以 20~40 范围综合接近标准。总体来说,不同碳氮比有机物料影响烤烟的碳氮代谢,进一步调节烟叶本身的碳氮相关化合物的分配,最终导致了烤烟产量和品质的等级划分。

综合不同碳氮比对烤烟农艺性状和化学成分的影响,碳氮比过高或过低均不利于烤烟的碳氮代谢及其相关品质指标;而碳氮比为 20~40 则使烤烟的碳氮循环更加协调,能够使烤烟在适当的时间从碳循环过渡到氮循环,从而提高烤烟的品质,故我们推荐在豫中浓香型烟区,施用有机物料调节碳氮比为 20~40 更有利于提升烤烟的产量和品质。

参考文献:

[1] 黄树永, 陈良存. 烟草碳氮代谢研究进展[J]. 河南农业科学, 2005, 4: 8-11.

[2] 陈红丽. 腐熟麦秸对植烟土壤的营养效应及其机理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013.

[3] 杨双剑. 有机施肥模式对植烟土壤微生态的调控研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.

[4] 许静. 培肥措施对烟田土壤生化活性及烟草品质影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.

[5] 邢少峰, 刘海轮, 和文祥, 等. 培肥对烟田土壤化学性质及烟草品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(1): 126-130.

[6] 韩富根, 史金钟, 王校辉, 等. 窝肥施用芝麻类有机物料对烤烟化学成分和香气质量的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(14): 2980-2989.

[7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[8] 王瑞新, 韩富根, 杨素勤. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1990.

[9] 耿富卿, 苟剑渝, 何楷, 等. 不同碳氮比对有机肥发酵过程中微生物数量的影响[J]. 作物研究, 2013, 27(S1): 25-28.

[10] 邱学礼, 郑波, 鲁耀, 等. 玉米秸秆碳氮比调控施用对烟叶氮磷钾吸收的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 125-129.

[11] 高琴, 刘国顺, 李姣, 等. 不同氮肥水平对烤烟质体色素和碳氮代谢及品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2013, 47(2): 138-142.

[12] 李继福, 任涛, 鲁剑巍, 等. 水稻秸秆钾与化肥钾释放与分布特征模拟研究[J]. 土壤, 2013, 46(6): 1017-1022.

[13] 李正风, 张晓海, 夏玉珍, 等. 秸秆还田在植烟土壤性状改良上应用的研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(5): 165-170.

[14] 曾宇, 符小鹏, 叶协锋, 等. 烟田施用腐熟小麦秸秆对烤烟质量的影响[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(3): 68-72.

[15] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.