

河西走廊绿洲棉花集群高产栽培试验研究

苏培玺,解婷婷,丁松爽

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,临泽内陆河流域研究站,植物逆境生理生态与生物技术实验室,甘肃 兰州 730000)

摘 要: 根据荒漠植物集群分布适应极端严酷环境的特点,在棉花传统栽培和改进栽培的基础上,开展了 1 穴 3 株栽培试验,在小区试验筛选出最佳种植方式的基础上,再次进行了田间试验。小区试验表明,1 穴 3 株皮棉产量最高达到 1 498 kg/hm²,高出 1 穴 1 株传统栽培 32.3%,高出 1 穴 2 株改进栽培 23.0%;同样,水分利用效率也是 1 穴 3 株高于 1 穴 1 株和 1 穴 2 株,皮棉水分利用效率分别高出 1 穴 1 株和 1 穴 2 株 28.6%和 20.0%。田间试验表明,1 穴 3 株皮棉产量显著提高($P<0.05$),分别高出 1 穴 1 株和 1 穴 2 株 36.5%和 20.2%;1 穴 3 株的皮棉水分利用效率分别高出 1 穴 1 株和 1 穴 2 株 30.0%和 18.2%。这表明,荒漠绿洲区棉花 1 穴 3 株的集群栽培能够显著提高皮棉产量,以带行穴距 50 cm×30 cm×25~30 cm 的双行带状种植为宜,株距随着土壤肥力提高和立地条件改善而加大。这一栽培模式可以在边缘绿洲大力推广。

关键词: 棉花;种植模式;水分利用效率;荒漠绿洲
中图分类号: S562.048 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0108-06

中国干旱区河西走廊绿洲只占该区总面积的 5%,却消耗着该区域水资源总量的 95%以上。黑河中游绿洲用水总量占黑河出山口天然径流量的 90%,其中农业用水占 85%以上。发展节水农业是绿洲可持续发展的必由之路。2000 年开始实施的西部大开发战略,为绿洲节水农业发展提供了契机,工程节水建设得到长足发展,渠道衬砌、管道输水等大大提高了渠系水利用率;黑河中游渠系水利用系数由实施前的 0.5 提高到目前的 0.7,水资源利用率得到很大提高。随着水的时空调控能力得到最大限度的发挥,通过植物的生理调控和群体适应,以及遗传改良,达到增产和提高水分利用效率的生物节水显得尤为重要^[1]。

植物种群的空间分布有随机分布(random distribution)、均匀分布(uniform distribution)和集群分布(contagious distribution)等,集群分布也称集聚分布(aggregated distribution),是大多数荒漠植物适应严酷环境的分布格局。作物水分利用效率(WUE)反映了作物耗水与光合作用物质生产的关系,是评价作物节水能力的指标;节水也叫高效用水,是指在获得相同产量的条件下消耗较少的水分,或者在消耗相同水分的条件下获得较高的产量^[2]。在荒漠绿洲区,棉花生育期需水量为 675.5 mm,从现蕾到结铃期需水最多,日均为 5.5 mm/d^[3];但实际生产中,棉花栽培灌溉耗水量却要高得多,可达 1 100 mm,采用传统的 1 穴 1 株栽培模式,无效蒸发和渗漏耗水严重,

棉花水分利用效率低下。我们根据荒漠植物适应干旱严酷环境的集群分布特点和植物个体间的正相互作用关系,改进传统的均匀栽培方式,设计不同种植方式和规格进行小区试验,探索最佳的栽培管理模式,然后进行田间集群栽培试验。在不增加灌溉耗水量的前提下,肥料集中施用,水分有效利用,达到提高干旱区棉花产量和水分利用效率的目的。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于甘肃省河西走廊中部黑河中游临泽县北部,绿洲外与巴丹吉林沙漠南缘延伸带相接,依赖黑河水,为典型的沙漠绿洲,属干旱荒漠气候类型,多年平均降水量 116.8 mm,年潜在蒸发量 2 390 mm,为降水量的 20 多倍;年均气温 7.6℃,最高气温 39.1℃,最低-27℃,≥10℃的年积温为 3 088℃,无霜期 165 d;主风向为西北风,风沙活动集中在 3~5 月,年均风速 3.2 m/s,大于 8 级大风日数年均均为 15 d;年日照时数为 3 045 h;冻土深度 1.0 m 左右。干旱高温和多风是其主要气候特点。地带性土壤为灰棕荒漠土。

试验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域研究站(39°21' N, 100°02' E, 海拔 1 400 m)进行,该区属于边缘绿洲,为灌溉风沙土。试验小区为用油毡、聚乙烯棚膜和砖及水泥修筑成的 4 m×4 m 防侧渗无底池,侧壁深 1.5 m;土壤结构

差,0~20 cm 耕作层粉、沙粒占 90%,20 cm 以下土壤 0.25~0.10 mm 的沙粒显著增加,40~60 cm 土层占 54%以上(表 1);土壤贫瘠,有机质含量在耕作层只有 1.1%,随土层加深急剧减少(表 2)。常年平均地下水位 4.2 m,毛管水上升高度 65 cm^[4],地下水不能补给到棉花根系分布层。

表 1 试验地土壤机械组成

Table 1 Soil particle size distribution in experimental field

深度 Depth (cm)	沙粒 Sand (%)				粗粉粒 Coarse silt 0.05~0.02 mm (%)	细粉粒 Fine silt 0.02~0.002 mm (%)	粘粒 Clay <0.002 mm (%)
	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.10 mm	0.10~0.05 mm			
0~20	3.63	14.83	21.99	11.69	9.92	27.58	10.36
20~40	0	9.90	42.01	8.10	5.37	23.86	10.76
40~60	0.81	14.10	54.45	6.30	2.84	15.91	5.59

表 2 试验地土壤养分

Table 2 Soil nutrient in experimental field

深度 Depth (cm)	有机质含量 Organic content (%)	pH	总盐量 Total salt (%)	全养分 Total nutrient(g/kg)			速效养分 Available nutrient(mg/kg)		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0~20	1.14	8.7	0.11	0.40	0.44	20.5	24.8	14.1	116.6
20~40	0.55	8.9	0.12	0.17	0.37	19.8	17.7	7.1	87.5
40~60	0.26	9.1	0.11	0.07	0.32	18.9	13.6	2.4	78.1

1.2 试验设计

2006 年进行棉花小区试验,品种为早熟陆地棉品种——新陆早 8 号。小区试验面积总计 450 m²,

灌溉水源为附近井水,用水表计量控制灌水量。根据单穴株数和种植规格不同,共设置 9 种处理,每种处理重复 3 次,随机排列,2 行带状种植(见表 3)。

表 3 棉花小区试验设计

Table 3 Plot experiment design of cotton

处理编号 No. of treatment	单穴株数(株) Plant in a hole (plant/hole)	带距 Distance between strips (cm)	行距 Distance between rows (cm)	穴距 Distance between holes (cm)	单位面积穴数 (万穴/hm ²) Hole per hm ² (10 ⁴ hole/hm ²)	单位面积株数 (万株/hm ²) Plant per hm ² (10 ⁴ plant/hm ²)
1	1	40	20	16	20.83	20.83
2	2	40	30	27	10.58	21.16
3	3	40	40	35	7.14	21.42
4	1	50	30	15	16.67	16.67
5	2	50	30	18	13.89	27.78
6	3	50	30	25	10.00	30.00
7	1	50	30	20	12.50	12.50
8	2	50	30	20	12.50	25.00
9	3	50	30	20	12.50	37.50

3 月 25 日整地,施基肥羊粪 15 t/hm²;4 月 8 日施磷酸二铵 375 kg/hm²,覆地膜;6 月 22 日喷硫酸锌叶面肥,6 月 27 日追施尿素 125 kg/hm²,8 月 2 日追施尿素 65 kg/hm²。6 月 18 日打缩节胺,防止徒长。

4 月 26 日播种,5 月 3 日为出苗期,5 月 22 日为间苗期,6 月 12 日为现蕾期,7 月 5 日为开花期,7 月 24 日为结铃期,9 月 15 日棉花开始采收,10 月 10 日停止生长。

2008 年进行同品种的田间试验,面积 700 m²,3 种种植方式,每种重复 3 次,随机排列,2 行带状种

植,具体如下:

(1) 1 穴 1 株,带行穴距 50 cm×30 cm×18 cm,13.89 万穴/hm²,13.89 万株/hm²;

(2) 1 穴 2 株,带行穴距 50 cm×30 cm×20 cm,12.50 万穴/hm²,25.00 万株/hm²;

(3) 1 穴 3 株,带行穴距 50 cm×30 cm×25 cm,10.00 万穴/hm²,30.00 万株/hm²。

以上试验除种植方式和摘心措施不同外,其它条件均相同。1 穴 1 株在 7 月下旬摘心 1 次,控制高生长;1 穴 2 株摘心 2 次,分别在 7 月上、下旬,形成

2 层;1 穴 3 株摘心 3 次,分别在 6 月下旬和 7 月中、下旬,形成 3 层。

1.3 测定项目及统计分析

小区试验籽棉产量按小区单收计产,随机抽取 20 个棉桃絮计算衣分率,得出皮棉产量;生物量每个小区调查 10 穴。皮棉、籽棉产量和生物产量均为干重,即各小区取样用品用烘箱在 80℃ 下烘干后(24 h),计算含水率,折算烘干重量。小区试验水分利用效率(WUE)计算公式为:

$$WUE = Y / WC$$

式中,Y 为籽棉或皮棉产量;WC 为耗水量,是总灌溉定额和生育期降水量之和,总灌溉定额为播前灌水量与生育期灌水量之和。

田间试验水分利用效率计算中耗水量为总灌溉定额。

对不同种植方式产量和水分利用效率之间的差异进行方差分析,采用 Duncan 新复极差法(Duncan's new multiple range test)在 95%水平上进行多重比较检验。

2 结果与分析

2.1 小区试验灌溉定额和生育期降水量

在播种前的 4 月 18 日灌水 1 200 m³/hm²,生育期共灌水 5 次,分别为 6 月 11 日促蕾水 1 250 m³/hm²,6 月 27 日促花水 1 250 m³/hm²,7 月 18 日促铃水 1 250 m³/hm²,8 月 2 日结铃水 1 000 m³/hm²,8 月 23 日吐絮水 1 000 m³/hm²。灌溉定额为 5 750 m³/hm²,加上播前灌水定额,总灌溉定额为 6 950 m³/hm²。

全年降水 116.3 mm,与多年平均降水量 116.8 mm 接近,为降水正常年。总共降水 47 次(图 1),降水最多在 7 月份,降水 11 次,总共降水 55.2 mm。从全年分析,一次性降水量超过 8 mm 的只有 4 次,分别在 7 月 6 日、7 日、21 日和 8 月 19 日,降水量分别为 11.0、9.2、17.7 和 9.5 mm。一次性降水量超过 5 mm 的有 5 次,分别在 5 月 8 日、20 日,7 月 13 日、31 日和 8 月 10 日,降水量分别为 5.6、7.2、6.5、5.7 和 6.0 mm。荒漠绿洲区降水总量小,降水次数少,而且大部分降水为无效水,一次性降水量不足 8 mm,对植物生长几乎不起作用,因为这么少量的雨水在其尚未渗入到植物根系分布层之前就已蒸发殆尽^[5]。也有人认为,低于 5 mm 的降水为无效降水。我们认为,少量的降水对补充土壤水分微不足道,但对缓解大气干旱有积极意义,对处于需水临界期的植物,特别是荒漠植物有重要作用。棉花生育期降

水量为 107.2 mm,即 1 072 m³/hm²。

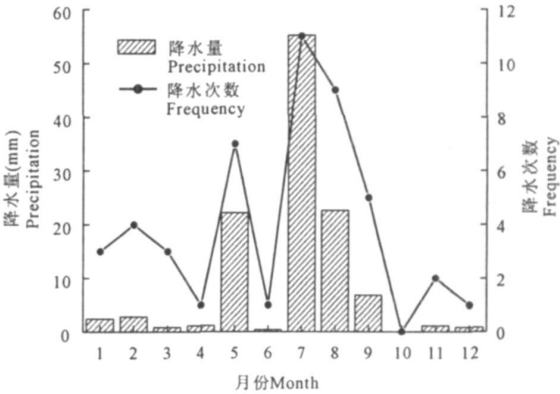


图 1 2006 年降水量分布图

Fig. 1 The diagram of precipitation distribution in 2006

2.2 小区试验棉花产量和水分利用效率

从表 4 看出,不同种植方式衣分率之间没有明显的变化特点,最高的为处理 2(1 穴 2 株、10.58 万穴/hm²、21.16 万株/hm²)和处理 6(1 穴 3 株、10.00 万穴/hm²、30.00 万株/hm²);最低的为处理 8(1 穴 2 株、12.50 万穴/hm²、25.00 万株/hm²)和处理 1(1 穴 1 株、20.83 万株/hm²)。1 穴 1 株的平均衣分率为 36%,1 穴 2 株为 37%,1 穴 3 株为 37.7%。比较看出,1 穴 3 株并不降低衣分率,反而衣分率最高。从衣分率得出,1 穴 3 株中以带行穴距 50 cm×30 cm×25 cm、10.00 万穴/hm²、30.00 万株/hm² 的种植方式最好。

从不同种植方式棉花产量看出(表 4),种植方式 6 的籽棉和皮棉产量最高,种植方式 1 的最低。将 21 万株/hm² 左右、单位面积株数相差不大的三种植植方式 1、2、3 比较看出,以第 3 种植植方式,即 1 穴 3 株栽培籽棉和皮棉产量最高;在等行距适宜穴距的 4、5、6 三种不同种植方式中,也是以第 6 种植植方式,即 1 穴 3 株栽培产量最高;在等行距等穴距的 7、8、9 三种植植方式中,第 9 种植植方式,由于穴密度过大不利于产量提高,反而下降。

将 9 种不同种植方式按 1 穴 1 株、1 穴 2 株和 1 穴 3 株归类分析得出,皮棉平均产量 1 穴 1 株为 1 132.0 kg/hm²,1 穴 2 株为 1 217.4 kg/hm²,1 穴 3 株为 1 322.1 kg/hm²,进一步比较得出,1 穴 3 株中以种植方式 6 皮棉产量最高,达到 1 498.0 kg/hm²,高出 1 穴 1 株 32.3%,高出 1 穴 2 株 23.0%。穴密度和棉株密度过高,产量反而下降,1 穴 3 株集群栽培带行穴距以 50 cm×30 cm×25~30 cm、8.33~10.00 万穴/hm²、25.00~30.00 万株/hm² 为好。

表 4 小区试验不同种植方式棉花产量和水分利用效率(2006)

Table 4 Yield and water use efficiency of cotton under different planting modes in plot experiment (2006)

指标 Index	种植方式 Planting mode								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
衣分率 Lint percentage(%)	35	39	38	37	38	39	36	34	36
籽棉产量(kg/hm ²) Seed cotton yield	2566.8 ±312.8	2865.0 ±148.3	3625.1 ±18.3	3513.0 ±239.8	3656.1 ±757.4	3841.0 ±73.7	3327.2 ±450.5	3368.8 ±335.8	3029.9 ±365.6
皮棉产量(kg/hm ²) Lint yield	898.4 ±109.5	1117.4 ±57.9	1377.5 ±7.0	1299.8 ±88.7	1389.3 ±287.8	1498.0 ±28.7	1197.8 ±162.2	1145.4 ±114.2	1090.8 ±131.6
总生物产量(t/hm ²) Total biomass yield	4.86 ±0.59	9.24 ±0.48	13.07 ±0.07	4.15 ±0.28	11.14 ±2.31	13.97 ±0.27	4.25 ±0.58	9.38 ±0.94	15.80 ±1.91
地上生物产量(t/hm ²) Aboveground biomass yield	4.16 ±0.58	7.95 ±0.44	11.46 ±0.09	3.49 ±0.28	9.12 ±1.82	11.58 ±0.23	3.54 ±0.48	7.65 ±0.76	13.42 ±1.86
地下生物产量(t/hm ²) Underground biomass yield	0.70 ±0.03	1.29 ±0.08	1.61 ±0.12	0.66 ±0.04	2.02 ±0.49	2.39 ±0.11	0.71 ±0.09	1.73 ±0.19	2.38 ±0.08
籽棉/耗水量(kg/m ³) Seed cotton yield/ water consumption	0.32 ±0.04	0.35 ±0.02	0.45 ±0.00	0.43 ±0.03	0.45 ±0.09	0.47 ±0.01	0.41 ±0.06	0.42 ±0.04	0.37 ±0.05
皮棉/耗水量(kg/m ³) Lint yield/water consumption	0.11 ±0.01	0.14 ±0.01	0.17 ±0.00	0.16 ±0.01	0.17 ±0.04	0.18 ±0.00	0.15 ±0.02	0.14 ±0.01	0.13 ±0.02

注:表中数据为平均值±标准误差。 Note: The values represent mean ± SE.

从总生物产量可以看出(表 4),种植方式 1、4、7,即 1 穴 1 株最低,平均为 4.42 t/hm²,种植方式 2、5、8,即 1 穴 2 株平均为 9.92 t/hm²,1 穴 3 株平均为 14.28 t/hm²。种植方式 9 总生物产量最高,但皮棉产量反而减少。地上生物产量 1 穴 1 株平均为 3.73 t/hm²,1 穴 2 株为 8.24 t/hm²,1 穴 3 株为 12.15 t/hm²。从地上和地下生物产量比较种植方式 6 和 9 得出,1 穴 3 株密度过大,增加的主要是地上生物量,根系生物量变化小。从种植方式 1、4、7 也可以看出,同一种植方式不同密度地上生物量变化大,根系生物量变化小。总体比较得出,1 穴 3 株的集群栽培在不增加灌溉定额的情况下,显著增加了生物量,将土壤无效蒸发转变为棉株有效蒸腾;增加了地面生物覆盖,有利于形成湿润的微环境。

水分利用效率比较看出(表 4),种植方式 1、4、7 等 1 穴 1 株的籽棉水分利用效率平均为 0.39,皮棉水分利用效率为 0.14;种植方式 2、5、8 等 1 穴 2 株的籽棉水分利用效率为 0.41,皮棉水分利用效率为 0.15;种植方式 3、6、9 等 1 穴 3 株的籽棉水分利用效率为 0.43,皮棉水分利用效率为 0.16。比较得出,1 穴 3 株集群栽培的水分利用效率高于 1 穴 1 株和 1 穴 2 株,其中种植方式 6 最高,皮棉水分利用效率达到 0.18。从皮棉水分利用效率得出,1 穴 3 株的集群栽培中以带行穴距 50 cm×30 cm×25 cm、10.00 万穴/hm²、30.00 万株/hm² 为最高,高出 1 穴 1 株的传统栽培 28.6%,高出 1 穴 2 株的改进栽培 20.0%。

2.3 田间试验棉花产量和水分利用效率

试验田棉花播前灌水 1 320 m³/hm²,生育期共灌水 6 次,分别为 6 月 3 日灌水 1 320 m³/hm²,6 月 24 日灌水 1 320 m³/hm²,7 月 10 日灌水 1 200 m³/hm²,7 月 14 日灌水 1 200 m³/hm²,8 月 4 日灌水 1 200 m³/hm²,8 月 25 日灌水 1 200 m³/hm²,灌溉定额为 7 440 m³/hm²,总灌溉定额为 8 760 m³/hm²。

棉花产量见表 5,分析得出,不同种植方式籽棉产量之间存在显著差异($F=15.0>F_{0.05}(2,6)=5.14$),多重比较($LSR_{0.05}(3,6)=439.3$)得出,1 穴 3 株籽棉产量显著高于其它两种种植方式,高出 1 穴 1 株传统栽培 34.0%,高出 1 穴 2 株 19.3%。1 穴 1 株、1 穴 2 株和 1 穴 3 株的衣分率分别为 37.2%、37.6%和 37.9%,集群栽培衣分率有所提高。按皮棉产量比较,1 穴 3 株高出 1 穴 1 株 36.5%,高出 1 穴 2 株 20.2%。

地上生物量分析得出,不同种植方式之间没有显著差异($P>0.05$)。地下生物量之间存在显著差异($F=8.6>F_{0.05}(2,6)=5.14$),多重比较分析得出($LSR_{0.05}(3,6)=0.43$),1 穴 1 株和 1 穴 3 株之间存在显著差异,1 穴 1 株和 1 穴 2 株之间、1 穴 2 株和 1 穴 3 株之间不存在显著差异。总生物产量之间存在显著差异($F=5.8>F_{0.05}(2,6)=5.14$),多重比较分析得出($LSR_{0.05}(3,6)=2.51$),1 穴 1 株和 1 穴 3 株之间存在显著差异,与地下生物量分析结果一致。

表 5 田间试验不同种植方式棉花产量和水分利用效率(2008)

Table 5 Yield and water use efficiency of cotton under different planting modes in field experiment (2008)

种植方式 Planting mode	籽棉产量 Seed cotton yield (kg/hm ²)	皮棉产量 Lint yield (kg/hm ²)	总生物产量 Total biomass yield (t/hm ²)	地上生物产量 Aboveground biomass yield (t/hm ²)	地下生物产量 Underground biomass yield (t/hm ²)	籽棉/耗水量 Seed cotton yield/ water consumption (kg/m ³)	皮棉/耗水量 Lint yield/ water consumption (kg/m ³)
1 穴 1 株 1 plant in a hole	2279.3 ±93.8 _a	847.9 ±34.9 _a	3.32 ±0.14 _a	2.85 ±0.16 _a	0.47 ±0.02 _a	0.26 ±0.01 _a	0.10 ±0.00 _a
1 穴 2 株 2 plants in a hole	2560.1 ±98.2 _a	962.6 ±36.9 _a	4.92 ±0.47 _{ab}	4.11 ±0.41 _a	0.81 ±0.07 _{ab}	0.29 ±0.01 _a	0.11 ±0.00 _a
1 穴 3 株 3 plants in a hole	3053.9 ±110.9 _b	1157.4 ±42.0 _b	6.10 ±0.87 _b	5.04 ±0.72 _a	1.06 ±0.16 _b	0.35 ±0.01 _b	0.13 ±0.01 _b

注:表中数据为平均值±标准误差,相同的列中不同的小写字母表示差异达到显著水平($P<0.05$)。

Note: The value represents mean ± SE. In the same column, the different small letter means significantly different at the 0.05 level.

小区试验和田间试验相比较,田间试验地结构更差,土壤肥力更低,虽然增加了灌水定额,但试验期间土壤水分状况明显不如小区试验。从生物量结果看出(表 5),水分条件差促使棉花根系生长,不同种植方式地下部分生长量差异大。

计算的水分利用效率见表 5,皮棉水分利用效率 1 穴 3 株分别高出 1 穴 1 株和 1 穴 2 株 30.0%和 18.2%。

3 讨论与结论

在合适的密度和恰当的田间管理下,较大的群体和形成大铃、高的收获株数、单铃重和衣分是高产形成的主要原因^[6]。高密度条件下(22.5~30.0 万株/hm²),同一种植方式只打顶 1 次要比 2 次以上产量低^[7]。本试验研究中采用 1 穴 1 株摘心 1 次、1 穴 2 株摘心 2 次、1 穴 3 株摘心 3 次的整枝技术。小区试验高密度栽培中,1 穴 3 株、带行穴距 50 cm×30 cm×20 cm、12.50 万穴/hm²、37.50 万株/hm² 的栽培产量和水分利用效率明显降低。1 穴 2 株的两种高密度栽培方式,带行穴距 50 cm×30 cm×18 cm、13.89 万穴/hm²、27.78 万株/hm² 和带行穴距 50 cm×30 cm×20 cm、12.50 万穴/hm²、25.00 万株/hm² 的产量和水分利用效率均低于 1 穴 3 株、带行穴距 50 cm×30 cm×25 cm、10.00 万穴/hm²、30.00 万株/hm² 的栽培方式。一方面说明在适宜高密度下,分层、多次打顶有利于提高棉花产量,另一方面说明集群栽培使棉花群体适宜性(指利用生态资源进行有效生产的能力)增强,就是群体现实资源位向最适资源位不断贴近^[8],进一步优化了群体生态效能,使群体生产潜力进一步增强。田间试验结果和小区试验一致,只是田间试验没有防侧渗设置,灌溉单元面积 75 m²,远大于小区试验的 16 m²,灌水定额高,再加

上土壤结构更差,肥力更低,使得灌溉耗水量远大于小区试验,产量和水分利用效率均较小区试验为低。

在植物生活史阶段获取的总资源量一定的条件下,植物把获得的有限资源向某一器官分配增加必然造成对其它器官分配量的减少,在水分短缺条件下,根系生长通常快于地上部分生长^[9]。在小区试验中得出,同一种植方式的不同密度,增加的主要是地上生物产量,而地下生物产量变化小(表 4)。可以看出,在水分基本满足的情况下,提高密度有利于棉花地上部分生长。但是,小区试验与田间试验比较,不同种植方式小区试验在生物产量的增加中,地上生物产量增加较大,地下生物产量增加小;而田间试验中地上生物产量增加较小,地下生物量增加显著。整个生育期,小区试验的水分状况要明显好于田间试验,这可能是主要原因。

田间试验得出,棉花 1 穴 3 株的集群栽培方式,在地上生物产量增加不显著的情况下,显著增加了地下生物产量(表 5),也就是提高了棉花的御旱能力。1 穴 3 株集群栽培的适宜规格提高了水分利用效率,与传统栽培和改进栽培相比达到了显著水平($P<0.05$)(表 5)。高水分利用效率是形成高生产力的重要机制之一^[10]。集群栽培使每个植株在生长过程中自然倾斜。推测集群栽培抑制顶端优势,更好地调节棉株生殖生长与营养生长的关系,促进果枝生长,形成了有利于光合产物向棉铃转移和积累的株形结构和微环境。

从表 4、5 看出,1 穴 3 株的集群栽培总生物产量都显著高于 1 穴 1 株,生物产量和经济产量高也是一个重要的抗旱指标^[11]。在试验中发现,集群栽培叶片生长期比传统栽培明显长。长久保持绿色是一个重要抗旱特别是耐旱的生理指标^[11]。集群栽培使肥料集中施用,可有效地抑制 NH₃ 挥发和 NO₃⁻ 一

N 淋溶损失,有利于节水精准管理技术的应用。

新疆南部高产棉田皮棉产量可达 $3\,000\text{ kg/hm}^2$, 总干物质积累在 $14\sim 22\text{ t/hm}^2$ ^[6], 河西地区由于光热资源的限制,难以达到这个水平。由表 4 看出,在河西走廊中游地区,棉花总生物产量超过 14 t/hm^2 时皮棉产量反而降低。

本试验中,根据气候特点和棉花生长状况,研究得出,棉花 1 穴 3 株集群栽培方法为:采用 2 行带状种植,带行穴距以 $50\text{ cm}\times 30\text{ cm}\times 25\sim 30\text{ cm}$ 、 $8.33\sim 10.00\text{ 万穴/hm}^2$ 、 $25.00\sim 30.00\text{ 万株/hm}^2$ 为好。每穴播种 5~6 粒饱满种子。人工控制棉株高度,总高度在 70 cm 左右,使果枝分布在不同层次上,矮株位于东南面,高 40~50 cm;中间株位于西南面,高 50~60 cm;高株位于北面,高 60~70 cm;层间距 10 cm,构成优化丰产规格。分 3 次打顶,6 月下旬到 7 月上旬,对东南面 1 株进行第 1 次打顶,形成下层株;7 月上、中旬,对西南面 1 株实行第 2 次打顶,形成中层株;7 月下旬,对北面 1 株实行第 3 次打顶,形成上层株。瘠薄土壤达不到这种高度,在上述时期也要打顶。

从 2 年小区试验和田间试验结果看出,1 穴 3 株的棉花集群栽培能够显著提高皮棉产量和水分利用效率,达到节水高效的目的。即使不按栽培方法分 3 次适时打顶管理,按传统栽培管理模式只打顶

1 次,1 穴 3 株的集群栽培产量也是显著高于 1 穴 1 株和 1 穴 2 株。这种栽培模式在边缘绿洲增产效果尤为明显。

参考文献:

- [1] 山 仑,张岁岐.节水农业及其生物学基础[J].水土保持研究,1999,6(1):2—8.
- [2] 陈兆波.生物节水研究进展及发展方向[J].中国农业科学,2007,40(7):1456—1462.
- [3] 苏培玺,杜明武,赵爱芬,等.荒漠绿洲主要作物及不同种植方式需水规律研究[J].干旱地区农业研究,2002,20(2):79—85.
- [4] 苏培玺,陈怀顺.荒漠绿洲区花生在不同灌溉条件下的产量变化及光合生理特性[J].作物学报,2005,31(12):1660—1664.
- [5] 黄子琛,沈渭寿.干旱区植物的水分关系与耐旱性[M].北京:中国环境科学出版社,2000:1—3.
- [6] 娄善伟,张巨松,赵 强,等.棉花超高产群体研究[J].新疆农业科学,2008,45(S2):25—29.
- [7] 马富裕,程海涛,李少昆,等.高产棉花打顶调控的群体适应性研究[J].中国农业科学,2004,37(12):1843—1848.
- [8] 李自珍,赵松岭,张鹏云.生态位适宜度理论及其在作物生长系统中的应用[J].兰州大学学报(自然科学版),1993,29(4):219—224.
- [9] 魏 虹,林 魁,李凤民,等.有限灌溉对半干旱区春小麦根系发育的影响[J].植物生态学报,2000,24(1):106—110.
- [10] 山 仑.节水农业与作物高效用水[J].河南大学学报(自然科学版),2003,33(1):1—5.
- [11] 张正斌,徐 萍,董宝娣,等.水分利用效率—未来农业研究的关键问题[J].世界科技研究与发展,2005,27(1):52—61.

Experimental studies on high-yield cluster cultivation of cotton in the Hexi Corridor oases of northwestern China

SU Pei-xi, XIE Ting-ting, DING Song-shuang

(Linze Inland River Basin Research Station, Plant Stress Ecophysiology and Biotechnology Laboratory,

Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to explore cotton cultivation and management mode, which can enhance yield and water use efficiency in desert oasis region, a cluster cultivation experiment of 3 plants in a hole was carried out based on the traditional and improved cultivation of cotton and the clustered characteristic of desert plants to adapt the harsh environment. Moreover, a field experiment was carried out once again based on the best planting mode, which was chosen from the above plot experiment. The results of the plot experiment showed that, lint yield for 3 plants in a hole was up to $1\,498\text{ kg/hm}^2$, which was 32.3% higher than the traditional cultivation for 1 plant in a hole and 23.0% higher than the improved one for 2 plants in a hole. Similarly, water use efficiency (WUE) of lint yield for 3 plants in a hole was 28.6% and 20.0% higher than 1 plant in a hole and 2 plants in a hole, respectively. Field experiment also showed that lint yield for 3 plants in a hole was 36.5% and 20.2% significantly higher than 1 plant in a hole and 2 plants in a hole, respectively ($P < 0.05$). And its WUE of lint yield was 30% and 18.2% higher than the above both respectively. These results indicated that the cluster cultivation of 3 plants in a hole obviously enhanced the lint yield of cotton in desert oasis. And we also tried out the best planting mode for this cultivation, which was double row in strip shaped mode with a strip-row-hole spacing of $50\text{ cm}\times 30\text{ cm}\times 25\sim 30\text{ cm}$. In addition, that hole-spacing could be bigger if soil fertility and stand conditions were improved. This cultivation mode can be extended at marginal oasis.

Keywords: cotton; cultivation mode; water use efficiency; desert oasis