

吴 树,徐 玥,张 磊,等. 根瘤菌接种方式对复播大豆籽粒灌浆特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(5):101-106.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.05.015

根瘤菌接种方式对复播大豆籽粒灌浆特性及产量的影响

吴 树,徐 玥,张 磊,冉新月,黄兴军,吴全忠,陈国栋,翟云龙

(塔里木大学植物科学学院,新疆阿拉尔 843300)

摘要:为探讨不同根瘤菌接种方式的实施效果,以前期分离、鉴定、纯化的 3 株根瘤菌菌株为材料,选用南疆地区复播大豆绥农 35 为供试品种,对根瘤菌拌种、做种肥、随水滴施等接种方式的效果进行比较,测定了大豆籽粒灌浆特性、产量及其构成因素等指标,用 Logistic 方程模拟籽粒灌浆过程,对复播大豆籽粒灌浆相关参数进行分析。结果表明,3 种接种方式 Logistic 方程拟合决定系数均在 0.99 以上,能准确反映灌浆过程;做种肥方式接种各根瘤菌后大豆百粒质量理论最大值(K)和籽粒阶段干物质积累量平均值高于拌种和随水滴施的处理;产量与单株粒质量、单株荚数、单株粒数及百粒质量均呈正相关,拌种方式处理植株单株粒质量、单株荚数、单株粒数及百粒质量的平均值均处于较高的水平。不同接种方式间以拌种处理接种根瘤菌 SN7-2 的产量最好,达 5 946.0 kg/hm²。

关键词:根瘤菌;接种方式;复播大豆;灌浆特性;产量

中图分类号:S565.104 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)05-0101-06

豆科植物-根瘤菌生物固氮体系所固定的氮量约占生物固氮总量的 65%,是自然界中重要的生物固氮系统^[1-4],因此,在农业生态系统的氮循环中,共生固氮系统发挥了重要作用。固氮酶活跃于

根瘤内部,根瘤菌在侵染豆科植物根部诱导固氮根瘤形成后,空气中大量的氮元素受固氮酶作用固定转化为氮肥,以供宿主植物利用。在农业生产中,充分合理地利用豆科植物-根瘤菌共生固氮性能,可以使土壤中氮素含量增加,提高土壤肥力,在有效减少化肥使用率的同时,降低化学肥料对土壤和环境的负面影响^[5]。

灌浆是籽粒形成的关键过程,主要反映了籽粒的增加质量程度,与籽粒充实度、结实率、粒质量和品质等密切相关^[6],直接影响到大豆生育后期籽粒产量和品质的形成^[7]。鼓粒期是灌浆过程的高峰期,是决定大豆产量至关重要的时期,直接关系到产量结果^[8]。大量研究表明,在植株籽粒建成过程

收稿日期:2021-06-24

基金项目:新疆生产建设兵团重点领域科技攻关项目(编号:2019AB022);塔里木大学华中农业大学联合基金(编号:TDHNLH201705);塔里木大学研究生科研创新项目(编号:TDCRI202021)。

作者简介:吴 树(1998—),男,黑龙江佳木斯人,硕士研究生,研究方向为作物高产理论与技术研究。E-mail:1916835687@qq.com。

通信作者:翟云龙,博士,教授,主要从事作物高产理论与技术研究。E-mail:zylzky@163.com。

[6]李旭毅,孙永健,程洪彪,等. 两种生态条件下氮素调控对不同栽培方式水稻干物质积累和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):773-781.

[7]邓 飞,王 丽,刘 利,等. 不同生态条件下栽培方式对水稻干物质生产和产量的影响[J]. 作物学报,2012,38(10):1930-1942.

[8]张 亮,王彦青,叶旭波,等. 不同旱直播模式下水稻分蘖动态和产量变化[J]. 农业科学研究,2020,41(2):14-22.

[9]李洪亮,孙玉友,侯国强,等. 寒地粳稻产量及其主要构成性状间的关系[J]. 干旱地区农业研究,2021,39(3):107-112.

[10]吴桂成,张洪程,钱银飞,等. 粳型超级稻产量构成因素协同规律及超高产特征的研究[J]. 中国农业科学,2010,43(2):266-276.

[11]董春华,曾闹华,高菊生,等. 长期不同施肥模式下红壤性稻田

水稻产量及有机碳含量变化特征[J]. 中国水稻科学,2014,28(2):193-198.

[12]Chen W F, Xu Z J, Zhang L B, et al. Effects of different panicle type on canopy properties light distribution and dry matter production of rice population[J]. Acta Agronomica Sinica, 1995, 21(1):83-89.

[13]邹应斌,黄见良,屠乃美,等. "旺壮重"栽培对双季杂交稻产量形成及生理特性的影响[J]. 作物学报,2001,27(3):343-350.

[14]王 勋,戴廷波,姜 东,等. 不同生态环境下水稻基因型产量形成与源库特性的比较研究[J]. 应用生态学报,2005,16(4):615-619.

[15]童 平,杨世民,马 均,等. 不同水稻品种在不同光照条件下的光合特性及干物质积累[J]. 应用生态学报,2008,19(3):505-511.

中,氮素积累起到了重要的促进作用^[9-10],因而接种根瘤菌后,植株的固氮水平显得尤为重要。不同接种方式对于根瘤菌接种效果影响很大,在不同的地区和生产模式下选择与该地区相适宜的接种方式才能获得稳定的接种效果^[11],在根瘤菌的实际应用中选择有效接种方式是关键环节。目前,在田间生产中根瘤菌主要以直接拌种、土施菌肥、喷施菌液和幼苗接种等方式进行接种^[12]。在新疆南疆滴灌条件下,探索有效的根瘤菌接种方式,通过根瘤菌的生物固氮效果实现大豆的丰产稳产,可为大豆产业高产高效、可持续发展提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2020 年 6—10 月在塔里木盆地北缘的新疆阿拉尔市塔里木大学农学试验站进行,前茬作物为冬小麦。该试验地区无霜期 220 d,4—10 月平均日照长 9.5 h,光照时间较内地相比较长。年平均降水量 50 mm 左右,降水稀少,属暖温带大陆干旱荒漠气候。土壤质地为壤土,土壤有机质含量为 7.89 g/kg,速效磷含量为 19.1 mg/kg,速效钾含量为 114 mg/kg,碱解氮含量为 33.6 mg/kg,pH 值为 7.9。

1.2 试验材料

供试大豆品种为绥农 35 号,生育期 118 d。供试根瘤菌分离自阿拉尔垦区盐碱地土著根瘤菌,由华中农业大学农业微生物学国家重点实验室提供,分别为 SMH12、T6、SN7-2。

1.3 试验设计

本试验采用裂区设计,3 次重复,小区面积为 4.5 m×2 m,总面积为 9.0 m²。主区为接种方式:拌种、做种肥、随水滴施;副区为接种根瘤菌:不接种(CK),接种 SMH12、T6 和 SN7-2,3 次重复。根瘤菌液浓度为 2.0×10⁸ 活菌/mL,每小区用量 2 mL。拌种:将根瘤菌液加水与种子充分混和搅拌,对照为等量清水拌种,将与菌液充分接触后的种子平摊于阴凉通风处至干燥,当天播种完毕。做种肥:根瘤菌液由草炭吸附,制成固体颗粒(种肥),人工点种前作种肥施于种子下方,每穴种肥量均匀,当天施肥当天播种,对照为施入等量草炭。随水滴施:于大豆一节期(V1),将根瘤菌液加水搅拌均匀,随水滴施入大豆根系处,对照为滴入等量清

水。大豆种植采用 40 cm 等行距穴播,穴距为 10 cm,留苗 2.5×10⁵ 株/hm²。试验于 2020 年 6 月 24 日人工点播,10 月 8 日收获。播种前施有机肥 3 750 kg/hm²,盛花期追施复合肥(N、P₂O₅、K₂O 含量分别为 26%、6%、8%)和尿素分别为 120、30 kg/hm²,其他田间管理措施与一般大田相同。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 籽粒灌浆 在盛花期每小区选择长势一致的植株挂牌标记,从灌浆后 7 d 开始取样,每隔 5 d 取样 1 次,每次各处理选取 10 株,每株人工脱粒。各处理籽粒混匀,随机选出 100 粒,在 105 ℃杀青 0.5 h,80 ℃烘干至恒质量,测定百粒质量。

以开花后的天数(t)为自变量,每次测得的百粒质量(Y)为因变量,用 Logistic 方程 $Y = K / (1 + e^{A+Bt})$ 对籽粒生长过程进行拟合,其中: K 为灌浆结束时所能达到的最大百粒质量, A 、 B 为方程参数,用决定系数 R^2 (Y 依 t 的回归平方和占总平方和的比率)表示其拟合优度。求方程的一阶和二阶导数,得一系列次级灌浆参数。

1.4.2 产量及其构成因素 在成熟期每小区选取 1 m² 实收计产,每个处理选取长势一致且具有代表性的大豆 10 株室内考种,测定大豆株高、茎粗、主茎总节数、单株结荚数、单株粒数等,大豆籽粒在 65 ℃烘箱下烘干至恒重,测定单株粒质量、百粒质量。

1.4.3 数据统计与分析 采用 Microsoft Excel 2010 进行数据统计,利用 DPS 7.05 软件对数据进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 接种方式对籽粒灌浆数学模拟的影响

灌浆期是作物籽粒质量形成的关键阶段,同时是影响产量构成的重要因素。通过对鼓粒期不同接种方式处理根瘤菌籽粒灌浆进程拟合 Logistic 方程(表 1),发现不同接种方式下各根瘤菌处理大豆籽粒灌浆拟合方程决定系数均大于 0.99,说明 Logistic 方程拟合度较高,利用该方程能够很好地描述大豆籽粒灌浆全过程。

分析采用不同接种方式接种根瘤菌理论最大百粒质量(K),在拌种方式和做种肥接种根瘤菌均以 SMH12 接种大豆籽粒中干物质积累量最高,说明根瘤菌 SMH12 在拌种和做种肥接种大豆能较好地促进籽粒增加。随水滴施处理根瘤菌均能使大豆籽粒理论最大百粒质量增加,对比滴施清水,增加

表 1 不同接种方式处理大豆籽粒灌浆的 Logistic 方程模拟及其特征参数

接种方式	根瘤菌	模拟方程	R^2	K (g)	T (d)	T_m (d)	V_a (g/d)	V_m (g/d)
拌种	SMH12	$Y = 20.443\ 4 / (1 + e^{3.289\ 6 - 0.150\ 431t})$	0.994\ 2	20.44	52.41	21.87	0.39	0.77
	T6	$Y = 19.671\ 4 / (1 + e^{3.340\ 9 - 0.148\ 381t})$	0.995\ 9	19.67	53.48	22.52	0.37	0.73
	SN7-2	$Y = 20.264\ 6 / (1 + e^{3.185\ 8 - 0.143\ 557t})$	0.995\ 4	20.26	54.20	22.19	0.37	0.73
	CK	$Y = 20.028\ 6 / (1 + e^{3.243\ 5 - 0.146\ 063t})$	0.996\ 8	20.03	53.67	22.21	0.37	0.73
种肥	SMH12	$Y = 21.439\ 2 / (1 + e^{3.452\ 0 - 0.152\ 667t})$	0.995\ 7	21.44	52.71	22.61	0.41	0.82
	T6	$Y = 19.629\ 1 / (1 + e^{3.204\ 6 - 0.147\ 741t})$	0.994\ 7	19.63	52.79	21.69	0.37	0.73
	SN7-2	$Y = 20.015\ 0 / (1 + e^{3.320\ 5 - 0.154\ 842t})$	0.996\ 9	20.02	51.12	21.44	0.39	0.77
	CK	$Y = 19.804\ 1 / (1 + e^{3.387\ 1 - 0.151\ 670t})$	0.996\ 1	19.80	52.63	22.33	0.38	0.75
滴施	SMH12	$Y = 17.574\ 1 / (1 + e^{3.709\ 8 - 0.174\ 871t})$	0.993\ 4	17.57	47.49	21.21	0.37	0.77
	T6	$Y = 19.251\ 1 / (1 + e^{3.919\ 5 - 0.184\ 118t})$	0.990\ 0	19.25	46.25	21.29	0.42	0.89
	SN7-2	$Y = 19.326\ 3 / (1 + e^{3.738\ 7 - 0.171\ 523t})$	0.994\ 8	19.33	48.59	21.80	0.40	0.83
	CK	$Y = 17.011\ 7 / (1 + e^{3.948\ 6 - 0.186\ 387t})$	0.994\ 9	17.01	45.84	21.18	0.37	0.79

注:Y 为百粒质量,t 为开花后的天数, R^2 为决定系数,K 为理论最大百粒质量,T 为灌浆总天数, T_m 为最大灌浆速率出现日期, V_a 为平均灌浆速率, V_m 为最大灌浆速率。

质量 3.19% ~ 12.00%。进一步分析各接种方式处理根瘤菌籽粒理论最大百粒质量平均值可知,在不同接种方式条件下各根瘤菌处理大豆最大百粒质量表现为做种肥 > 随水滴施 > 拌种。

分析不同方式接种根瘤菌的特征参数,拌种方式接种根瘤菌 SMH12 籽粒有最大的平均灌浆速率及最大灌浆速率,且达到最大灌浆速率用时最短,接种根瘤菌 SN7-2 灌浆持续时间最长;做种肥方式接种根瘤菌 SMH12 大豆籽粒的最大灌浆速率以及平均灌浆速率均最高,接种根瘤菌 T6 灌浆持续时间最长,接种根瘤菌 SN7-2 达到最大灌浆速率时间最短;随水滴施方式接种根瘤菌 SMH12 达到最大灌浆速率所用天数最少,接种根瘤菌 T6 最大灌浆速率和平均灌浆速率均最高,接种根瘤菌 SN7-2 理论最大百粒质量最高,虽然达到最大灌浆速率所用时间较长,但灌浆持续时间最久。进一步分析各接种方式处理根瘤菌籽粒灌浆持续时间平均值可知,在不同接种方式条件下各处理灌浆持续时间表现为拌种 > 做种肥 > 随水滴施。受籽粒理论最大百粒质量和灌浆总天数的影响,不同接种方式处理根瘤菌大豆平均灌浆速率(V_a)的均值以随水滴施最大,做种肥次之,拌种最小。

2.2 接种方式对籽粒灌浆特征分析

根据 Logistic 模型计算不同阶段籽粒灌浆特征参数,发现不同接种方式对不同根瘤菌处理大豆各灌浆阶段均有一定的影响(表 2)。灌浆持续时间均

表现为缓增期 > 快增期 > 渐增期,灌浆速率均表现为快增期 > 渐增期 > 缓增期,阶段籽粒积累量均表现为快增期 > 渐增期 > 缓增期。

通过比较各接种方式接种不同根瘤菌大豆籽粒各个阶段灌浆特征参数发现,拌种方式处理根瘤菌株各阶段灌浆速率、阶段籽粒产量均以接种 SMH12 最高,各阶段灌浆持续时间有所缩短,接种 SN7-2 在快增期和缓增期的灌浆持续时间最长。做种肥方式接种根瘤菌 SMH12 各个阶段灌浆速率均最快,各阶段籽粒产量均最高,渐增期灌浆持续时间最长;各根瘤菌处理大豆接种 T6 各阶段灌浆速率及阶段籽粒产量均偏低,但快增期和缓增期灌浆持续时间最久。随水滴施接种 T6 各个阶段灌浆速率均最快,接种 SN7-2 各阶段籽粒产量均最高,其中在渐增期 T6 灌浆持续时间最长,在快增期和缓增期接种 SN7-2 灌浆持续时间最长。进一步分析各接种方式处理根瘤菌阶段籽粒产量平均值,渐增期、快增期及缓增期籽粒产量均表现为做种肥 > 拌种 > 随水滴施。说明在本试验条件下,根瘤菌以做种肥方式接种大豆更有利于提高各关键时期籽粒干质量,对籽粒灌浆进程的贡献最大。

2.3 接种方式对产量性状及产量的影响

根瘤菌不同接种方式下复播大豆产量及产量构成因素结果(表 3)。由表 3 可知,同一接种方式接种不同根瘤菌,同一根瘤菌进行不同接种方式处理,其产量及其构成因素均存在一定差异。

表 2 不同接种方式处理大豆不同阶段籽粒灌浆特征参数

接种方式	根瘤菌	灌浆持续时间(d)			灌浆速率 (g/d)			阶段籽粒产量(g)		
		T1	T2	T3	V1	V2	V3	W1	W2	W3
拌种	SMH12	13.11	17.51	21.79	0.33	0.67	0.19	4.32	11.80	4.12
	T6	13.64	17.75	22.09	0.30	0.64	0.18	4.16	11.36	3.96
	SN7-2	13.02	18.35	22.84	0.33	0.64	0.18	4.28	11.70	4.08
	CK	13.19	18.03	22.44	0.32	0.64	0.18	4.23	11.56	4.03
种肥	SMH12	13.99	17.25	21.47	0.33	0.72	0.20	4.53	12.38	4.32
	T6	12.78	17.83	22.19	0.33	0.64	0.18	4.15	11.33	3.95
	SN7-2	12.94	17.01	21.17	0.32	0.68	0.19	4.23	11.56	4.03
	CK	13.65	17.37	21.61	0.31	0.66	0.18	4.19	11.43	3.99
滴施	SMH12	13.68	15.06	18.75	0.27	0.67	0.19	3.71	10.15	3.54
	T6	14.14	14.31	17.80	0.29	0.78	0.22	4.07	11.11	3.88
	SN7-2	14.12	15.36	19.11	0.29	0.73	0.20	4.08	11.16	3.89
	CK	14.12	14.13	17.59	0.25	0.70	0.19	3.60	9.82	3.42

注:T1 为渐增期持续时间,T2 为快增期持续时间,T3 为缓增期持续时间,V1 为渐增期灌浆速率,V2 为快增期灌浆速率,V3 为缓增期灌浆速率,W1 为渐增期积累量,W2 为快增期积累量,W3 为缓增期积累量。

表 3 不同处理大豆的产量及其构成因素

接种方式	根瘤菌	单株粒质量(g)	单株荚数(个)	单株粒数(粒)	百粒质量(g)	产量(kg/hm ²)
拌种	SMH12	21.5bB	38.6cC	106.4bB	20.2aA	4 651.5cC
	T6	23.7aA	35.4bB	98.0aA	18.8cB	5 208.8bB
	SN7-2	24.3aA	44.6cBC	105.0abAB	19.6abAB	5 946.0aA
	CK	19.6cC	33.4aA	88.2aAB	19.2bcAB	4 120.6dD
种肥	SMH12	17.4bA	26.2bB	77.0bB	20.6aA	5 446.6aA
	T6	13.5dC	26.0bB	67.0aA	18.9bB	3 305.3cC
	SN7-2	17.9aA	31.6bB	82.6bB	19.2bB	5 461.6aA
	CK	15.3cB	25.8aA	66.6aA	19.1bB	3 957.4bB
滴施	SMH12	18.3cC	37.4bA	101.8bB	16.5cB	4 739.6cB
	T6	22.6aA	48.0aA	117.0aA	17.4bA	5 888.6aA
	SN7-2	19.0bB	38.0bA	102.6bB	17.9aA	4 948.4bB
	CK	16.1dD	36.6bA	84.0cC	16.4cB	4 094.8dC
接种方式平均	拌种	23.1aA	38.0bB	99.4bB	19.4aA	4 981.7aA
	种肥	19.7bB	27.4cC	73.3cC	19.5aA	4 542.7bB
	滴施	20.0bB	40.0aA	101.4aA	17.1bB	4 917.8aA
根瘤菌平均	SMH12	19.0cC	33.0bB	92.3bB	19.1aA	4 945.9bB
	T6	19.9bB	37.5aA	96.3aA	18.4cC	4 800.9cB
	SN7-2	20.4aA	38.1aA	97.2aA	18.9bB	5 452.0aA
	CK	17.0dD	31.9cB	79.6cC	18.2dC	4 057.6dC

注:同栏同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著,不同大写字母表示在 0.01 水平上差异极显著。

根瘤菌以拌种方式处理后,大豆主茎节数均极显著高于清水拌种处理,SN7-2 拌种能够显著增加单株荚数、单株粒数,根瘤菌拌种能增加大豆百粒质量,SMH12 拌种增加最明显,SN7-2 拌种大豆产

量最高,达到 5 946.0 kg/hm²,极显著高于其他处理,SMH12、T6 拌种也能起到增产效果,产量表现为 SN7-2>T6>SMH12>CK。通过做种肥的方式接种根瘤菌 SN7-2 大豆单株粒质量、单株荚数和单

株粒数高于其他处理,SMH12 做种肥能够极显著增加百粒质量,SMH12、SN7-2 做种肥大豆产量差异不明显,但均极显著高于清水对照,分别增产 37.63%、38.01%,表明 SMH12 做种肥通过增加百粒质量提高产量,SN7-2 做种肥通过增加单株荚数和单株粒数增加产量,T6 做种肥大豆单株荚数、单株粒数略高于清水对照,但差异不显著,单株粒质量、百粒质量及产量低于清水对照。SMH12、SN7-2 随水滴施,大豆单株荚数和单株粒数差异不显著,单株粒数极显著高于滴清水,T6 随水滴施,大豆单株粒质量、单株荚数及单株粒数均最高,根瘤菌随水滴施能有效增加籽粒百粒质量,但 SMH12 随水滴施百粒质量增加不显著,接种根瘤菌能极显著增加籽粒产量,产量增幅在 15.75%~43.81%。

从大豆产量及其构成因素分析,根瘤菌 SMH12 做种肥和随水滴施方式有较好的接种效果,其中以

做种肥方式效果最好;T6 以随水滴施方式接种效果最好,以拌种方式效果较好,以做种肥方式效果最差;SN7-2 以拌种和做种肥方式接种效果较好,其中以拌种方式效果最好。

进一步对不同接种方式处理大豆产量及其构成因素进行相关性分析(表 4)。由表 4 可知,产量与单株粒质量、单株荚数、单株粒数及百粒质量均呈正相关,相关系数分别为 0.741 9、0.625 9、0.681 2、0.136 7,且与单株粒质量呈极显著正相关,与单株荚数、单株粒数呈显著正相关;单株粒质量与单株荚数、单株粒数呈极显著正相关,与百粒质量呈正相关;单株荚数与单株粒数呈极显著正相关,百粒质量与单株荚数、单株粒数呈负相关。大豆百粒质量是评价其外观品质的重要指标,但百粒质量的提高会影响单株有效荚数和单数粒数,从而影响籽粒产量。

表 4 不同处理大豆的产量及其构成因素的相关性分析

项目	相关系数				
	产量	单株粒质量	单株荚数	单株粒数	百粒质量
产量	1.000 0				
单株粒质量	0.741 9**	1.000 0			
单株荚数	0.625 9*	0.796 2**	1.000 0		
单株粒数	0.681 2*	0.864 1**	0.938 8**	1.000 0	
百粒质量	0.136 7	0.134 2	-0.415 2	-0.298 3	1.000 0

注: $P=0.05$ 时,相关系数临界值 $r=0.576\ 0$; $P=0.01$ 时, $r=0.707\ 9$ 。*、** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

3 讨论与结论

灌浆期是作物籽粒质量形成的关键阶段,在大豆群体植株生长发育过程中,籽粒的光合同化物积累量及其灌浆过程对生育后期产量的形成有决定性作用^[13-14]。前人研究认为,籽粒产量主要是由花后干物质的积累与灌浆期间的运输分配作用的结果^[15-16]。籽粒干物质积累量的多少由籽粒灌浆特性决定,本试验中,拌种方式接种根瘤菌 SMH12 拥有最高的理论最大百粒质量,及最大的平均灌浆速率及最大灌浆速率,且达到最大灌浆速率用时最短;做种肥方式接种根瘤菌 SMH12 大豆籽粒理论最大百粒质量最大,最大灌浆速率以及平均灌浆速率均最高;随水滴施方式接种根瘤菌 SN7-2 理论最大百粒质量最高,同时灌浆持续时间最久。

粒质量由灌浆时间和灌浆速率共同决定^[17],前人研究认为,籽粒产量可以通过提高渐增期的灌浆速率,相对延长快增期和缓增期持续天数^[18]。本试

验中,除随水滴施方式接种根瘤菌 SN7-2 渐增期灌浆速率高,快增期和缓增期持续时间最长,最终累计籽粒质量达到最高外,拌种方式接种根瘤菌 SN7-2、做种肥方式接种根瘤菌 T6,虽然渐增期灌浆速率最高,快增期及缓增期持续时间最久,但累计籽粒质量却不是最高,这与前人研究有所不同。分析原因可能是由于大豆植株各部位籽粒灌浆参数不同造成的^[19-20]。而大豆籽粒产量是由单株荚数、单株粒数及百粒质量共同决定,因此在提高籽粒产量方面,还需要考虑单株荚数和单株粒数的因素。

本研究中主茎节数与百粒质量呈负相关,这与常世豪等的研究结果^[20]一致。本试验显示百粒质量与产量呈正相关,百粒质量的提高虽然能够促进产量的提高,但会减少主茎节数从而降低单株荚数和单株粒数,这可能是导致产量下降的原因。在实际生产中,接种方式是根瘤菌接种过程中的重要环节,在一定程度上影响着接种效果^[21],进而影响大

豆籽粒产量。研究表明,不同接种方式对大豆产量影响不同,李涛等在黄淮海地区对大豆进行不同接种方式的试验,发现拌种方式更适宜大豆产量的提高^[22];郑浩宇等通过减施氮肥与接种根瘤菌,研究根瘤菌对大豆产量的影响,发现根瘤菌拌种较土壤施用更能提高大豆产量^[23];但 Lanier 等研究认为,将根瘤菌采用土壤施用的方式更能提高作物产量^[24]。本研究表明,根瘤菌拌种大豆产量较高,较做种肥方式增产 8.81%,这与索炎炎等的研究结果^[12]相似。李涛等研究认为,不同根瘤菌用不同接种方式接种同一大豆品种其增产效果不同^[22]。本研究中,做种肥方式处理 SN7-2 和随水滴施方式处理 T6 接种效果较好,产量较清水对照增产 38.01%、43.81%,SN7-2 拌种方式处理产量最高,达 5 946.0 kg/hm²。

本试验条件下,综合复播大豆的籽粒灌浆特性以及产量及其构成因素等结果,根瘤菌 SN7-2 拌种方式下复播大豆植株生长表现较好、产量最高,可为当地农业生产提供一定的理论参考。

参考文献:

- [1] Sánchez-Pardo B, Zornoza P. Mitigation of Cu stress by legume - *Rhizobium* symbiosis in white lupin and soybean plants [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 102: 1-5.
- [2] Perrine-Walker F M, Lartaud M, Kouchi H, et al. Microtubule array formation during root hair infection thread initiation and elongation in the *Mesorhizobium-Lotus* symbiosis [J]. *Protoplasma*, 2014, 251 (5): 1099-1111.
- [3] De Mita S, Streng A, Bisseling T, et al. Evolution of a symbiotic receptor through gene duplications in the legume - *Rhizobium* mutualism [J]. *New Phytologist*, 2014, 201(3): 961-972.
- [4] Provorov N A, Vorob'Ev N I. Evolution of legume - *Rhizobium* symbiosis for an improved ecological efficiency and genotypic specificity of partner interactions [J]. *Genetika*, 2011, 47(3): 417-424.
- [5] Alam F, Bhuiyan M A H, Alam S S, et al. Effect of *Rhizobium* sp. BARIRGm901 inoculation on nodulation, nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max*) genotypes in gray terrace soil [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2015, 79(10): 1660-1668.
- [6] 左清凡, 谢平, 宋宇, 等. 水稻籽粒不同发育时期灌浆速率的遗传及其与环境互作的分析 [J]. *中国农业科学*, 2002, 35(5): 465-470.
- [7] 冯乃杰, 郑殿峰, 张玉先, 等. 化控种衣剂对大豆籽粒灌浆过程及产量形成的影响 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(7): 334-337.
- [8] 何桂红, 吕国华, 吴奇峰. 新疆绿洲高产大豆籽粒干物质积累与产量的关系研究 [J]. *陕西农业科学*, 2005, 51(1): 11-14.
- [9] 朱元刚, 初金鹏, 张秀, 等. 不同播期冬小麦氮素出籽效率与氮素利用及转运的相关性 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30(4): 1151-1160.
- [10] 石德杨, 李艳红, 夏德军, 等. 种植密度对夏玉米根系特性及氮肥吸收的影响 [J]. *中国农业科学*, 2017, 50(11): 2006-2017.
- [11] Bogino P, Banchio E, Bonfiglio C, et al. Competitiveness of a *Bradyrhizobium* sp. strain in soils containing indigenous rhizobia [J]. *Current Microbiology*, 2008, 56(1): 66-72.
- [12] 索炎炎, 张翔, 司贤宗, 等. 氮肥管理与根瘤菌接种模式对花生生长、氮吸收利用及产量的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2018, 40(6): 866-871.
- [13] 姜丽娜, 张雅雯, 朱娅林, 等. 不同小麦品种籽粒灌浆特性及产量研究 [J]. *华北农学报*, 2019, 34(3): 96-101.
- [14] 董志新, 李绍长, 李俊华, 等. 大豆多生长中心作物的表征和荚粒产量分层规律 [J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2002, 20(4): 259-262.
- [15] 杨继芝. 播期对套作大豆品种生长发育特性和产量及品质的影响 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2006.
- [16] 闫艳红, 杨文钰, 张新全, 等. 施氮量对套作大豆花后光合特性、干物质积累及产量的影响 [J]. *草业学报*, 2011, 20(3): 233-238.
- [17] 刘铁东, 宋凤斌. 灌浆期玉米冠层微环境对宽窄行种植模式的反应 [J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(3): 37-40, 45.
- [18] 王晓慧, 张磊, 刘双利, 等. 不同熟期春玉米品种的籽粒灌浆特性 [J]. *中国农业科学*, 2014, 47(18): 3557-3565.
- [19] 杨升辉, 王素阁, 于会勇, 等. 接种根瘤菌对夏大豆籽粒灌浆特性及品质的影响 [J]. *大豆科学*, 2014, 33(4): 534-540.
- [20] 常世豪, 杨青春, 舒文涛, 等. 黄淮海夏大豆品种(系)主要农艺性状的综合性分析 [J]. *作物杂志*, 2020(3): 66-72.
- [21] Brear E M, Day D A, Smith P M C. Iron: an essential micronutrient for the legume - *Rhizobium* symbiosis [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2013, 4: 359.
- [22] 李涛, 关大伟, 李俊, 等. 黄淮海地区优良大豆根瘤菌株的筛选与接种方式研究 [J]. *大豆科学*, 2010, 29(4): 645-650.
- [23] 郑浩宇, 黄炳林, 王孟雪, 等. 氮肥减施与接种根瘤菌对大豆光合与产量的影响 [J]. *大豆科学*, 2019, 38(3): 413-420.
- [24] Lanier J E, Jordan D L, Spears J F, et al. Peanut response to inoculation and nitrogen fertilizer [J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97(1): 79-84.