

不同密度条件下旱地胡麻灌浆特性研究

史丽萍¹,郭建斌²,牛俊义²,陈永军¹,严明春¹

(1. 甘肃省定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000;

2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:在定西干旱生态条件下,以陇亚 10 号胡麻为材料,研究了密度对籽粒灌浆特性和农艺性状的影响。结果表明:随着种植密度的增大,胡麻分枝数、蒴果数减小,株高波动性变化;胡麻籽粒干物质积累过程呈“S”型曲线,可用 Logistic 模型进行模拟,相关系数达 0.99 以上,花后 6~31 d 籽粒干物质积累速度最大;胡麻最大灌浆速率、平均灌浆速率和灌浆持续期均受种植密度的影响,处理间平均灌浆速率差异明显,其中以 600 万株·hm⁻²的平均灌浆速率最高,1 050 万株·hm⁻²的平均灌浆速率最低;不同密度处理间百粒重和产量存在显著性差异,600 万株·hm⁻²处理的百粒重和籽粒产量最大,显著高于 1 200 万株·hm⁻²处理。说明在实际生产中要根据不同胡麻品种类型选择最佳的种植密度。

关键词: 胡麻; 种植密度; 灌浆速率; Logistic 模型; 产量

中图分类号: S565.9 **文献标志码:** A

Grain filling characteristics of oil flax under different planting densities in arid land

SHI Li-ping¹, GUO Jian-bin², NIU Jun-yi², CHEN Yong-jun¹, YAN Ming-chun¹

(1. Dingxi Academy of Agricultural Sciences in Gansu Province, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The effect of grain filling characteristics, the relationships between density and agronomic traits under different planting densities were investigated in Dingxi arid ecological conditions for Longya 10. The result showed that the branch number, capsule number were reduced, while the plant height varied with plant density. The dynamics of dry matter accumulation showed “S” curve of flax grain, and may be described by Logistic model. The correlation coefficient was more than 0.99. The increase of grain quality was largest after flowering 6~31 d. The maximum grain filling rate, mean grain filling rate and grain filling duration time were affected by plant density. The average filling rates among different treatments were significant. The filling rate of D3 (6 million·hm⁻²) treatment was the highest, while the D6 (10.5 million·hm⁻²) treatment was lowest. The 100-grain weight and grain yield were significantly different under different density treatments. The 100-grain weight and grain yield of D3 (6 million·hm⁻²) treatment were maximum compared to other treatments, indicating the necessity of adopting suitable planting density for a given variety of flax.

Keywords: oil flax; plant density; grain filling rate; logistic model; yield

胡麻(*Sesamum indicum*)属既有基部分茎又有上部分枝的密植作物,是我国重要的经济作物和油料作物。胡麻不但是我国工业用干性植物油和产区群众主要食用油的来源,亦被广泛用于食品添加剂、化妆品原粉、医药原料等领域。此外,胡麻油还具有降血脂等药用作用。胡麻纤维吸湿性好,导热性强,透气性好,穿着舒适,凉爽^[1]。国内对胡麻栽培技术方面进行了大量的研究,如灌水对胡麻产量及品质的影响,在有灌溉条件时,合理灌水是提高肥料利用率,提高单产的有效措施^[2]。适量施用氮、磷肥,可以在一定范围内增产,但氮素过量会导致减产^[3-4]。在西北地区旱作时,胡麻种植密度是影响产量的主要因子,也是最易控制的高产、稳产的调控措施之一。已有研究发现种植密度对胡麻产量和含油量有

收稿日期:2014-02-13
基金项目:国家胡麻产业技术体系定西综合试验站(CARS-17-SYZ-3)
作者简介:史丽萍(1980—),女,甘肃定西人,硕士研究生,助理研究员,主要从事农作物新品种繁育。E-mail:web_slp_1980@163.com。
通信作者:陈永军(1964—),男,甘肃定西人,研究员,主要从事粮油作物新品种选育。

一定影响。胡麻籽粒灌浆过程是最终决定籽粒质量和作物产量的阶段^[5-6],然而,不同密度条件对胡麻灌浆特性的影响研究尚少见报道。所以,探索不同种植密度下胡麻灌浆速率的差异及其与胡麻生长和经济产量之间的关系,不仅有利于阐明灌浆期胡麻种子“源库流”的运动情况和灌浆特性,亦对胡麻栽培生产中最佳种植密度的选择具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2012 年在甘肃省定西市西巩驿镇进行。该区地处黄河中游黄土高原沟壑区,海拔高度 1 793 m,年平均气温 7℃,年日照时数 2 500 h,无霜期 146 d,年降水量 300~400 mm,年蒸发量平均为 1 524.8 mm。供试土壤为黑垆土,有机质含量为 11.06 g·kg⁻¹,全氮 0.99 g·kg⁻¹,碱解氮 72.15 mg·kg⁻¹,速效磷 8.31 mg·kg⁻¹,速效钾 247.02 mg·kg⁻¹,pH 8.3,2012 年降水量为 468.9 mm。

1.2 供试品种

供试品种选用对当地条件适应性较好的陇亚 10 号。春性、中熟,株型较紧凑,抗倒伏、抗旱,落黄好。高抗枯萎病。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,小区面积 13.3 m²,3 次重复。小区间走道 30 cm,重复间走道 50 cm,四周设 1 m 的保护行。种植密度设 7 个处理,即种植密度 300 万株·hm⁻²(D1)、450 万株·hm⁻²(D2)、600 万株·hm⁻²(D3)、750 万株·hm⁻²(D4)、900 万株·hm⁻²(D5)、1 050 万株·hm⁻²(D6)、1 200 万株·hm⁻²(D7)。行距 15 cm,穴距 11 cm,每穴播种籽粒数依种植密度而定,分别为 6、9、12、15、18、21、24 粒。试验除密度不同外,其他栽培管理措施均同于大田,小区单收单脱分别计产。2012 年 4 月 1 日播种,7 月 29 日收获。

1.4 取样及测定方法

在胡麻开花前,选植株高度整齐一致、无病虫害损伤的植株做标记。开花时进行第二次定株,即只保留同一天开花的植株,解除其余植株的标签。

从开花后每 3 d 取样测定 1 次,直至成熟。采样时每小区从地面剪去标记植株的主茎 10 株。取样植株带回室内后,分小区、分器官测定植株主茎、叶、花、果、果皮的干、鲜重。且测定植株的株高、茎粗、分茎数、分枝数、蒴果数等农艺性状。将果实于 105℃烘箱中杀青,80℃烘干至恒重,称重,每处理 3

次重复^[7]。

1.5 数据处理

以开花后天数(t)为自变量,千粒重(y)为因变量,用 Logistic 方程 $Y = K/(1 + ae^{-bt})$ 对籽粒生长过程进行拟合,其中 K 为最大生长量上限, a 、 b 为常数。求一阶导数得到灌浆速率方程 $v(t) = Kabe^{-bt}/(1 + ae^{-bt})^2$ 。根据 Logistic 方程和该方程的一级和二级导数,推导出灌浆高峰期起始(t_1)和结束时间(t_2),灌浆终期(t_3)即 Y 达 99% K 的时间,籽粒灌浆渐增期(T_1)、快增期(T_2)和缓增期持续时间(T_3),以及灌浆持续天数 $T(d)$ 和籽粒平均灌浆速率 $R(g \cdot d^{-1})$ 。

$$t_1 = [a - \ln(2 + 1.732)]/(-b)$$

$$t_2 = [a + \ln(2 + 1.732)]/(-b)$$

$$t_3 = -(4.5951 + a)/b$$

$$T_1 = t_1$$

$$T_2 = t_2 - t_1$$

$$T_3 = t_3 - t_2$$

$$T = t_3$$

试验数据采用 Excel 2007 作图,DPS2000 等软件进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同密度下胡麻农艺性状

从图 1a 可以看出,胡麻分茎数随种植密度增加呈下降态势。密度最小的 D1 有 3 个分茎,而密度最大的 D7 有 1 个分茎,D1 显著高于其它处理($P < 0.05$,下同),D2、D3 间差异不显著,但都显著高于 D7,其余处理间分茎数无显著差异。从图 1b 中可知,随着种植密度的增大,株高呈波动性变化,D1 最高,为 83.1 cm,D7 最低,为 68.5 cm,但各处理间无显著差异。图 1c、1d 明显地反映出了种植密度与分枝数、蒴果数之间的关系,随着种植密度的增大,胡麻分枝数与蒴果数减小。蒴果数从 D1 处理的 39 个蒴果降到 D7 处理的 13 个蒴果。D1 显著高于其它处理,D2、D3、D4 间差异不显著,但均显著高于 D6、D7,其余处理间无显著差异。不同密度处理下胡麻分枝数分别为 51、35、31、30、23、19、18 个分枝,其中,D1 显著高于其它处理,D2、D3、D4 间差异不显著,但均显著高于 D5、D6、D7,而 D5、D6、D7 间无显著差异。

2.2 不同密度下籽粒干质量积累动态和灌浆速率

2.2.1 籽粒干质量的积累动态 由图 2 可见,密度处理对籽粒生长进程没有明显影响,不同密度处理

间现蕾期、开花期基本一致,花后 38 d 各处理基本

达到籽粒干硬的完熟状态。

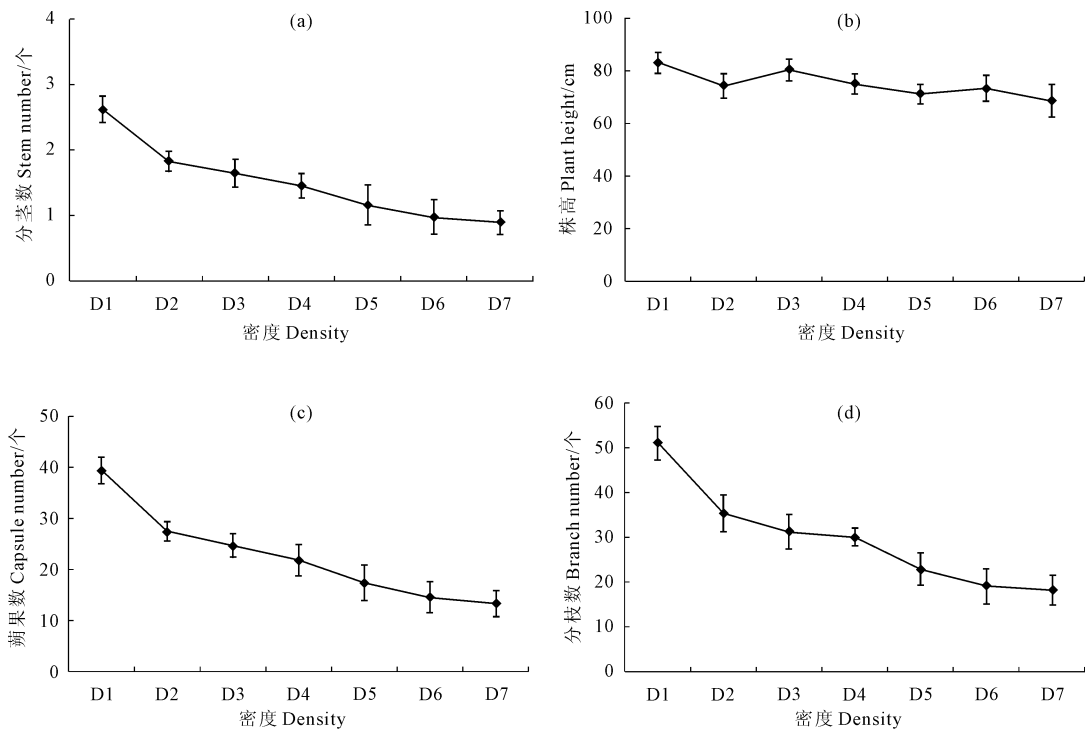


图 1 不同密度与农艺性状的关系

Fig.1 Relationships between planting density and agronomical traits

注:D1—300 万株·hm⁻²; D2—450 万株·hm⁻²; D3—600 万株·hm⁻²; D4—750 万株·hm⁻²; D5—900 万株·hm⁻²; D6—1 050 万株·hm⁻²; D7—1 200 万株·hm⁻²。下同。
Note: D1—300×10⁴ plant·hm⁻²; D2—450×10⁴ plant·hm⁻²; D3—600×10⁴ plant·hm⁻²; D4—750×10⁴ plant·hm⁻²; D5—900×10⁴ plant·hm⁻²; D6—1 050×10⁴ plant·hm⁻²; D7—1 200×10⁴ plant·hm⁻². The same bellow.

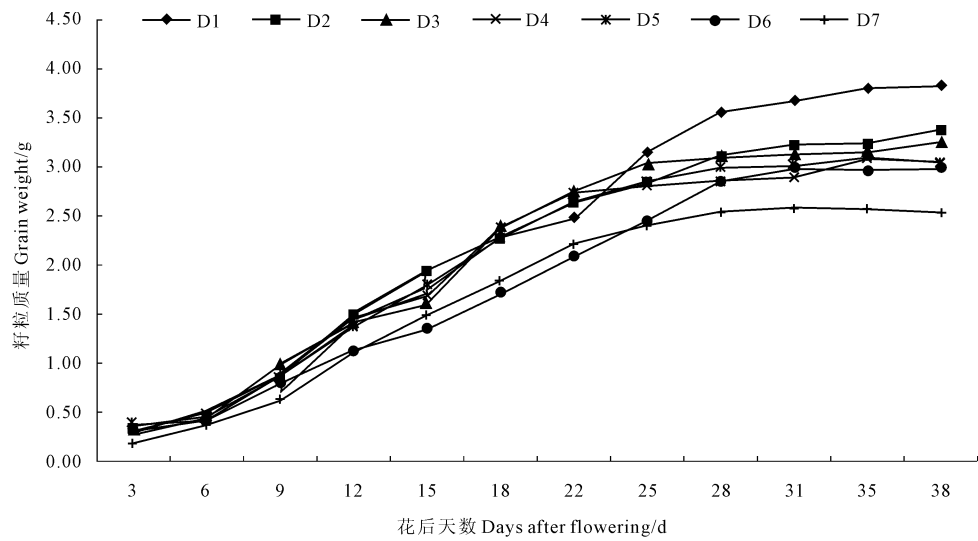


图 2 不同密度下籽粒干质量积累动态

Fig.2 The dynamic of grain dry matter accumulation under different plant density

各密度处理籽粒形成后,从开花后第 3 天开始籽粒质量明显增加。籽粒干质量的增长过程呈“S”型变化的趋势,故可用 Logistic 方程描述,由 Logistic 方程 $y = K/(1 + ae^{-bt})$ 可以看出:当 $t \rightarrow \infty$ 时, $y =$

K ,可见 $y = K$ 是曲线的渐近线,是在该密度下的理论质量及质量的潜力值。籽粒干质量积累过程大致可划分为渐增期、快增期和缓增期 3 个阶段。其中,渐增期为花后 3~6 d,快增期为花后 6~28 d 或 6~

31 d,缓增期为花后 28 ~ 38 d 或 31 ~ 38 d。3 个阶段籽粒干质量积累分别可达到 7.89% ~ 15.79%、57.89% ~ 65.79%、18.42% ~ 26.32%。可见花后 6 ~ 31 d 对胡麻籽粒质量的贡献最大。

2.2.2 灌浆速率变化 表 1 为测定时间间隔 3 d 胡麻籽粒的灌浆速率,可以看出,不同密度处理下胡麻平均灌浆速率有显著差异,各处理间变幅为 0.0812 ~ 0.1460 g·d⁻¹,以中等密度 D3 处理下胡麻的平均

灌浆速率最高,D6 处理最低。各处理按照 3 d 间隔测得的最大灌浆速率出现在 12 ~ 28 d,最大灌浆速率的变化在 0.1350 ~ 0.2544 g·d⁻¹,以 D3 处理最高,D6 处理最小。从各次测定的灌浆速率平均值来看,中期约高出前期和后期 0.6 ~ 6 倍。灌浆中期(9 ~ 28 d)灌浆速率一般可维持在 0.1074 ~ 0.1881 g·d⁻¹,而前期(3 ~ 6 d)可维持在 0.0513 ~ 0.1317 g·d⁻¹、后期(31 ~ 38 d)为 0.0180 ~ 0.0354 g·d⁻¹。

表 1 不同密度下胡麻的灌浆速率
Table 1 Filling rate of oil flax under different plant density

花后天数 Days after flowering/d	灌浆速率 Filling rate/(g·d ⁻¹)								变异系数 Coefficient variation/%	
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	均值 Mean value	极差 Range	
6	0.0744	0.0733	0.0411	0.0667	0.0117	0.0283	0.0633	0.0513	0.0461	47.79
9	0.1322	0.1322	0.2144	0.0783	0.1500	0.1300	0.0850	0.1317	0.1361	34.25
12	0.1856	0.2067	0.2411	0.2383	0.1733	0.1117	0.1600	0.1881	0.1266	24.29
15	0.1000	0.1478	0.1978	0.1867	0.1433	0.0783	0.0267	0.1258	0.1711	48.60
18	0.1722	0.1156	0.2544	0.2300	0.1989	0.1222	0.1167	0.1729	0.1388	33.06
22	0.0542	0.0917	0.1925	0.1238	0.0608	0.0908	0.1383	0.1074	0.1383	44.94
25	0.2194	0.1711	0.1400	0.1294	0.0700	0.1200	0.0722	0.1317	0.1494	40.17
28	0.1361	0.0789	0.1967	0.1156	0.0433	0.135	0.1667	0.1246	0.1534	41.43
31	0.0411	0.0400	0.0817	0.0189	0.0083	0.0128	0.0450	0.0354	0.0734	71.16
35	0.0300	0.0025	0.0025	0.0392	0.0237	0.0208	0.0075	0.0180	0.0367	79.24
38	0.0100	0.0483	0.0433	0.0128	0.0233	0.0067	0.0117	0.0223	0.0416	75.82
<i>R</i> (g·d ⁻¹)	0.1050ab	0.1007ab	0.1460a	0.1127ab	0.0824ab	0.0779b	0.0812ab			
<i>R</i> _{max} /(g·d ⁻¹)	0.2194	0.2067	0.2544	0.2383	0.1989	0.135	0.1667			
<i>T</i> _{max} <i>R</i> /d	25	12	18	12	18	28	28			

注:*R*(g·d⁻¹): 平均灌浆速率;*R*_{max}(g·d⁻¹): 最大灌浆速率;*T*_{max}*R*(d): 达到最大灌浆速率的时间。不同字母表示在 *P* < 0.05 水平差异显著。下同。

Note; *R*(g·d⁻¹): The average filling rate; *R*_{max}(g·d⁻¹): The maximum filling rate; *T*_{max}*R*(d): The days at the maximum filling rate。Different letters indicate significant difference at *P* < 0.05 level. The same below.

表 2 灌浆过程的拟合方程
Table 2 The simulation equation of filling process

处理 Treatments	干物质积累模拟方程 Simulation equation of dry matter accumulation	<i>R</i>	<i>F</i>	灌浆速率方程 Filling rate equation
D1	$Y = 4.0415 / [1 + \exp(2.7777 - 0.200345t)]$	0.9936	701.7371 **	$V = ((- (\exp(2.7777 - 0.200345 * t))^ * (- 0.200345))^ * 4.0415)) / (1 + \exp(2.7777 - 0.200345 * t))^2$
D2	$Y = 3.3188 / [1 + \exp(2.8082 - 0.210567t)]$	0.9957	1048.9662 **	$V = ((- (\exp(2.8082 - 0.210567 * t))^ * (- 0.210567))^ * 3.3188)) / (1 + \exp(2.8082 - 0.210567 * t))^2$
D3	$Y = 3.2617 / [1 + \exp(3.0297 - 0.257218t)]$	0.9922	924.0043 **	$V = ((- (\exp(3.0297 - 0.257218 * t))^ * (- 0.257218))^ * 3.2617)) / (1 + \exp(3.0297 - 0.257218 * t))^2$
D4	$Y = 3.0224 / [1 + \exp(3.1881 - 0.228120t)]$	0.9938	715.9338 **	$V = ((- (\exp(3.1881 - 0.228120 * t))^ * (- 0.22812))^ * 3.0224)) / (1 + \exp(3.1881 - 0.228120 * t))^2$
D5	$Y = 3.0850 / [1 + \exp(3.0732 - 0.200449t)]$	0.9973	1635.7766 **	$V = ((- (\exp(3.0732 - 0.200449 * t))^ * (- 0.200449))^ * 3.0850)) / (1 + \exp(3.0732 - 0.200449 * t))^2$
D6	$Y = 3.2204 / [1 + \exp(2.7166 - 0.290301t)]$	0.9940	739.4680 **	$V = ((- (\exp(2.7166 - 0.290301 * t))^ * (- 0.290301))^ * 3.2204)) / (1 + \exp(2.7166 - 0.290301 * t))^2$
D7	$Y = 2.5773 / [1 + \exp(2.8893 - 0.222143t)]$	0.9952	569.5906 **	$V = ((- (\exp(2.8893 - 0.222143 * t))^ * (- 0.222143))^ * 2.5773)) / (1 + \exp(2.8893 - 0.222143 * t))^2$

注:*R*: 胡麻籽粒干物质一元非线性回归方程的相关系数;*Y*: 籽粒干质量;*V*: 灌浆速率;*t*: 花后天数。

Note: *R*: Correlation coefficient of a nonlinear regression equation; *Y*: Dry weight of grain; *V*: Filling rate; *t*: Days after flowering.

胡麻不同密度处理灌浆拟合方程的差异见表 2,其相关系数在 0.99 以上,相关性较好。 F 检验均达到显著水平。可以用 Logistic 方程对未来的值进行预测。

2.2.3 不同密度对胡麻灌浆特性的影响 表 3 是根据拟合方程即 Logistic 方程进行理论分析与计算得到的不同密度下籽粒灌浆特征参数,可以看出,不同密度处理下胡麻灌浆高峰的起始时间不同,D6、D3 较其它处理提前。不同密度处理影响灌浆持续天数(从开花至达到最大粒重的日数),D1、D2、D3、D4、D5、D6、D7 处理理论持续灌浆天数分别为 36.8 d、35.16 d、29.64 d、34.12 d、38.26 d、28.09 d 和 33.69 d,与实际灌浆持续天数有差异。

表 3 不同密度下籽粒灌浆特征参数的变化

Table 3 The dynamic of oil flax grain filling characteristic parameters under different plant density

处理 Treatments	t_1 /d	t_2 /d	t_3 /d	T /d
D1	7.29	20.44	36.80	36.80
D2	7.08	19.59	35.16	35.16
D3	6.66	16.90	29.64	29.64
D4	8.20	19.75	34.12	34.12
D5	8.76	21.90	38.26	38.26
D6	5.38	15.50	28.09	28.09
D7	7.08	18.93	33.69	33.69

注: t_1 : 灌浆高峰起始时间; t_2 : 灌浆高峰结束时间; t_3 : 灌浆终期; T : 灌浆持续天数。
Note: t_1 : Start time of filling summit; t_2 : End time of filling summit; t_3 : Filling final; T : Continuous days for filling.

2.3 不同密度对胡麻百粒重及产量的影响

由图 3 可知,不同种植密度对百粒重的影响较大。各处理百粒重水平变幅为 0.65 ~ 0.72 g · 100 粒⁻¹,其中 D3(600 万株 · hm⁻²)处理最大,比百粒重最低的 D7(1 200 万株 · hm⁻²)处理高 10.76%,比其余处理增高幅度在 4.30% ~ 9.09% 之间。

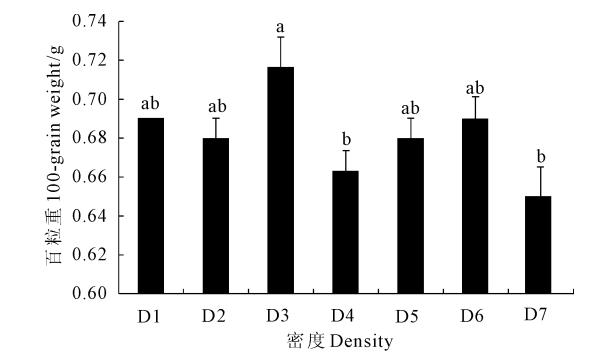


图 3 不同密度下胡麻百粒重的变化

Fig.3 100-grain weight under different plant density

由图 4 可知,不同种植密度下旱地胡麻单位面积籽粒产量表现为 D3 > D2 > D1 > D6 > D4 > D5 > D7,D3 处理产量最高,为 1 837.95 kg · hm⁻²,显著高于最低产量 D7 处理,其余处理与二者间差异不显著,D3 处理的籽粒产量比 D2、D1、D6、D4、D5、D7 处理分别高出 13.64%、14.98%、19.86%、22.41%、22.93% 和 27.47%。

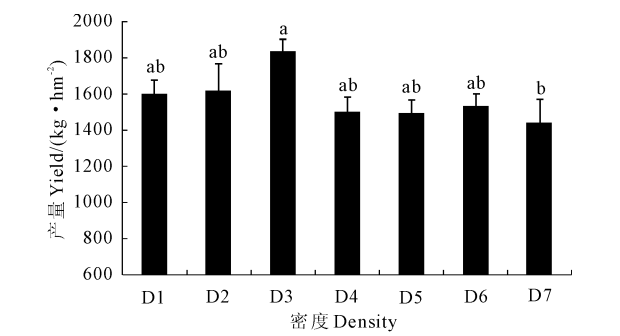


图 4 不同密度下胡麻产量的变化

Fig.4 Grain yield under different plant density

3 讨论与结论

- 1) 本研究表明,适当增加种植密度可提高胡麻单位面积产量。在低密度条件下,随种植密度的增加胡麻产量提高,之后随密度增加产量降低,D3 处理的百粒重和籽粒产量比 D7 处理分别显著高出 10.76% 和 27.47%,这与吴瑞香、杨建春的研究基本一致^[8]。表明合理的种植密度能有效提高胡麻的经济效益。
- 2) 胡麻籽粒干物质积累进程符合“慢 - 快 - 慢”的 S 型生长曲线,可以用 Logistic 方程很好地进行描述,其相关系数均在 0.99 以上,这与裴雪霞等^[9-12]在小麦和玉米上的研究结果基本一致。
- 3) 胡麻在低密度条件下,各处理间达到最大灌浆速率的时间相差不大;密度增加到一定程度后,因单位面积上个体数量增加,群体中个体间竞争增强,随密度增加各处理达到最大灌浆速率的时间明显增长,与张文斌等的研究结果相符^[9],以 D3 处理最高,此后随密度增加最大灌浆速率减小。D3 处理下胡麻灌浆高峰的起始时间较其它处理提前。根据当地气候资料,试点灌浆期间曾出现 3 次长短不一的阴雨天气,明显影响了光合和光合净积累,也在一定程度上影响光合产物向籽粒的运输和分配。这种较短时段灌浆速率的明显波动,更加客观地反映了环境因素对籽粒灌浆的影响。
- 4) 干物质的积累随群体结构的不同而变化,密度与产量性状的分枝数、蒴果数呈负相关,这与吴瑞

香等^[7]的研究结果基本一致。本研究中密度最小的 D1 处理分茎数、分枝数和蒴果数显著高于其它处理,胡麻分枝数与蒴果数随种植密度的增大而减小。表明,胡麻具有较强的自我调节能力,在一定种植密度下,个体竞争随着群体的增加而增加;但一旦超过适宜范围,个体特性展示反而受阻,有关产量因素的分枝数、蒴果数都有递减趋势,这主要是由于光、热、水、肥等资源的影响。

5) 合理密植是品种、土壤肥力、气候条件等多因子决定的结果^[13-15]。本研究表明,要获得高产,陇亚 10 号的适宜种植密度为 600 万株·hm⁻²左右,才能确保群体发育与个体生长的最佳协调,充分利用土壤空间、养分和光照,促进植株生长发育。一膜两年用可提高胡麻产量^[16],试验是在当地一膜两年用的生产条件下进行的,对不同施肥量和田间管理条件下适宜密度有待于进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 徐光华,杨 静.胡麻纤维结构和性能的研究[J].中国纺织大学学报,1988,(5):91-97.

[2] 王文玲,索全义,高炳德.灌水对胡麻产量形成影响的研究[J].内蒙古农业科技,1998,(51):90-93.

[3] 索全义,郝虎林,索凤兰,等.氮磷化肥对胡麻产量形成的影响[J].内蒙古农业科技,2001,(土肥专辑):18-19.

[4] 李成虎.氮肥不同施用量对胡麻产量的影响[J].农业科技与信

息,2010,(21):41-42.

[5] 高 翔,胡 俊,王 莹.种植密度对胡麻产量和含油量的影响[J].内蒙古农业科技,2003,(5):10-11.

[6] 令 鹏.密度和氮磷施用量对旱地胡麻产量的影响[J].甘肃农业科技,2010,(9):34-35.

[7] 牛俊义,杨祁峰.作物栽培学研究方法[M].兰州:甘肃民族出版社,1998.

[8] 吴瑞香,杨建春.不同密度对晋亚 9 号旱作产量及其相关性状的影响[J].山西农业科学,2011,39(7):664-666.

[9] 裴雪霞,王娇爱.播期和种植密度对小麦籽粒灌浆特性的影响[J].小麦研究,2006,27(4):1-6.

[10] 任红松,王有武,曹连莆,等.小麦籽粒灌浆特性及其灌浆参数与粒重关系的分析[J].石河子大学学报(自然科学版),2004,(3):188-193.

[11] 王 婷,柴守玺.不同播种密度对西北绿洲冬小麦灌浆特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2008,43(5):33-40.

[12] 张文斌,杨祁峰,牛俊义,等.种植密度对全膜双垄沟播玉米籽粒灌浆及产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2010,45(2):74-78.

[13] 李金才.品种和播种密度对小麦灌浆特性及产量影响的研究[J].安徽农业大学学报,1996,23(4):461-465.

[14] 柯福来,马兴林,黄瑞冬,等.种植密度对先玉 335 群体子粒灌浆特征的影响[J].玉米科学,2011,19(2):58-62.

[15] 武文明,陈洪俭,李金才,等.氮肥运筹对孕穗期受渍冬小麦旗叶叶绿素荧光与籽粒灌浆特性的影响[J].作物学报,2011,37(10):1888-1896.

[16] 闫志利,吴 兵,党占海,等.农田旧膜再利用方式对胡麻生理指标及产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):197-202.

(上接第 141 页)

[12] 周择福,李昌哲.北京九龙山不同植被土壤水分特征的研究[J].林业科学研究,1994,(1):48-53.

[13] 张小泉,张清华,毕树峰.太行山北部中山幼林地土壤水分的研究[J].林业科学,1994,(3):193-200.

[14] D Hillel. Application of soil physics[M]. New York: Academic Press, 1980:385-426.

[15] J Williams, RE Prebble, WT Williams, et al. The influence of texture structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic[J]. Aust J Soil Res, 1983,21:15-32.

[16] 郭裕新,单公华.中国枣[M].上海:上海科学技术出版社,2010:32-35.

[17] 李 卓,吴普特,冯 浩,等.容重对土壤水分蓄持能力影响模拟试验研究[J].土壤学报,2010,47(4):611-620.

[18] 沈思渊,席承藩.淮北主要土壤持水性能及其与颗粒组成的关系[J].土壤学报,1990,27(1):34-42.

[19] 李 卓,冯 浩,吴普特,等.砂粒含量对土壤水分蓄持能力影

响模拟试验研究[J].水土保持学报,2009,23(3):204-208.

[20] 邵明安.土壤物理与生态环境建设研究文集[M].西安:陕西科学技术出版社,2000:145-148.

[21] 魏 强,王 芳,陈文业,等.黄河上游玛曲不同退化程度高寒草地土壤物理特性研究[J].水土保持通报,2010,30(5):16-21.

[22] 游松财,邸苏闯,袁 晔.黄土高原地区土壤田间持水量的计算[J].自然资源学报,2009,(3):545-552.

[23] JE Goode, KH Higgs, KJ Hyrcyz. Nitrogen and water effects on the nutrition, growth, crop yield and fruit quality of orchard-grown Cox's Orange Pippin apple trees[J]. Journal of Horticultural Science, 1978,53(4):295-306.

[24] JL Anderson, GE Bingham, RW Hill. Effects of permanent cover crop competition on sour cherry tree evapotranspiration, growth and productivity[J]. Acta Horticulturae, 1992,313:135-142.