

马伟然,强斌斌,刘绍锋,等. 种植密度与施肥量互作对不同品种大豆生长和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(8):38-47.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.08.006

种植密度与施肥量互作对不同品种大豆生长和产量的影响

马伟然¹,强斌斌¹,刘绍锋¹,张玉先^{1,3},曹亮^{1,2,3}

(1. 黑龙江八一农垦大学农业农村部大豆机械化生产重点实验室,黑龙江大庆 163316; 2. 东北农业大学,黑龙江哈尔滨 150000;
3. 国家杂粮工程技术中心,黑龙江大庆 163316)

摘要:为探究种植密度与施肥量互作对大豆产量的影响,于 2022 年在黑龙江省鹤山农场开展大豆高产田间试验。以高蛋白品种黑河 43 (A1) 和高油品种克山 1 号 (A2) 为试验品种,采用田间裂区设计,设置 3 种不同种植密度 (B1, 38 万株/hm²; B2, 43 万株/hm²; B3, 48 万株/hm²) 与施肥量 C1 (当地常规施肥量)、C2 (较常规施肥量下调 20%)、C3 (较常规施肥量上调 20%), 共 18 个处理,研究种植密度与施肥量互作对大豆叶面积指数、光合特性、干物质积累量、产量等的影响。结果表明,种植密度与施肥量互作对大豆产量存在显著的影响 ($P < 0.05$)。随种植密度的提高,黑河 43 的 B2 处理产量显著高于 B1、B3 处理 12.31% ~ 13.82%、5.52% ~ 7.05%、10.26% ~ 16.54%, 克山 1 号的 B1 处理产量显著高于 B2、B3 处理 2.71% ~ 18.30%、7.61% ~ 17.6%、2.89% ~ 18.35%。在相同种植密度处理下,2 个供试品种产量随施肥量的增长呈现出 C3 > C1 > C2 变化趋势,与其他处理相比产量分别增长 5.05% ~ 5.30%、4.19% ~ 14.62%、7.56% ~ 9.69% 和 2.79% ~ 8.18%、2.74% ~ 7.53%、2.60% ~ 13.14%。黑河 43 的最佳处理为 B2C3 处理,其产量为 4 327.80 kg/hm²; 克山 1 号品种的最佳处理为 B1C3 处理,其产量为 4 214.83 kg/hm²。相关性分析表明,2 个供试品种产量与 LAI、 P_n 、SPAD 值、干物质积累量、 F_v/F_m 、 F_v/F_m 呈正相关。因此,最佳施肥量和种植密度的交互模式能改善大豆光合特性,在增加干物质积累量的基础上,促进光合产物向大豆籽粒分配运输,有利于产量的形成。

关键词:大豆;施肥量;种植密度;LAI;光合特性;产量

中图分类号:S565.104;S565.106

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2024)08-0038-09

大豆籽粒中富含蛋白和油脂,被广泛用于人类食品、动物饲料、生物燃料和许多其他产品的生产,是我国最为重要的食用油脂和植物蛋白来源^[1]。黑龙江省是我国大豆主产区,同时大豆在其种植结构中占有重要地位,所以提高该地区大豆产量则是重中之重^[2]。

大豆高产是群体数量和质量相互协调的结果,其群体结构受不同的生态环境、栽培措施、品种特性等多种因素的影响^[3-5]。种植密度是影响大豆群

体结构的主要因素,也是影响其产量的主要栽培措施之一。种植密度能调控大豆群体特征,使大豆群体对生态环境资源的利用达到最大化,因此探讨不同大豆品种适宜的田间种植密度一直是研究的热点问题^[6]。研究表明,种植密度对大豆产量的影响十分明显,合理的种植密度既有助于大豆充分发挥单株生产潜力,提高光合利用率,同时也可增强植株群体在产量上的作用,寻找适宜的大豆种植密度是保障群体结构的基础,也是大豆增产的有效方法^[7-8]。氮肥、磷肥、钾肥与大豆籽粒营养成分的形成密切相关,施肥量的多少会影响大豆产量的高低。有研究表明,氮肥是影响大豆产量的主导因子,大豆产量随施肥量的增加呈现出先升后降的趋势;也有研究认为,大豆产量随施肥量的增加呈现出上升的趋势,所以科学合理的施肥量和种植密度是大豆高产的关键^[9-11]。

近年来,人们从培育抗逆优质品种、化学调控等角度探索大豆高产和优质的问题,在提高大豆产量和品质方面做了大量研究,但随着大豆品种的不

收稿日期:2023-04-18

基金项目:黑龙江省自然科学基金(编号:LH2022C063);中国博士后科学基金(编号:2022M720695);黑龙江八一农垦大学试验示范基地项目(编号:2022101);黑龙江省“揭榜挂帅”科技攻关项目(编号:2021ZXJ05B02);国家现代农业产业技术体系建设专项(编号:CARS-04-PS18)。

作者简介:马伟然(1999—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为大豆高产栽培。E-mail:1819194568@qq.com。

通信作者:曹亮,博士,讲师,研究方向为大豆高产栽培。E-mail:caoliang66@163.com。

断更新、施肥量的改变、机械化程度的增强,最优大豆群体也在不断地发生变化,原有研究成果需要进一步优化^[12]。因此,本研究探讨黑龙江省九三分公司大豆主产区高油、高蛋白主大豆品种在种植密度与施肥量互作环境下对产量的影响,可为大豆高产优质栽培提供理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022 年在黑龙江省北大荒集团九三管理局鹤山农场科技园区(48°43′~49°03′N, 124°56′~126°21′E)进行,该试验地区有效积温为 2 000~2 300 ℃,无霜期 115~120 d,年降水量 500~600 mm,0~20 cm 土层土壤的基本理化性质为:pH 值为 6.13,碱解氮含量 137.91 mg/kg,速效磷含量 21.76 mg/kg,速效钾含量 177.3 mg/kg,有机质含量 15.33 g/kg,容重 1.19 g/cm³。大豆生长季节平均气温与降水量如图 1 所示。

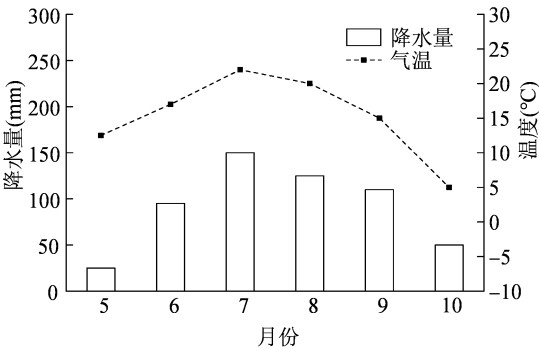


图1 2022 年鹤山农场温度和降水量

1.2 试验材料

供试品种为九三地区主栽大豆品种黑河 43(高蛋白)以及克山 1 号(高油),由北大荒垦丰种业股份有限公司提供。供试肥料为尿素(含氮量≥46%)、磷酸二铵(含氮量≥18%、P₂O₅≥46%)、硫酸钾(K₂O≥50%)。

1.3 试验设计

试验采用裂区设计,以品种为主区,种植密度为副区,施肥量为裂区,每个小区设置 6 行,行长 6 m,3 次重复,共 18 个处理 54 个小区。试验处理如下:2 个供试品种 A1(黑河 43)和 A2(克山 1 号);3 个种植密度 B1(38 万株/hm²)、B2(43 万株/hm²)和 B3(48 万株/hm²);3 个施肥水平 C1(当地常规施肥量)、C2(较常规施肥量下调 20%)和 C3(较常规施肥量上调 20%)。当地常规施肥量为 N 54 kg/hm²、

P₂O₅ 67.5 kg/hm²、K₂O 30 kg/hm²。具体设计见表 1。

表 1 2022 年鹤山农场不同品种大豆高产试验处理

种植密度 (万株/hm ²)	施肥量 (kg/hm ²)	处理	
		黑河 43	克山 1 号
38	151.5	A1B1C1	A2B1C1
	121.2	A1B1C2	A2B1C2
	181.8	A1B1C3	A2B1C3
43	151.5	A1B2C1	A2B2C1
	121.2	A1B2C2	A2B2C2
	181.8	A1B2C3	A2B2C3
48	151.5	A1B3C1	A2B3C1
	121.2	A1B3C2	A2B3C2
	181.8	A1B3C3	A2B3C3

1.4 测定项目与方法

叶面积指数(LAI)的测定。于开花期(R2)、结荚期(R4)和鼓粒期(R6)每个处理连续取 5 株完整的大豆植株,3 次重复,采用 Li-3100 叶面积仪(美国 Li-COR 公司)测定叶面积,计算叶面积指数。

叶绿素相对含量(以 SPAD 值计)的测定。于开花期(R2)、结荚期(R4)和鼓粒期(R6)晴天 08:00—11:00,每个处理连续选取 5 株完整的大豆植株,采用 SPAD-502 叶绿素仪(日本 Minolta 公司)测定倒 3 叶,3 次重复。

净光合速率(P_n)的测定。于结荚期(R4)和鼓粒期(R6)2 个关键时期的晴天 08:00—11:00,在各小区连续选取 5 株大豆,采用 Li-6400 光合测定仪(LI-COR, Lincoln, USA),选择倒 3 叶测定净光合速率。

叶绿素荧光参数的测定。于结荚期(R4)和鼓粒期(R6)2 个关键时期,采用 Fluor Pen FP 110 便携式荧光仪,选择倒 3 叶测定光系统Ⅱ最大光化学效率 F_v/F_m、光系统Ⅱ潜在光化学效率 F_v/F_o。

干物质积累量的测定。于开花期(R2)、结荚期(R4)和鼓粒期(R6)在各小区连续取 5 株大豆植株,按照地上部分和地下部分在子叶痕处分解,105 ℃ 杀青 30 min,80 ℃ 烘干至恒重。

产量的测定。在大豆成熟后进行测产,每个处理选取 1 m² 有效植株,3 次重复,从中选取 10 株具有代表性的大豆植株测定单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重,最后计算出产量,每个处理 3 次重复。

1.5 数据分析

采用 Excel 2022 进行数据处理和计算,通过

SPSS 22.0 软件进行方差分析,使用 Origin 2021 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 种植密度与施肥量互作对大豆群体叶面积指数的影响

从表 2 可知,在整个生育时期,大豆叶面积指数(LAI)呈现出 R4 > R6 > R2 变化趋势。在各生育时期,施肥量和种植密度对黑河 43 和克山 1 号 2 个供试品种 LAI 均产生显著影响($P < 0.05$)。在相同种

植密度条件下,随施肥量增加,2 个供试品种叶片 LAI 总体呈现出逐渐上升的趋势。说明在一定范围内,叶面积指数与施肥量呈正相关,适时适量增肥可以满足大豆各生育期对养分的需求。在相同的施肥量下,随种植密度的提高,黑河 43 叶片的 LAI 呈现出 B2 > B1 > B3,克山 1 号呈现出 B1 > B3 > B2。通过方差分析可知,2 个供试品种在肥密处理下产生显著的交互作用。可见,最佳肥密处理可以使大豆群体具有良好的生长环境,利于光合产物的积累和产量的提高。

表 2 种植密度与施肥量互作对大豆群体叶面积指数(LAI)的影响

处理	LAI			处理	LAI		
	开花期	结荚期	鼓粒期		开花期	结荚期	鼓粒期
A1B1C1	5.24 ± 0.07b	5.96 ± 0.24bc	5.76 ± 0.09b	A2B1C1	5.82 ± 0.07bc	6.29 ± 0.19ab	6.14 ± 0.11ab
A1B1C2	4.96 ± 0.26b	5.29 ± 0.40d	5.15 ± 0.45d	A2B1C2	5.35 ± 0.35de	5.59 ± 0.10de	5.58 ± 0.41cd
A1B1C3	5.94 ± 0.02a	6.20 ± 0.11ab	6.08 ± 0.23ab	A2B1C3	6.30 ± 0.02a	6.54 ± 0.05a	6.49 ± 0.18a
A1B2C1	6.04 ± 0.03a	6.14 ± 0.41ab	6.11 ± 0.12ab	A2B2C1	5.16 ± 0.49e	5.35 ± 0.21e	5.06 ± 0.33ef
A1B2C2	4.86 ± 0.28bc	5.32 ± 0.25cd	5.20 ± 0.39d	A2B2C2	4.50 ± 0.04f	5.30 ± 0.11e	4.88 ± 0.04f
A1B2C3	6.18 ± 0.18a	6.54 ± 0.16a	6.36 ± 0.39a	A2B2C3	5.00 ± 0.14e	5.88 ± 0.42cd	5.25 ± 0.42def
A1B3C1	4.85 ± 0.61bc	5.67 ± 0.22bc	5.27 ± 0.17cd	A2B3C1	5.66 ± 0.22cd	6.07 ± 0.06bc	5.97 ± 0.09bc
A1B3C2	4.38 ± 0.33c	5.30 ± 0.31cd	5.10 ± 0.34d	A2B3C2	5.17 ± 0.32e	5.71 ± 0.17d	5.50 ± 0.43cde
A1B3C3	5.80 ± 0.08a	6.07 ± 0.25ab	6.02 ± 0.16ab	A2B3C3	6.11 ± 0.03ab	6.23 ± 0.13ab	6.12 ± 0.06ab
B	**	***	**	B	***	**	**
C	***	***	**	C	***	**	**
B × C	***	***	*	B × C	***	***	***

注: *、**、*** 分别代表 0.05、0.01、0.001 水平差异显著,ns 代表不显著;数据后面字母代表在 0.05 水平差异显著。下表同。

2.2 种植密度与施肥量互作对大豆群体叶绿素相对含量的影响

如图 2 所示,各生育时期的种植密度和施肥量互作对叶绿素相对含量(SPAD 值)有着显著的影响($P < 0.05$)。在相同种植密度下,随着施肥量的增加,2 个供试大豆品种叶片 SPAD 值呈现出 C3 > C1 > C2 的变化趋势,分别增长 5.91% ~ 12.86%、1.51% ~ 6.66%、0.87% ~ 4.94%。说明适量提高施肥量有利于提高大豆植株叶绿素相对含量。在相同施肥量条件下,黑河 43 在不同种植密度下其叶片的叶绿素相对含量呈现出 B2 > B1 > B3 的变化趋势,克山 1 号呈现出 B1 > B3 > B2 的变化趋势。说明这 2 个品种对种植密度的敏感程度存在差异,且种植密度越大,群体越郁闭,透光性越差,越会导致大豆叶片的 SPAD 值产生下降的趋势。

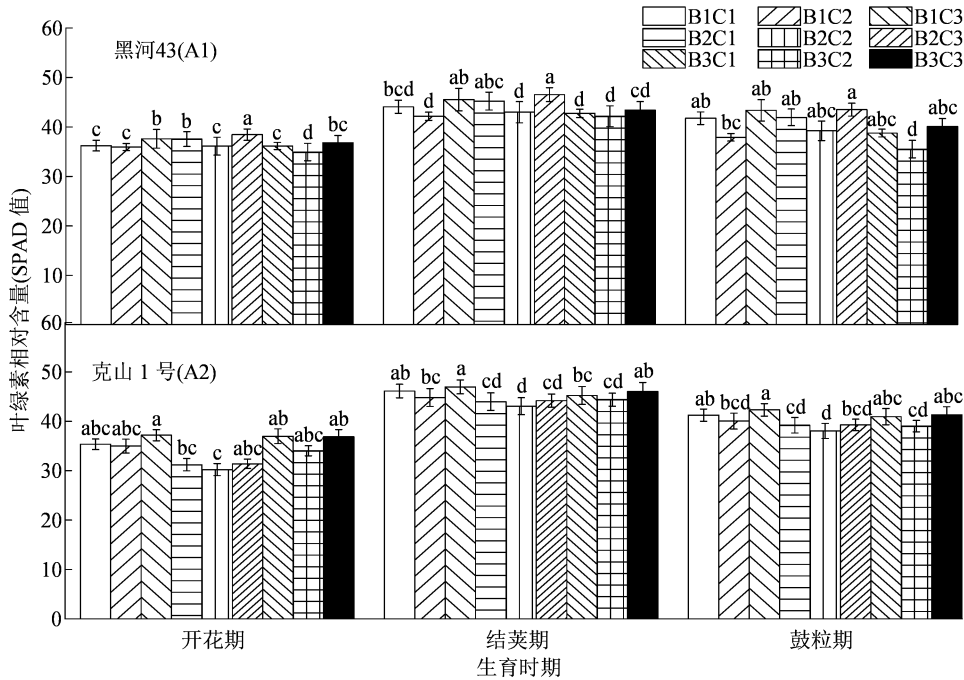
2.3 种植密度与施肥量互作对大豆群体净光合速率的影响

如图 3 所示,种植密度与施肥量互作会对大豆

叶片净光合速率产生显著影响($P < 0.05$)。在相同施肥处理下,随着种植密度的增加,黑河 43 叶片净光合速率(P_n)表现为 B2 > B1 > B3,克山 1 号品种表现为 B1 > B3 > B2。说明大豆光合特性随着种植密度的增加而提高,超过合理范围时,种植密度越高,光合特性受到高种植密度的影响反而下降。说明施肥量与种植密度的交互作用对大豆群体光合起积极的促进作用,合理的群体分布能使其得到充分表达。

2.4 种植密度与施肥量互作对大豆群体叶绿素荧光参数的影响

图 4、图 5 显示,各生育时期随着施肥量的增加,大豆叶片的 F_v/F_o 和 F_v/F_m 呈增长趋势,C3 处理与 C1、C2 处理相比增长 1.28% ~ 2.60%、1.23% ~ 1.26% 和 1.82% ~ 6.56%、2.87% ~ 3.56%,虽有所增长但效果不显著。在施肥量相同时,2 个供试品种在不同种植密度下叶片 F_v/F_o 和 F_v/F_m 产生了显著变化($P < 0.05$),黑河 43 品种随种植密度的



柱上不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。图 3 至图 5 同
图2 种植密度与施肥量互作对大豆群体叶绿素相对含量的影响

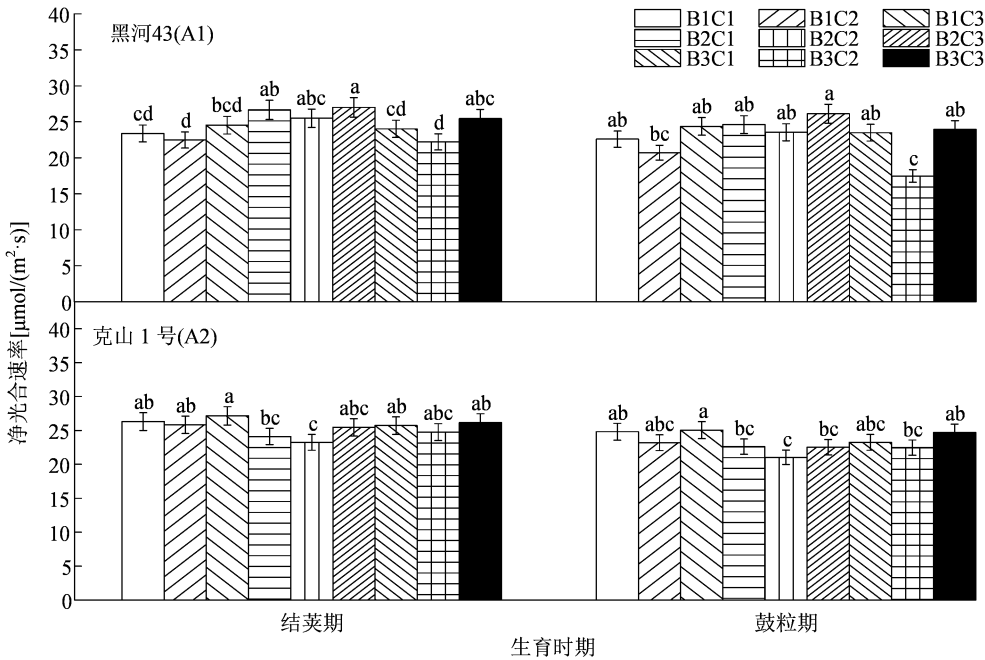


图3 种植密度与施肥量互作对大豆群体净光合速率的影响

增加,叶片 F_v/F_o 和 F_v/F_m 呈现出 $B2 > B1 > B3$ 变化趋势,与其他处理相比增长 5.00% ~ 5.33%、6.56% ~ 8.94%。克山 1 号呈现先升后降趋势,其从高到低表现为 $B1 > B3 > B2$,与 $B2$ 、 $B3$ 处理相比, $B1$ 处理分别增长 2.46% ~ 5.06%、1.80% ~ 18.27%。说明施肥处理的作用效果要低于种植密度处理,各处理不同大豆品种 F_v/F_o 及 F_v/F_m 对肥

密处理的响应是不同的,通过对比分析发现,黑河 43 品种在 $B2$ 处理下效果显著,克山 1 号在 $B1$ 处理下效果显著。
2.5 种植密度与施肥量互作对大豆群体干重的影响

从表 3、表 4 可知,植株干重随生育时期推进呈现出递增的趋势,并于鼓粒期达到最大。种植密度

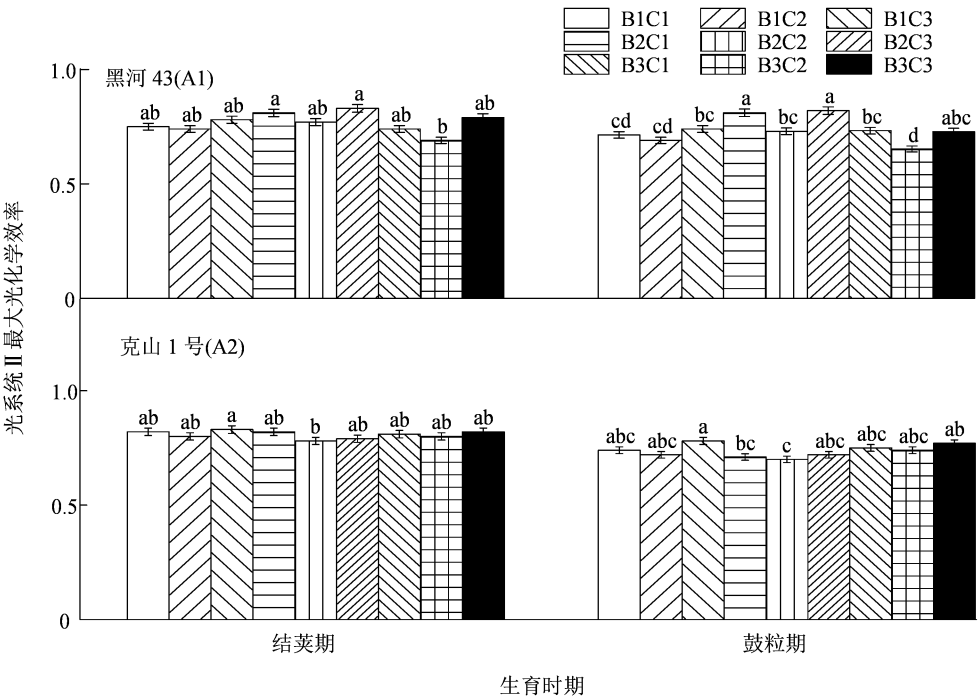


图4 种植密度与施肥量互作对大豆光系统Ⅱ最大光化学效率的影响

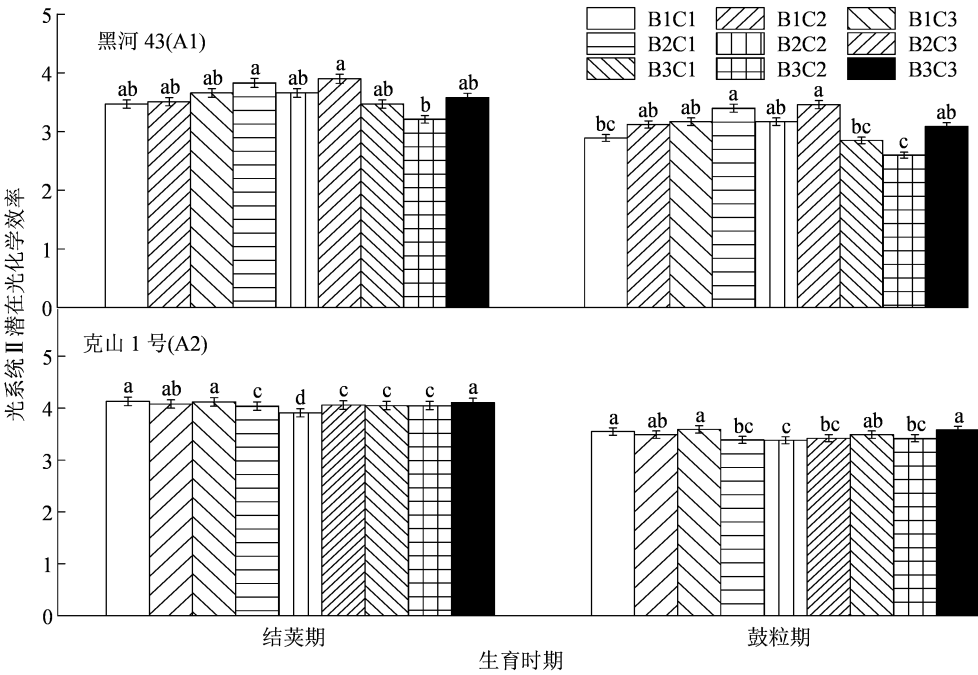


图5 种植密度与施肥量互作对大豆光系统Ⅱ潜在光化学效率的影响

与施肥量互作对植株干重的影响达到显著水平 ($P < 0.05$), 在相同施肥处理下随种植密度的增加, 黑河 43 (A1) 品种呈现出下降的趋势, 克山 1 号 (A2) 品种呈现出先升后降的变化趋势, 其中黑河 43 品种 B2 处理显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 分别提高 19.88% ~ 20.20%、18.82% ~ 19.59%、4.28% ~ 17.14%; 克山 1 号 B1 处理效果显著, 分别

提高 3.91% ~ 12.45%、13.20% ~ 15.33%、7.52% ~ 16.63% ($P < 0.05$)。在相同种植密度处理下随施肥量的增加, 2 个供试品种 C3 处理均呈现出增长趋势, 与其他处理相比分别提高 15.89% ~ 29.49%、0.80% ~ 12.90%、3.44% ~ 14.52%。通过方差分析可以得知, 2 个供试品种在肥密处理下产生显著的交互作用。

表 3 种植密度与施肥量互作对黑河 43 干物质积累量的影响

处理	开花期总干物质积累量(g)		结荚期总干物质积累量(g)		鼓粒期总干物质积累量(g)	
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
A1B1C1	8.97 ± 0.24d	2.37 ± 0.02c	19.46 ± 0.14b	3.01 ± 0.56bcd	34.10 ± 0.77c	3.50 ± 0.12cd
A1B1C2	9.14 ± 0.88d	1.94 ± 0.01d	17.02 ± 0.28c	2.22 ± 0.31d	30.52 ± 0.39d	3.08 ± 0.22d
A1B1C3	9.96 ± 0.04cd	2.57 ± 0.04b	19.68 ± 0.79b	3.50 ± 0.49ab	39.52 ± 0.58b	4.08 ± 0.26ab
A1B2C1	11.58 ± 0.57b	2.63 ± 0.10ab	20.41 ± 0.33a	3.50 ± 0.05ab	40.88 ± 0.16a	4.38 ± 0.30a
A1B2C2	11.01 ± 1.26bc	2.31 ± 0.09c	19.91 ± 0.31b	3.32 ± 0.46abc	36.50 ± 1.86b	3.77 ± 0.31bc
A1B2C3	13.28 ± 0.43a	2.71 ± 0.16a	22.03 ± 0.13a	4.11 ± 0.16a	41.21 ± 0.41a	4.62 ± 0.40a
A1B3C1	11.27 ± 0.08b	1.91 ± 0.08d	16.95 ± 0.29c	2.37 ± 0.25cd	34.01 ± 0.72cd	3.10 ± 0.36d
A1B3C2	9.31 ± 0.29d	1.90 ± 0.02d	16.75 ± 0.62c	2.13 ± 0.34d	30.72 ± 0.67d	3.05 ± 0.39d
A1B3C3	12.05 ± 0.94b	2.01 ± 0.07d	17.13 ± 0.25c	2.72 ± 1.14bcd	35.18 ± 0.68bc	3.74 ± 0.20bc
B	***	***	***	***	***	***
C	**	***	***	**	***	***
B × C	*	ns	*	ns	***	*

表 4 种植密度与施肥量互作对克山 1 号干物质积累量的影响

处理	开花期总干物质积累量(g)		结荚期总干物质积累量(g)		鼓粒期总干物质积累量(g)	
	地上部	地下部	地上部	地下部	地上部	地下部
A2B1C1	16.51 ± 1.45ab	3.23 ± 0.36b	20.15 ± 0.32ab	3.23 ± 0.36ab	36.12 ± 1.43bc	4.23 ± 0.24ab
A2B1C2	13.81 ± 0.12c	2.46 ± 0.18c	14.65 ± 1.09c	2.46 ± 0.18c	30.53 ± 0.17d	3.69 ± 0.46abc
A2B1C3	18.20 ± 0.44a	3.68 ± 0.24a	22.04 ± 0.88a	3.68 ± 0.24a	40.46 ± 0.38a	4.55 ± 0.34a
A2B2C1	13.85 ± 0.98c	2.58 ± 0.31c	18.83 ± 2.84b	2.58 ± 0.31c	32.12 ± 0.53d	3.64 ± 1.22abc
A2B2C2	13.90 ± 0.97c	2.50 ± 0.08c	15.82 ± 1.06c	2.50 ± 0.08c	26.97 ± 0.22e	3.27 ± 0.06c
A2B2C3	16.87 ± 0.56b	2.83 ± 0.61b	20.01 ± 0.37ab	2.83 ± 0.61bc	34.69 ± 0.86c	3.78 ± 0.18abc
A2B3C1	16.18 ± 0.13b	2.85 ± 0.24b	19.24 ± 1.96b	2.85 ± 0.24bc	34.76 ± 0.42c	3.80 ± 0.41abc
A2B3C2	13.86 ± 0.75c	2.55 ± 0.44c	14.89 ± 1.02c	2.55 ± 0.44c	26.47 ± 0.18e	3.43 ± 0.19bc
A2B3C3	17.11 ± 0.9ab	3.5 ± 0.04b	19.29 ± 0.67b	3.50 ± 0.04a	37.63 ± 2.40b	4.10 ± 0.18abc
B	***	***	***	***	***	***
C	***	***	***	***	***	***
B × C	***	**	*	***	***	**

2.6 密度与施肥量互作对大豆群体产量的影响

由表5、表6可知,种植密度与施肥量互作对不同品种的大豆产量及产量构成因子存在显著的影响($P<0.05$)。随种植密度的提高,黑河 43 品种 B2 处理产量显著高于 B1、B3 处理,分别增长 12.31% ~ 13.82%、5.52% ~ 7.05%、10.26% ~ 16.54%;而克山 1 号 B1 处理的产量显著高于 B2、B3 处理,分别增长 2.71% ~ 18.30%、7.61% ~ 17.60%、2.89% ~ 18.35%。在相同种植密度处理下,2 个供试品种产量随施肥量的增长呈现出 C3 > C1 > C2 变化趋势,与其他处理相比产量分别增长 5.05% ~ 5.30%、4.19% ~ 14.62%、7.56% ~

9.69% 和 2.79% ~ 8.18%、2.74% ~ 7.53%、2.60% ~ 13.14%。通过方差分析可以得知,密度与施肥量互作对单株荚数、单株粒数、单株粒数、产量均具有显著的交互作用,对大豆百粒重不存在交互作用。

2.7 产量与各项指标相关性分析

图 7、图 8 为施肥量与种植密度互作下不同供试品种产量与各项指标之间的相关性分析。相关性分析表明,大豆的产量与光合特性有着正相关关系,克山 1 号产量与 F_v/F_m 虽呈正相关但并不显著。对比分析发现,施肥量与种植密度交互下黑河 43 叶片光合特性相关指标与产量的相关程度要高于

表 5 种植密度与施肥量互作对黑河 43 产量及产量构成因素的影响

处理	单株荚数 (个/株)	单株粒数 (粒/株)	单株粒重 (g/株)	百粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
A1B1C1	27.50 ± 0.33d	67.28 ± 2.77cd	12.47 ± 1.18cde	19.11 ± 0.36a	3 698.2 ± 40.22de
A1B1C2	26.17 ± 1.50de	64.78 ± 4.76cd	12.50 ± 0.34cde	18.83 ± 0.19a	3 526.47 ± 24.80g
A1B1C3	30.67 ± 1.01c	72.83 ± 7.54c	14.20 ± 1.37bc	19.74 ± 0.09a	3 925.00 ± 24.44c
A1B2C1	34.61 ± 2.5ab	87.28 ± 2.08ab	16.23 ± 0.4ab	19.53 ± 0.36a	4 153.60 ± 33.12b
A1B2C2	32.56 ± 3.51bc	83.00 ± 2.33b	14.25 ± 0.24bc	19.53 ± 1.09a	3 775.63 ± 47.89bc
A1B2C3	37.00 ± 1.67a	93.94 ± 3.43a	16.87 ± 0.67a	19.76 ± 0.33a	4 327.80 ± 71.49a
A1B3C1	26.20 ± 0.5de	62.83 ± 7.06d	11.90 ± 1.10de	19.39 ± 0.99a	3 649.00 ± 88.70ef
A1B3C2	23.41 ± 1.93e	60.93 ± 5.71d	11.08 ± 2.59e	18.85 ± 1.43a	3 578.20 ± 67.56fg
A1B3C3	26.75 ± 0.58d	63.50 ± 3.90d	13.38 ± 0.10cd	18.38 ± 0.08a	3 713.33 ± 66.58de
B	***	***	***	ns	***
C	***	***	***	ns	***
B × C	***	***	*	ns	***

表 6 种植密度与施肥量互作对克山 1 号产量及产量构成因素的影响

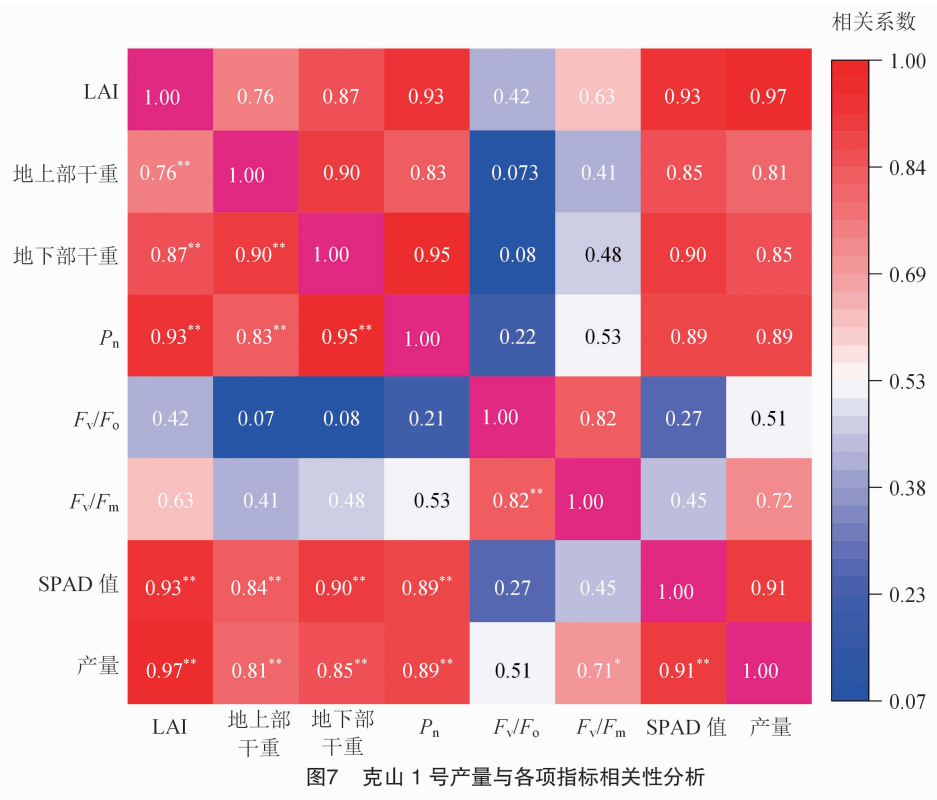
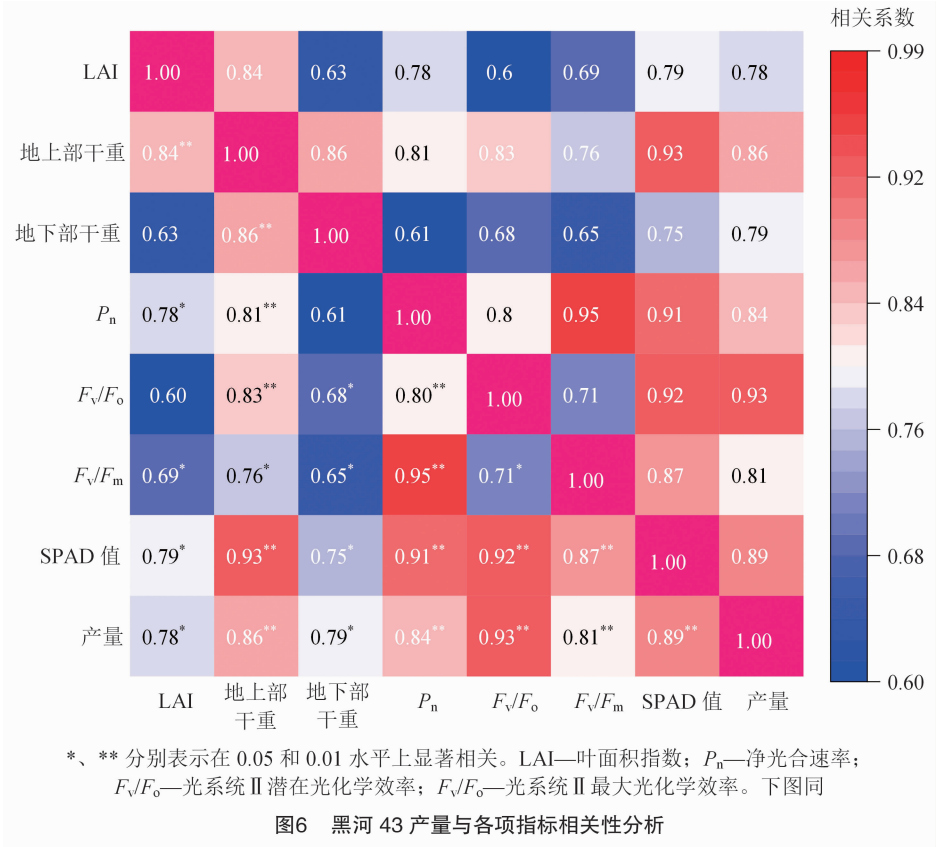
处理	单株荚数 (个/株)	单株粒数 (粒/株)	单株粒重 (g/株)	百粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
A2B1C1	31.83 ± 2.89a	79.22 ± 8.86a	14.57 ± 0.37ab	18.79 ± 0.17ab	4 100.60 ± 64.76ab
A2B1C2	29.22 ± 2.34ab	73.61 ± 4.99ab	11.87 ± 0.89bc	19.31 ± 0.94ab	3 896.03 ± 94.61c
A2B1C3	32.44 ± 3.46a	78.28 ± 8.11a	15.19 ± 1.51a	19.78 ± 0.48a	4 214.83 ± 33.58a
A2B2C1	27.00 ± 2.08ab	69.72 ± 7.07ab	13.26 ± 1.56abc	19.18 ± 0.16ab	3 466.23 ± 83.76e
A2B2C2	24.83 ± 2.59b	62.50 ± 6.13b	12.05 ± 1.50bc	18.50 ± 0.10b	3 312.07 ± 93.49e
A2B2C3	28.40 ± 3.33ab	74.09 ± 8.29ab	11.07 ± 2.39c	18.68 ± 0.40ab	3 561.33 ± 5.31de
A2B3C1	29.06 ± 4.68ab	71.00 ± 7.19ab	13.71 ± 2.03abc	18.72 ± 0.57ab	3 992.30 ± 78.18bc
A2B3C2	28.00 ± 0.47ab	67.33 ± 2.91ab	11.58 ± 0.07c	18.42 ± 0.07b	3 620.50 ± 15.18d
A2B3C3	29.50 ± 4.75ab	72.44 ± 1.07ab	12.96 ± 2.01abc	19.10 ± 1.00ab	4 096.27 ± 53.09ab
B	***	***	**	***	***
C	***	***	***	*	***
B × C	***	ns	***	ns	***

克山 1 号。此外,黑河 43 产量与 LAI、地下部干物质积累量呈正相关,和地上部干物质积累量呈显著正相关,而克山 1 号产量与 LAI、地上地下部干物质积累量均呈现显著正相关,且相关程度明显高于黑河 43。所以提高光合能力有助于植株光合产物的积累,促进生物量增长,从而达到高产目的。

3 讨论

叶面积指数(LAI)是衡量大豆群体结构以及产量的重要指标,叶面积指数对光合产物积累有着重要的影响,延长叶面积的持续可以使干物质积累量增加,最后达到增产的目的,所以适宜的叶面积指数是构成大豆高产稳产的基础^[13-15]。有研究表明,

在一定范围内大豆叶面积指数随着施肥水平和在栽培密度的增加而增加^[16]。本研究表明,种植密度和施肥量对 2 个不同品种的大豆所反映出的变换趋势是不同的,黑河 43 随种植密度的增加叶面积指数呈下降的趋势,克山 1 号呈先升后降趋势,这与人研究有所差异,不同的原因可能是 2 种不同基因的大豆对种植密度的敏感程度不同。但种植密度过大,2 个品种大豆的叶面积指数均呈现出下降的趋势,这是由密度过大,植株之间的叶片相互遮掩,光能利用率降低导致的。大豆的生长发育还会受到区域生态气候和群体内部竞争造成的双重影响^[17-18]。不同种植密度可以调节作物的群体结构,改善群体竞争力^[19]。



光合作用是决定作物产量的关键因素,光合能力的强弱直接影响作物产量的高低^[20]。肥密处理

对大豆光合特性有着重要的影响,前人研究发现,叶绿素含量随密度的增加而降低^[21]。本研究发现,

随着种植密度的增加,黑河 43 呈降低趋势,克山 1 号品种呈先升后降的变化趋势,黑河 43 叶绿素变化趋势与前人研究相似。克山 1 号有所不同,其原因可能是因为选择的种植密度不同,本研究发现种植密度在 43 万株/hm²,克山 1 号叶绿素含量达到最大化,因此在生产中,首先要考虑不同品种之间最优种植密度以及施肥量来构建高效的群体结构,从而使大豆获得合理的光分布和优越的光环境。此外,叶绿素是光合作用中最重要的色素,与光合特性密切相关,提高光合能力有助于大豆生长发育、籽粒生物量的积累,是大豆产量形成的物质基础。有研究表明,随种植密度的增加,大豆叶片的净光合速率呈现出先升后降的趋势^[22-23]。本研究发现,随着种植密度的增加,黑河 43 的净光合速率呈显著下降的趋势,而克山 1 号出现先升后降的趋势,造成不同的原因可能是 2 个品种自身特性的不同、环境因素以及土壤肥力所造成的,因此在排除外界因素条件下,适宜的种植密度、合理的施肥量能够有效保证大豆群体内部与外界的气体交换,提高净光合速率。

大豆产量的形成是在基因型、环境条件、管理措施等因素共同作用下通过复杂的生理生化代谢反应过程完成的。在一定的基因型条件下,通过适宜的栽培措施,可以使品种特性发挥到最大化^[24-26]。合理的施肥水平以及最佳的种植密度是提高产量的关键,有研究表明,在相同的施氮条件下,随着种植密度的增加,其产量构成因素的各项指标呈现出下降的趋势^[23,27]。本研究发现,随着施肥量的增加,各处理的单株荚数、单株粒数、单株粒重呈现出相应的增长,而随着种植密度的不断增长,各项指标呈现出下降的趋势,说明在较高的种植密度下,产量性状往往并不理想,这与前人研究结果^[28]相似。由此可以看出,最优种植密度和施肥量是大豆高产的关键因素,能够充分发挥出不同大豆品种产量的潜力,最大限度地增加单位面积产量,但是不同品种特征性有所差异,种植密度和施肥量的配比也应有所不同。

4 结论

综上所述,黑河 43 最优配置为:种植密度 38 万株/hm²,施肥量上调 20% (A1B2C3) 处理效果显著 ($P < 0.05$),产量为 4 327.80 kg/hm²。克山 1 号最优配置为:种植密度 43 万株/hm²,施肥量上调 20% (A2B1C3) 处理效果显著 ($P < 0.05$),产量为

4 214.83 kg/hm²。相关分析表明,2 个供试品种产量与 LAI、 P_n 、SPAD 值、干物质积累量、 F_v/F_o 、 F_v/F_m 呈正相关,说明种植密度与施肥量互作对产量构成起着积极作用。在生产实践中可以明确优质高产大豆生产的最佳种植密度和施肥量,进而促进农业绿色可持续发展。

参考文献:

- [1] 王连铮,王 岚,赵荣娟,等. 优质、高产大豆育种的研究[J]. 大豆科学,2006,25(3):205-211.
- [2] 许艳丽,刘爱群,韩晓增,等. 黑龙江省黑土区不同茬口对大豆生育及产量和品质影响的研究[J]. 大豆科学,1996,15(1):48-55.
- [3] 刘俊华,吴正峰,党彦学,等. 密度对不同株型花生单粒精播群体质量及产量的影响[J]. 作物学报,2023,49(2):459-471.
- [4] 朴 琳,李 波,陈喜昌,等. 优化栽培措施对春玉米密植群体冠层结构及产量形成的调控效应[J]. 中国农业科学,2020,53(15):3048-3058.
- [5] 王桂芹,张常陆,陆静梅,等. 不同生态环境野生大豆的结构比较研究[J]. 应用生态学报,1999,10(6):696-698.
- [6] 刘金印,张恒善,王大秋. 豆种植密度和群体结构指标的研究[J]. 大豆科学,1987,6(1):1-10.
- [7] 李瑞平,李志刚,马日亮,等. 大豆垄上三行窄沟密植栽培群体生理研究[J]. 大豆科学,2009,28(1):81-84.
- [8] 冯丽娟,朱洪德,于洪久,等. 品种、密度、施肥量对高油大豆产量及品质的效应[J]. 大豆科学,2007,26(2):158-162.
- [9] 胡 倩,樊 超,邸树峰,等. 肥密互作对大豆产量和品质特性的影响[J]. 安徽农业科学,2022,50(22):23-26.
- [10] 任小俊,吕新云,马俊奎. 种植密度与施肥水平对山西早熟夏大豆产量与主要农艺性状的影响[J]. 大豆科学,2019,38(6):921-927.
- [11] 曹 亮,黄炳林,王孟雪,等. 株行距及穴苗数的配置对寒地水稻产量和品质的影响[J]. 作物杂志,2019(3):91-98.
- [12] Ren Y Y, Liu J J, Wang Z L, et al. Planting density and sowing proportions of maize - soybean intercrops affected competitive interactions and water - use efficiencies on the Loess Plateau, China [J]. European Journal of Agronomy,2016,72:70-79.
- [13] 白 磊. 施氮量与密度对高油大豆光合生产及产质量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [14] 王玉莲,杨克军,任海洋,等. 不同施肥和栽培密度对双高大豆品种牡丰 7 号光合特性的影响[J]. 黑龙江农业科学,2011(9):13-16.
- [15] 赵建华,孙建好,李伟绮. 玉米播期对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J]. 中国生态农业学报,2018,26(11):1634-1642.
- [16] Bianchi J S, Quijano A, Gosparini C O, et al. Changes in leaflet shape and seeds per pod modify crop growth parameters, canopy light environment, and yield components in soybean[J]. The Crop Journal,2020,8(2):351-364.
- [17] 黄兴军,冉新月,吴 树,等. 播期和密度对南疆春大豆光合特性及产量的影响[J]. 大豆科学,2022,41(5):546-556.

王廷金,才 硕,时 红,等. 种植方式和灌溉模式对双季稻水分利用的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(8):47-57.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.08.007

种植方式和灌溉模式对双季稻水分利用的影响

王廷金¹,才 硕²,时 红^{1,2},郭巧玲¹,刘现波¹,程 婕²,万绍媛²

(1. 东华理工大学,江西南昌 330013; 2. 江西省灌溉试验中心站,江西南昌 330201)

摘要:为探究不同种植方式和灌溉模式对双季稻全生育期(播种—收割)产量及水分利用的影响。通过选取手工栽插(HT)、抛秧(ST)、机插(MT)、直播(DS)4 种植方式和淹水灌溉(FI)、间歇灌溉(II)2 种灌溉模式进行大田试验,对直播稻与移栽稻全生育期稻田水量平衡及水分利用效率的变化趋势开展研究以期评价多元种植方式下双季稻的需耗水特征。结果表明,双季稻不同水分管理产量大小关系均表现为:HT>ST>MT>DS;水分利用效率均呈现移栽稻大于直播稻、II 大于 FI 的趋势,不同灌溉模式下抛秧水分利用效率最高,较 HT、MT、DS 分别降低了 3.85%~8.86%、5.59%~9.55%、34.04%~45.76%。双季稻的灌水量、渗漏量、蒸发蒸腾量、耗水量均为 II 小于 FI。不论 FI 还是 II,双季稻灌水量、渗漏量、蒸发蒸腾量以及耗水量均表现为直播稻高于移栽稻,且直播稻苗期渗漏量、蒸发蒸腾量、耗水量显著高于移栽稻,拔节孕穗期、抽穗开花期与其他处理差异较小。移栽稻各处理育秧期水量平衡各参数占全生育期比例均以 HT 处理最高,其耗水量占全生育期的比例为 1.82%~4.51%,早稻排水量均占全生育期的 3.97%,晚稻移栽后稻田无排水(育秧期占比 100%)。移栽稻育秧期水分利用与消耗在全生育期水分管理中亦是极重要的一部分,不同灌溉模式以间歇灌溉+手工栽插的结合最优,在实现高产的同时,显著提高了水分利用效率。

关键词:双季稻;全生育期;种植方式;灌溉方式;水量平衡;水分利用效率

中图分类号:S511.04;S511.07 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)08-0047-11

双季稻是我国保障粮食安全和促进国民经济发展至关重要的粮食作物^[1]。为增加双季稻产量,

20 世纪 80 年代高产栽培技术的广泛应用,20 世纪 90 年代的多熟制轻简化栽培技术以及 21 世纪以后机械化的快速发展实现了农机与农艺的有机融合,逐步提高稻作水平^[2-5]。近年来,随着农村劳动力的流失和农业成本的增加以及水稻栽插机械化的发展,双季稻呈现出手工栽插、机械插秧、直播、抛秧 4 种植方式并存现象^[6]。不同的种植方式造成双季稻水分管理和水分利用效率的差异^[7]。郭振宇等的研究表明,与手工栽插、抛秧、机插相比,直播导致水稻生长期延长,从而导致大田总用水量

收稿日期:2023-10-12

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960377);江西水利科技项目(编号:202124ZDKT29、202325ZDKT01、KT201630);长江科学院开放研究基金(编号:CKWV2016400/KY)。

作者简介:王廷金(1998—),女,云南昭通人,硕士研究生,从事农田水利与农业生态技术研究。E-mail:mei991225@163.com。

通信作者:才 硕,研究员,从事农田水利与农业生态技术研究。E-mail:caishuo0911@163.com。

[18]李广军,李河南,程利国,等. 大豆叶绿素含量动态表达的 QTL 分析[J]. 作物学报,2010,36(2):242-248.

[19]刘 明,来永才,毕影东,等. 肥密互作对大豆光合作用的调控研究[J]. 黑龙江农业科学,2020(9):14-19.

[20]张 艳,佟 斌,吴晓秋,等. 肥密处理对不同大豆品种产量和品质的影响[J]. 大豆科学,2010,29(3):444-447.

[21]田艺心,高凤菊,徐 冉. 种植密度对高蛋白大豆经济性状和产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2017,39(4):476-482.

[22]刘玉平,李志刚,李瑞平. 不同密度与施氮水平对高油大豆产量及品质的影响[J]. 大豆科学,2011,30(1):79-82,88.

[23]张 萌,潘高峰,黄益勤,等. 增密与减氮对秋玉米产量形成与氮肥利用的影响[J]. 湖南农业科学,2019(9):17-23.

[24]周长军,田中艳,吴耀坤,等. 种植密度与氮肥追施对农庆豆 28

农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学,2022,41(6):688-695.

[25]肖亦农,谢甫绵,肖万欣. 不同肥密处理对超高产大豆氮素吸收和产量的影响[J]. 大豆科学,2011,30(5):769-776.

[26]Abbasi M K, Tahir M M, Azam W, et al. Soybean yield and chemical composition in response to phosphorus - potassium nutrition in Kashmir[J]. Agronomy Journal,2012,104(5):1476-1484.

[27]王冬群,成美玲. 春季菜用大豆高雄 9 号肥料与密度相关性分析[J]. 浙江农业科学,2022,63(5):972-973,976.

[28]Currie R W, Winston M L, Slessor K N, et al. Effect of synthetic queen mandibular pheromone sprays on pollination of fruit crops by honey bees (Hymenoptera: Apidae) [J]. Journal of Economic Entomology,1992,85(4):1293-1299.