

不同密度和行距配置对工业大麻生长及产量的影响

高金虎 赵铭森 冯旭平 孔佳茜 孟晓康 吴昌娟 康红梅*

(山西省农业科学院 经济作物研究所,太原 030031)

摘要 为探索能兼顾麻秆、麻叶和麻皮产量的多用途种植模式,以‘晋麻1号’为试验材料,设置等行距 M_1 (35 cm)和宽窄行 M_2 (宽行 50 cm,窄行 20 cm)2种行距,以及 $30(D_1)$ 、 $45(D_2)$ 和 60 万株/hm² (D_3)3种植植密度,分析不同密度和行距配置对工业大麻品种‘晋麻1号’的农艺性状、SPAD值、光合性能及产量的影响。结果表明:与等行距 M_1 相比,宽窄行 M_2 种植在株高、茎粗、干物质积累量、有效株数、SPAD值、光合性能和产量方面更有优势;密度和行距配置对工业大麻麻秆、麻叶和麻皮产量影响显著,在 D_1 下, M_2 分别比 M_1 增产 28.28%、18.65%和 13.81%;在 D_2 下, M_2 分别比 M_1 增产 19.37%、27.37%和 4.07%;在 D_3 下, M_2 分别比 M_1 增产 21.55%、16.80%和 5.68%。不同行距配置下密度对产量影响表现不同,在 M_1 下,麻叶产量表现为 $D_1 > D_3 > D_2$,麻秆和麻皮产量都表现为 $D_2 > D_1 > D_3$;在 M_2 下,麻叶产量表现为 $D_2 > D_1 > D_3$,麻秆和麻皮产量都表现为 $D_1 > D_2 > D_3$ 。综合分析后推荐宽窄行种植(宽行 50 cm,窄行 20 cm),密度 30 万株/hm² 作为工业大麻多功能综合利用种植模式,可兼顾麻秆、麻叶和麻皮产量。

关键词 大麻; 密度; 行距配置; 农艺性状; 光合性能; 产量

中图分类号 S563.3

文章编号 1007-4333(2019)07-0037-07

文献标志码 A

Effects of planting density and row spacing on the growth and yield of industrial hemp

GAO Jinhu, ZHAO Mingsen, FENG Xuping, KONG Jiaqian,

MENG Xiaokang, WU Changjuan, KANG Hongmei*

(Institute of Industrial Crops, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract The aim of this study was to explore a multi-purpose cultivation pattern which can take into account the yield of hemp straws, hemp leaves and hemp fibers. Two planting patterns, equal row pattern M_1 (35 cm), wide narrow row pattern M_2 (50 cm + 20 cm) and three planting densities D_1 : 30×10^4 , D_2 : 45×10^4 , D_3 : 60×10^4 plants/hm², were set to research the effects of densities and row spacing on the agronomic characters, SPAD value, photosynthesis and yield of a hemp variety ‘Jinma 1’. The main findings of the study were as follows. Compared with equal row pattern M_1 , wide narrow row pattern M_2 had obvious advantages in plant height, stem diameter, dry matter accumulation, effective plant number, SPAD value, photosynthetic performance and yield. The effects of densities and row spacing on the yield of industrial hemp stalks, leaves and bast fibers were significant: At D_1 , M_2 increased the yield by 28.28%, 18.65%, 13.81% than M_1 , respectively; At D_2 , M_2 increased 19.37%, 27.37%, 4.07% than M_1 , and at D_3 , M_2 increased 21.55%, 16.80%, 5.68% than M_1 , respectively. The effects of densities on yields were different under different row spacing configurations: The yield of hemp leaf expressed $D_1 > D_3 > D_2$, and the yields of stalk and bark of hemp expressed $D_2 > D_1 > D_3$ in M_1 ; The yield of hemp leaf expressed $D_2 > D_1 > D_3$, and the yields of stalk and bark of hemp expressed $D_1 > D_2 > D_3$ in M_2 . In conclusion, wide narrow row pattern combining with planting density of 30×10^4 plants/hm² was optimal for multi-functional planting patterns and the yields of straws, leaves and fibers of industrial hemp could be

收稿日期: 2018-08-08

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-16S01); 山西省面上青年基金项目(201701D221202)

第一作者: 高金虎, 助理研究员, 主要从事大麻育种及栽培技术研究, E-mail: gaojinhu888@126.com

通讯作者: 康红梅, 研究员, 主要从事大麻育种研究, E-mail: kanghongmei2@126.com

taken into account.

Keywords hemp; planting density; row spacing; agronomic characters; photosynthetic performance; yield

大麻(*Cannabis sativa* L.)是世界上最古老的栽培作物之一,通常以获取纤维和种子为目的^[1]。工业大麻是指人工选育的 THC(Tetrahydrocannabinol,四氢大麻酚)占花序干物质 $<0.3\%$ (质量分数)的品种,无毒品利用价值,被允许广泛种植。大麻纤维被誉为“天然纤维之王”;种子富含优质蛋白质和不饱和脂肪酸,可加工成保健油;茎秆是新型环保型建筑材料^[2-3];花和叶中的大麻二酚(Cannabidiol)等成分在抗肿瘤、神经系统保护、免疫调节和抗炎抗氧化等方面具有药用价值^[4-5]。

工业大麻是“环境友好型”作物^[6],在很少的技术投入下就能获得高产^[7],因此,不会对环境造成负面影响^[8]。此外,大麻强大的根系能改善土壤结构^[9],减少杂草压力,增加下茬作物产量^[10],是很好的轮作作物。我国是世界三大工业大麻种植区之一^[1],近年来,工业大麻种植面积不断扩大,其多用途产品与生态环境效益受到农民和投资者的普遍关注,但与之相应的栽培技术等信仍较缺乏。种植密度和行距配置是调控植株形态,获取高产的重要栽培措施。合理的密度能使产量构成因素协调,建立适宜的群体结构^[11-12]。杨吉顺等^[13]研究发现,宽窄行种植技术可扩大光合面积,充分利用不同层次的光资源,改善通风能力,提高中下层叶片的光合性

能,更好地协调群体和个体的关系,提高群体的光能利用率。近年来在玉米、水稻等主要农作物上得到广泛应用。目前针对麻类纤维作物,特别是对工业大麻宽窄行种植研究鲜有报道。

本研究通过评价不同密度和行距配置对大麻秆、叶和麻皮产量的影响,以期为‘晋麻1号’种植区探索可兼顾大麻秆、叶和麻皮产量的栽培技术提供理论依据,为工业大麻综合开发利用提供基础技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2017年在山西省农业科学院经作所试验田(山西省汾阳市,37°15' N,111°44' E,海拔474.7 m)进行。地属温带季风气候,多年平均降水467.2 mm,降水量年际变化较大,年内分配不均,大部分集中在6—9月的汛期,春秋两季降水偏少。年平均气温12.6 °C,多年平均日照为2 601.3 h,无霜期179 d。2017年大麻生育期内降水量为230.6 mm,平均气温23.07 °C,逐日降水量和平均气温如图1所示。该试验田土壤为粉沙质壤土,呈碱性,全N含量1.33 mg/kg,有效P含量54.7 mg/kg,速效K含量176 mg/kg,有机质含量18.9 mg/kg,pH 8.23。

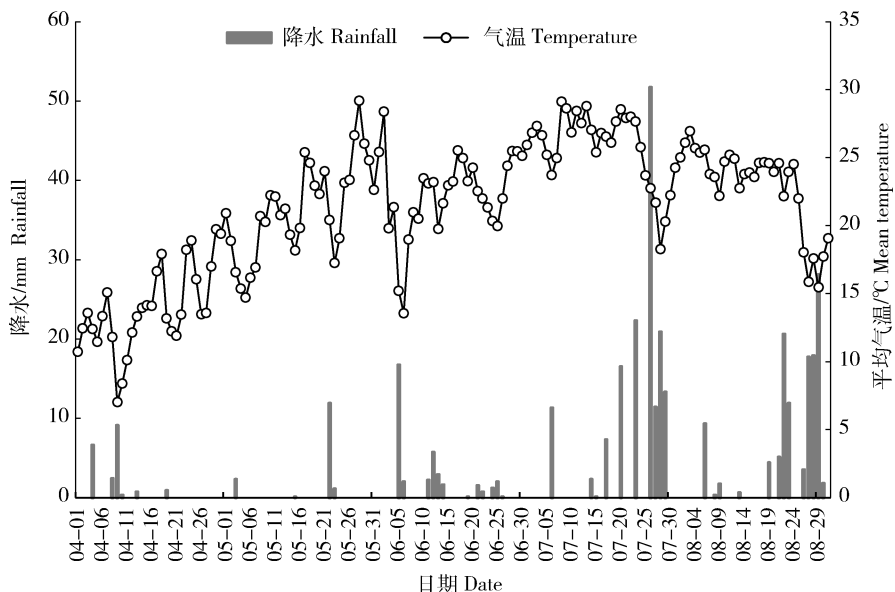


图1 试验点2017年生育期降水量和平均气温

Fig. 1 Daily precipitation and mean temperature in growth period at experiment station in 2017

1.2 试验设计

试验设置不同行距和密度两因素。行距:等行距 M_1 (35 cm), 宽窄行 M_2 (宽行 50 cm, 窄行 20 cm); 每个行距设置 3 种密度, 30 (D_1), 45 (D_2) 和 60 万株/hm² (D_3)。6 个处理组合, 随机区组排列, 3 次重复, 每小区宽 2 m, 长 10 m, 四周设保护行。 M_1D_2 处理为适宜当地鲜茎剥麻机的经验行距和密度, 设为对照。播前整地时施复合肥 300 kg/hm² (含纯 N、P₂O₅、K₂O 质量百分数均为 15%), 一次性以基肥形式施入。其他管理正常。2017 年 4 月 26 日播种, 8 月 21 日收获。供试品种为本课题组选育的‘晋麻 1 号’^[14]。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株性状

分别用卷尺、游标卡尺于苗期、旺长期和工艺成熟期测定各小区挂牌标记的有代表性的 10 株株高和茎粗(基部), 并于工艺成熟期晒干后称重测定地上部干物质质量。有效株数为剔除发病植株、倒伏植株和株高低于正常植株一半的植株数。

1.3.2 SPAD 值

分别于 5 月 21 日、6 月 20 日、7 月 20 日和 8 月 17 日各株选取顶部、中部和底部 3 层各 2 片叶子, 采用 SPAD-502 叶绿素仪(美国美能达公司生产)测定各裂叶叶基、叶中和叶尖的叶绿素, 其平均值作为该株 SPAD 值。每小区测定 5 株。

1.3.3 光合指标

选择晴天 10:00—11:30 采用 Yaxin-1102 (北

京雅欣理仪科技有限公司生产)便携式光合蒸腾仪在田间测定净光合速率 P_n 、气孔导度 G_s 、细胞间隙 CO₂ 浓度 C_i 和蒸腾速率 T_r , 测定时光强为 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m} \cdot \text{s})$, 温度为 32 $^{\circ}\text{C}$, 叶室大小为 25 mm \times 25 mm。选各小区有代表性的植株 5 株, 测定完全暴露在外的成熟叶片, 每个裂叶(大于叶室)测量 3 次, 取平均值。

1.3.4 茎叶麻皮产量

工艺成熟期将各小区有效株分离茎叶, 晒干后测定干茎重和干叶重。各小区选取 1 m² 植株, 用本课题组设计的反拉式剥麻机现场剥麻, 晒干后称重, 折算单产。

1.4 数据处理与分析

用 Excel 编辑汇总数据, SPSS 22 进行方差分析及多重比较(Duncan 法, 显著水平 0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同密度和行距配置对工业大麻株高和茎粗的影响

从表 1 可知, 大麻苗期株高表现为在同一密度水平下 $M_2 > M_1$, M_1 和 M_2 模式下均表现为 $D_1 < D_2 < D_3$, 差异不显著。旺长期株高在同一密度水平下 $M_2 > M_1$, M_1 模式下表现为 $D_1 < D_2 < D_3$, M_2 模式下为 $D_1 > D_2 > D_3$, 且差异显著。工艺成熟期株高总体表现与旺长期相同, M_2D_1 数值最高 314 cm, 显著大于最低的 M_1D_1 处理 19.39%。

大麻苗期、旺长期和工艺成熟期茎粗总体都表

表 1 不同时期不同处理大麻株高和茎粗变化情况

Table 1 Variation of plant height and stem diameter under different treatments

cm

处理 Treatment	苗期(05-21) Seedling stage		旺长期(07-20) Fast growing stage		工艺成熟期(08-17) Technical maturing stage	
	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter
	M_1D_1	19.20 \pm 1.55 a	0.43 \pm 0.03 a	219 \pm 15.34 b	0.80 \pm 0.04 ab	263 \pm 21.08 b
M_1D_2	19.25 \pm 1.63 a	0.45 \pm 0.05 a	229 \pm 16.39 ab	0.78 \pm 0.02 ab	273 \pm 27.35 ab	1.04 \pm 0.19 b
M_1D_3	21.43 \pm 1.48 a	0.51 \pm 0.03 a	230 \pm 17.22 ab	0.74 \pm 0.05 b	280 \pm 18.26 ab	0.96 \pm 0.23 b
M_2D_1	20.42 \pm 1.34 a	0.49 \pm 0.05 a	243 \pm 19.21 a	0.94 \pm 0.07 a	314 \pm 15.31 a	1.32 \pm 0.14 a
M_2D_2	21.39 \pm 1.45 a	0.51 \pm 0.04 a	240 \pm 18.43 a	0.82 \pm 0.04 ab	289 \pm 27.16 ab	1.08 \pm 0.12 ab
M_2D_3	21.58 \pm 1.28 a	0.52 \pm 0.06 a	225 \pm 17.45 ab	0.79 \pm 0.04 ab	271 \pm 21.62 ab	1.02 \pm 0.13 b

注: M_1 和 M_2 表示 2 种行距配置分别为 35 cm 和 (50 cm+20 cm); D_1 、 D_2 和 D_3 表示 3 种种植密度分别为 30、45 和 60 万株/hm²; 下表图同。

Note: M_1 and M_2 represent different spacing with 35 cm and (50 cm+20 cm), respectively; D_1 , D_2 and D_3 represent 3 planting densities with 30, 45, and 60×10^4 plants/hm², respectively. The same below.

现出在同一密度水平下 $M_2 > M_1$ 。 M_1 和 M_2 模式下茎粗苗期表现为 $D_1 < D_2 < D_3$, 处理间差异不显著; 旺长期则表现为 $D_1 > D_2 > D_3$, $M_2 D_1$ 数值最高, 显著大于数值最低的 $M_1 D_3$ 处理 27.03%; 工艺成熟期 M_1 模式下表现为 $D_2 > D_1 > D_3$, M_2 下为 $D_1 > D_2 > D_3$, $M_2 D_1$ 处理数值最高, 显著大于 $M_1 D_1$ 、 $M_1 D_2$ 、 $M_1 D_3$ 和 $M_2 D_2$ 处理。说明宽窄行种植(M_2)模式比均行种植(M_1)在株高和茎粗方面更有优势。

2.2 不同密度和行距配置对工业大麻干物质积累量的影响

如图 2 可知, 随着生育期的推进, 大麻地上部干物质质量各处理均表现出先快后慢的增长趋势。苗期

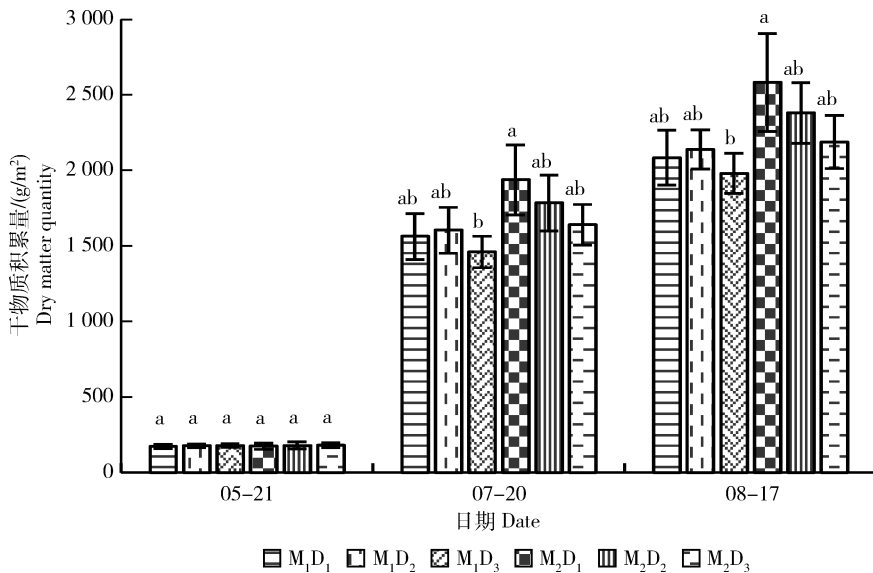


图 2 各处理对干物质积累量的影响

Fig. 2 Effect of different treatments on dry matter accumulation

2.3 不同密度和行距配置对工业大麻有效株数的影响

由图 3 可知, 同一密度水平下, 有效株数 $M_1 < M_2$, 同一行距配置下, 有效株数都表现出随密度增加而增加的趋势。各处理有效株数表现为 $M_2 D_3 > M_1 D_3 > M_2 D_2 > M_1 D_2 > M_2 D_1 > M_1 D_1$, $M_2 D_3$ 、 $M_2 D_2$ 和 $M_2 D_1$ 分别比 $M_1 D_3$ 、 $M_1 D_2$ 和 $M_1 D_1$ 高 3.79%、5.44% 和 4.91%。 $M_1 D_1$ 和 $M_2 D_1$ 显著小于其他处理。

2.4 不同密度和行距配置对工业大麻叶 SPAD 值的影响

由图 4(a) 和 (b) 可知, 大麻 SPAD 值在整个生长期呈单峰曲线变化规律, 5 月 21 日为最小值, 7 月 20 日达到峰值。 M_1 和 M_2 模式下均表现出随密度增大 SPAD 值减小的趋势, 7 月 20 日和 8 月 17 日

M_1 和 M_2 模式均表现出随密度增加干物质积累量增加的趋势, 相同密度水平下, $M_2 > M_1$, 但差异不显著。工艺成熟期与旺长期总体趋势相同, 即 M_1 模式下 $D_2 > D_1 > D_3$, M_2 模式下表现为 $D_1 > D_2 > D_3$, 同一密度水平下, M_2 分别比 M_1 增加 23.91% (D_1), 11.30% (D_2) 和 10.50% (D_3)。工艺成熟期各处理地上部干物质积累量表现为 $M_2 D_1 > M_2 D_2 > M_2 D_3 > M_1 D_2 > M_1 D_1 > M_1 D_3$, $M_2 D_1$ 分别比 $M_2 D_2$ 、 $M_2 D_3$ 、 $M_1 D_2$ 、 $M_1 D_1$ 和 $M_1 D_3$ 增加 8.52%、18.04%、20.78%、23.91% 和 30.43%。 $M_2 D_1$ 与 $M_1 D_1$ 和 $M_1 D_3$ 差异显著。说明宽窄行种植比均行种植更有利于干物质积累, $M_2 D_1$ 处理干物质积累量最高。

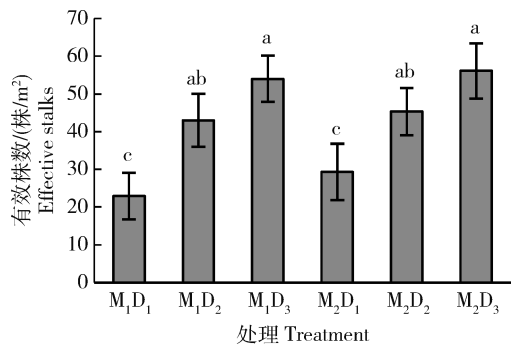


图 3 各处理对有效株数的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on effective stalks

各密度 SPAD 平均值分别为 51.7 和 47.1 (D_1)、49.8 和 45.6 (D_2)、47.1 和 44.1 (D_3), 降幅分别为 8.9% (D_1)、8.4% (D_2)、6.4% (D_3)。同一密度下

SPAD 值表现为 $M_1 < M_2$ ，5 月 21 日和 6 月 20 日 M_2 平均值分别比 M_1 高 4.40% 和 2.19% (D_1)，2.08% 和 4.85% (D_2)，1.70% 和 4.63% (D_3) 7 月

20 日和 8 月 17 日， M_2 平均值分别比 M_1 高 4.73% 和 1.06% (D_1)，3.56% 和 4.51% (D_2)，4.97% 和 8.06% (D_3)。 M_2D_1 处理 SPAD 值最高。

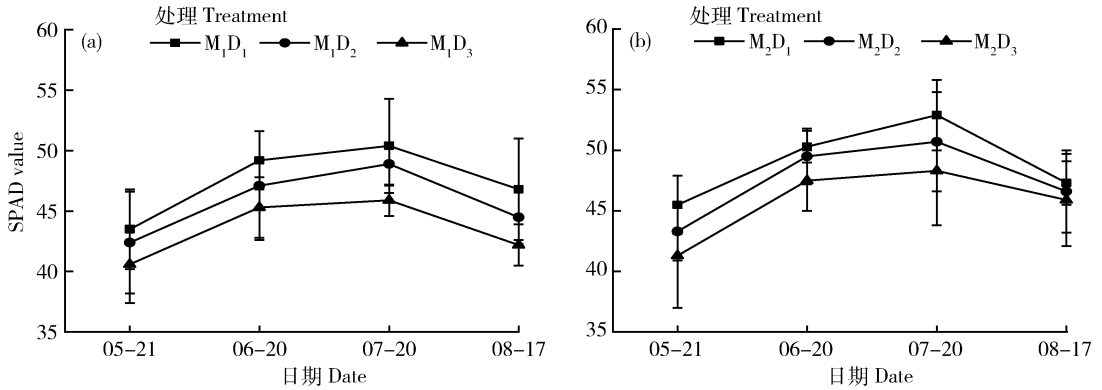


图 4 等行距 (a) 和宽窄行 (b) 下不同密度对大麻叶片 SPAD 值的影响
 Fig. 4 Effect of different densities on SPAD value of hemp leaves under equal row pattern (a) and wide narrow row pattern (b)

2.5 不同密度和行距配置对工业大麻叶光合性能的影响

由表 2 知，工业大麻光合速率、气孔导度、细胞间隙 CO_2 浓度和蒸腾速率均表现出相同趋势：同一密度水平下， $M_1 < M_2$ ， M_1 模式下，表现为 $D_2 > D_1 > D_3$ ， M_2 模式下，表现为 $D_1 > D_2 > D_3$ 。各处理光合速率表现为 $M_2D_1 > M_2D_2 > M_1D_2 > M_2D_3 > M_1D_1 > M_1D_3$ ， M_2D_1 处理显著大于 M_1D_1 和 M_1D_3 处理。气孔导度表现为

$M_2D_1 > M_2D_2 > M_2D_3 > M_1D_2 > M_1D_1 > M_1D_3$ ，处理间差异达显著水平， M_2D_1 处理比 M_1D_2 和 M_1D_1 处理分别高 24.24% 和 41.38%。细胞间隙 CO_2 浓度各处理表现为 $M_2D_1 > M_2D_2 > M_1D_2 > M_2D_3 > M_1D_1 > M_1D_3$ ， M_2D_1 比 M_1D_3 高 33.50%。蒸腾速率表现为 $M_2D_1 > M_2D_2 > M_2D_3 > M_1D_2 > M_1D_1 > M_1D_3$ ， M_2D_1 比 M_1D_3 高 30.36%。宽窄行种植的大麻各项光合指标均优于均行种植。

表 2 不同处理对工业大麻光合作用的影响

Table 2 Effect of different treatments on industrial hemp photosynthetic characteristics

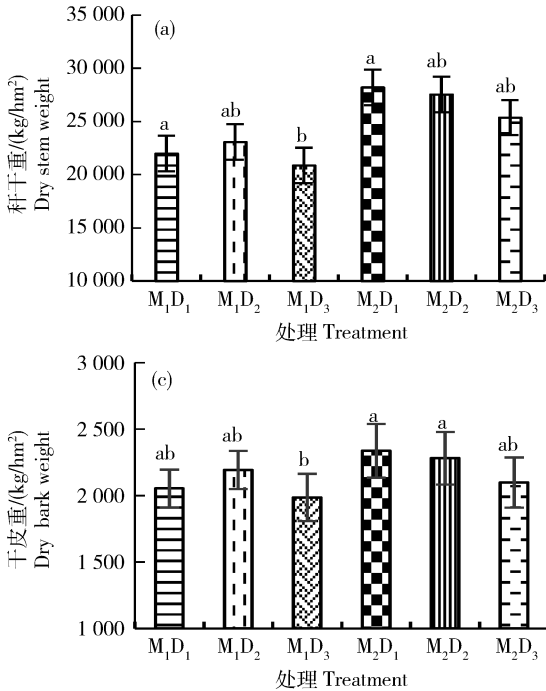
处理 Treatment	光合速率/ ($\mu\text{mol}/(\text{m} \cdot \text{s})$) P_n	气孔导度/ ($\text{mmol}/(\text{m} \cdot \text{s})$) G_s	细胞间隙 CO_2 浓度/ ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) C_i	蒸腾速率/ ($\text{mmol}/(\text{m} \cdot \text{s})$) T_r
M_1D_1	15.31±1.23 b	0.29±0.02 b	231.75±22.59 b	2.92±0.31 a
M_1D_2	16.98±2.07 ab	0.33±0.04 ab	265.33±31.44 ab	3.15±0.22 a
M_1D_3	14.29±2.28 b	0.27±0.04 b	220.36±29.49 b	2.80±0.35 a
M_2D_1	20.88±3.02 a	0.41±0.03 a	294.18±25.54 a	3.65±0.43 a
M_2D_2	18.24±3.21 ab	0.40±0.02 a	287.42±30.17 a	3.41±0.29 a
M_2D_3	16.79±3.71 ab	0.35±0.03 ab	244.19±33.45 ab	3.22±0.27 a

2.6 不同密度和行距配置对工业大麻产量的影响

由图 5(a)可知，工业大麻秆干重总体表现出同一密度下 $M_1 < M_2$ 。秆干重 M_2 分别比 M_1 高 28.28% (D_1)，19.37% (D_2) 和 21.55% (D_3)。各处

理表现为 $M_2D_1 > M_2D_2 > M_2D_3 > M_1D_2 > M_1D_1 > M_1D_3$ ， M_2D_1 和 M_1D_3 差异显著。说明宽窄行配置比均行配置种植秆干重产量更高，秆干重以 M_2D_1 处理数值最高。由图 5(b)可知，工业大麻叶干重总

体也表现出同一密度下 $M_1 < M_2$, M_2 分别比 M_1 高 18.65% (D_1), 27.37% (D_2) 和 16.80% (D_3)。 M_1 配置下, 叶干重表现为 $D_1 > D_3 > D_2$, M_2 下表现为 $D_2 > D_1 > D_3$ 。 M_2D_1 、 M_2D_2 和 M_1D_1 处理与 M_1D_2 和 M_1D_3 处理间差异达显著水平。由此说明, 宽窄行配置比均行配置叶干重产量更高, 数值最高处理是 M_2D_2 。



由图 5(c)可知, 麻皮产量总体表现为 M_1 模式下 $D_2 > D_1 > D_3$, M_2 模式下为 $D_1 > D_2 > D_3$ 。 M_2 比 M_1 分别高 13.81% (D_1), 4.07% (D_2), 5.68% (D_3)。各处理间表现为 $M_2D_1 > M_2D_2 > M_1D_2 > M_2D_3 > M_1D_1 > M_1D_3$, 多重分析表明, M_2D_1 和 M_2D_2 显著大于 M_1D_3 。说明与均行种植相比, 宽窄行种植能提高麻皮产量, M_2D_1 处理麻皮产量最高。

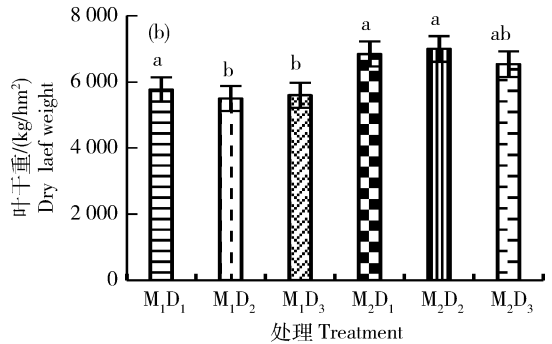


图5 各处理对工业大麻秆(a)、叶(b)和干皮(c)产量的影响

Fig.5 Effect of different treatments on yield of stem (a), leaf (b) and bark (c) of industrial hemp

3 讨论与结论

密度和行距配置对协调个体株形, 通风受光, 营养状况和产量形成起着重要作用^[13,16]。工业大麻一般“纤用密植, 籽用稀植”, 尝试借鉴玉米等其他作物宽窄行种植模式, 运用于工业大麻栽培中, 以达到兼顾大麻茎、叶和麻皮产量的目的。

工业大麻较耐密植^[17], 密度在 120×10^4 株/hm² 也未出现自疏现象^[18], 当然, 这与种植区域、耕作制度特别是品种等密切相关。Struik 等^[6]研究表明采用适宜的品种和密度在欧洲能生产出优质的纤维。Enio 等^[19]研究表明, 不同密度显著影响大麻株高、茎粗和干茎重, 具体表现为高密度条件下大麻株高、茎粗和干茎重数值都比低密度条件小。本研究结果表明, 工艺成熟期同一密度水平宽窄行配置 (M_2) 下株高、茎粗和干物质量都大于均行种植 (M_1)。在宽窄行配置 (M_2) 下, 株高、茎粗和干物质量随着密度增大而减小。在均行种植下, 株高表现为 $D_1 < D_2 <$

D_3 , 茎粗和干物质量表现为 $D_2 > D_1 > D_3$ 。有研究认为采用宽窄行种植方式是人为制造边行, 光照比较充足, 增大了群体受光面积, 减小了植株间的互相遮挡, 改善了田间通风透光条件, 提高了群体光合作用^[20-21], 有利于植株地上部干物质积累^[13]。

本研究表明, 较之均行种植, 宽窄行种植能增强工业大麻光合能力, 提高有效株数, 提高秆叶产量和麻皮产量。在本试验条件下, 宽窄行种植比均行种植在株高、茎粗、地上部干物质量、叶绿素含量、光合性能、麻秆、麻叶和麻皮产量方面都更有优势。宽窄行种植 (宽行 50 cm, 窄行 20 cm) 配置密度 30 万株/hm² 是工业大麻多功能综合利用比较理想的种植方式和密度, 推荐在农业生产中应用。

参考文献 References

- [1] Salentijn E M, Zang Q, Amaducci S, Yang M, Trindade L M. New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 68(3): 32-41

- [2] Bevan R, Woolley T. *Hemp Lime Construction: A Guide To Building With Hemp Lime Composites* [M]. London: Building Research Establishment, 2008
- [3] Pritchett I. *Hemp and Lime Composites in Sustainable Construction* [C]. In: 11th International Conference on Non-conventional Materials and Technologies Materials for Sustainable Construction. Bath: University of Bath, 2009
- [4] Institute of Medicine. *Marijuana's Medical Future* [M]. Washington D C: The National Academies Press, 2000
- [5] Lenk R, Likar R. Cannabinoids in medicine [J]. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 2008, 158(23-24): 668
- [6] Struik P C, Amaducci S, Bullard M J, Stutterheim N C, Venturi G, Cromack H T H. Agronomy of fibre hemp (*Cannabis sativa* L) in Europe [J]. *Industrial Crops and Products*, 2000, 11(2): 107-118
- [7] Amaducci S, Scordia D, Liu F H, Zhang Q, Guo H, Testa G, Cosentino S L. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China [J]. *Industrial Crops and Products*, 2015, 68(2B): 2-16
- [8] Finnan J, Styles D. Hemp: A more sustainable annual energy crop for climate and energy policy [J]. *Energy Policy*, 2013, 58: 152-162
- [9] Amaducci S, Zatta A, Raffanini M, Venturi G. Characterisation of hemp (*Cannabis sativa* L) roots under different growing conditions [J]. *Plant and Soil*, 2008, 313(1/2): 227-235
- [10] Bócsa I, Karus M. *The Cultivation of Hemp: Botany, Varieties, Cultivation and Harvesting* [M]. Sebastopol: Hemptech Press, 1998
- [11] 杨文钰. 农学概论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- Yang W Y. *Introduction to Agriculture* [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2002 (in Chinese)
- [12] 关凤芝. 大麻遗传育种与栽培技术 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 2010
- Guan F Z. *Genetic Breeding and Cultivation of Hemp* [M]. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 2010 (in Chinese)
- [13] 杨吉顺, 高辉远, 刘鹏, 李耕, 董树亭, 张吉旺, 王敬锋. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响 [J]. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233
- Yang J S, Gao H Y, Liu P, Li G, Dong S T, Zhang J W, Wang J F. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(7): 1226-1233 (in Chinese)
- [14] 孔佳茜, 康红梅, 赵铭森, 赵龙. 大麻新品种“晋麻1号”选育报告 [J]. 中国麻业科学, 2011, 33(5): 217-219
- Kong J Q, Kang H M, Zhao M S, Zhao L. Breeding of a new hemp variety 'Jin Ma 1' [J]. *Plant Fiber Sciences in China*, 2011, 33(5): 217-219 (in Chinese)
- [15] Markwell J, Osterman J C, Mitchell J L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter [J]. *Photosynthesis Research*, 1995, 46(3): 467-72
- [16] 杨利华, 张丽华, 张全国, 姚艳荣, 贾秀领, 马瑞崑. 种植样式对高密度夏玉米产量和株高整齐度的影响 [J]. 玉米科学, 2006, 14(6): 122-124
- Yang L H, Zhang L H, Zhang Q G, Yao Y R, Jia X L, Ma R K. Effect of row spacing pattern on yield and plant height uniformity in highly-densed summer maize [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2006, 14(6): 122-124 (in Chinese)
- [17] Vanderwerf H M G, Wijnhuizen M, Deschutter J A A. Plant density and self-thinning affect yield and quality of fiber hemp (*Cannabis Sativa* L) [J]. *Field Crops Research*, 1995, 40(3): 153-164
- [18] Campiglia E, Radicetti E, Mancinelli R. Plant density and nitrogen fertilization affect agronomic performance of industrial hemp (*Cannabis sativa* L) in Mediterranean environment [J]. *Industrial Crops and Products*, 2017, 100: 246-254
- [19] 邹吉波. 玉米宽窄行交替种植技术的应用 [J]. 安徽农业科学, 2006, 34(9): 1824-1826
- Zhou J B. Technique of the alternately planting of the broad line and narrow line in corn cultivation [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2006, 34(9): 1824-1826 (in Chinese)
- [20] 赵殿忱, 陈渊. 大豆宽窄行密植栽培技术试验研究 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(1): 45-49
- Zhao D C, Chen Y. Cultivation techniques with high density in wide-narrow ridge of soybean [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2000, 16(1): 45-49 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅