



黑龙江省风沙半干旱地区根瘤菌与氮肥耦合大豆高效施肥方式研究

周长军,陈井生,田中艳,李建英,吴耀坤,于吉东,马 兰,李泽宇

(黑龙江省农业科学院 大庆分院,黑龙江 大庆 163316)

摘要:为探究根瘤菌与氮肥耦合效应对黑龙江省西部风沙半干旱地区大豆植株生长的影响,探索该地区合理高效的施肥方式,本研究在2018和2019年设置5种不同施肥方式处理(T1:不施氮肥;T2:常规施肥;T3:常规施肥+花期追施尿素;T4:常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施尿素;T5:常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施控释尿素),分析不同施肥处理对大豆花期植株生物量、产量、产量构成因素及经济效益的影响。结果表明:根瘤菌与施氮肥耦合效应对大豆花期地上部干重、地下部干重、根瘤干重、根瘤数量、单株粒重和百粒重的促进作用明显,在2年试验中T4处理大豆花期植株地上部干重、地下部干重最高;2018年T5处理大豆花期根瘤干重最高,2019年T4处理最高;2年调查结果都显示T5处理根瘤数量最多;单株粒重、百粒重和产量2年都以T4处理最高,2018年T4处理大豆产量为2 686.4 kg·hm⁻²,较T3和T2处理分别增加6.10%和10.31%,2019年T4处理大豆产量为2 798.8 kg·hm⁻²,较T3和T2处理分别增加10.4%和16.0%。经济效益分析显示,T3、T4和T5处理的大豆产值较T2处理均有所提高,其中T4处理产值最高,达9 599.1元·hm⁻²,较T2处理提高最多,达611.8元·hm⁻²,因此T4处理的常规施肥、根瘤菌拌种配合花期追施尿素是黑龙江省西部风沙半干旱地区提高大豆产量和农民增收的合理施肥方式。

关键词:大豆;风沙半干旱地区;根瘤菌;高效施肥;耦合效应;经济效益

Study on High Efficient Fertilization Methods of Coupling Effect of Rhizobium and Nitrogen Fertilizer in Wind Sand and Semi-arid Area of Heilongjiang Province

ZHOU Chang-jun, CHEN Jing-sheng, TIAN Zhong-yan, LI Jian-ying, WU Yao-kun, YU Ji-dong, MA Lan, LI Ze-yu

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Daqing 163316, China)

Abstract: In order to explore the coupling effect of Rhizobium and nitrogen fertilizer on the biological growth of soybean plants in the wind sand and semi-arid region of the western Heilongjiang Province, and to explore the reasonable and efficient fertilization methods in this area. In this study, five different fertilization methods were set up in 2018 and 2019. T1: No nitrogenous fertilizer, T2: Conventional fertilization, T3: Conventional fertilization + Urea topdressing at flowering, T4: Conventional fertilization + Rhizobium seed dressing + Urea topdressing in flowering period, T5: Conventional fertilization + Rhizobium seed dressing + Controlled-release urea at flowering stage. The effects of different fertilization treatments on plant biomass, yield, yield components and economic benefits of soybean were analyzed. The results showed that the coupling effect of rhizobia and nitrogen fertilizer significantly increased the dry weight on the ground, dry weight under the ground, dry weight of rhizobia, the number of rhizobia in soybean flowering stage, the seed weight per plant and the 100-seed weight. The soybean plant dry weight on the ground and dry weight under the ground of the T4 treatment were the highest in the two-year experiment. The dry weight of rhizobia in soybean flowering stage of T5 treatment was the highest in 2018, and this character of T4 treatment was the highest in 2019. The rhizobia number of T5 treatment was the highest in the two-year investigation. The seed weight per plant, the 100-seed weight and the soybean yield of T4 treatment was the highest in the two-year investigation. In 2018, the soybean yield of T4 treatment was 2 686.4 kg·ha⁻¹, 6.10% and 10.31% higher than T3 and T2 treatments, respectively. In 2019, the soybean yield of T4 treatment was 2 798.8 kg·ha⁻¹, 10.4% and 16.0% higher than T3 and T2 treatment respectively. The output value of T3, T4 and T5 were higher than that of T2, among

收稿日期:2020-04-01

基金项目:黑龙江省百千万工程科技重大专项(2019ZX16B01);黑龙江省农业科学院跨越工程项目(HNK2019CX01);现代农业大豆产业技术体系大庆综合试验站项目(CARS-004-CES07)。

第一作者简介:周长军(1977-),男,硕士,助理研究员,主要从事作物育种研究。E-mail:andazhouchangjun@163.com。

通讯作者:陈井生(1982-),男,博士,副研究员,主要从事植物线虫学和抗线虫育种研究。E-mail:jingsheng6673812@126.com。

which T4 was the highest, reaching 9 599.1 yuan · ha⁻¹, with the most increase compared with T2, reaching 611.8 yuan · ha⁻¹. Therefore, T4 was the rational way of applying fertilizer in a semi-arid area of the western Heilongjiang Province.

Keywords: Soybean; Aeolian semi-arid area; Rhizobium; Efficient fertilization; Coupling effect; Economic benefit

大豆是中国重要的粮食和油料作物,也是优质植物蛋白的主要来源。大豆籽粒的高蛋白特性决定了其生长过程对氮素有极强的需求,其中生物固氮是氮素获取的一种重要途径^[1]。近些年来美国、巴西和阿根廷等国家通过接种根瘤菌充分发挥大豆的生物固氮功能,取得了明显的经济效益和生态效益^[2]。大豆接种根瘤菌后,根部可以产生大量的有效根瘤菌,根瘤菌可以通过固氮酶将空气中的氮气转化为可被植物利用的氨态氮,为植物生长提供氮素养料^[3],充分发挥大豆与根瘤菌的共生固氮作用。因此施用根瘤菌是改善大豆根系发育、提高大豆根结瘤的良好方法^[4-6],但大豆与根瘤菌的共生固氮作用所固定的氮素约占大豆需氮量的 50% ~ 60%^[7],仅靠根瘤固氮不能完全满足大豆对氮素的需要,通常需要配合施用氮肥。在田间条件下施入氮肥不仅能促进大豆植株的生长,并且还有利于根瘤着生和提高固氮能力,增加大豆产量^[8-9]。

黑龙江省西部风沙半干旱地区大豆种植施肥方式一直沿用传统模式,以较高的施肥量获得较理想的产量,然而随着化肥施用量的逐渐增加,土壤板结化严重,肥料利用效率低等问题导致大豆产量和品质下降,难以获得较高经济效益,因此肥料施用是否合理往往是影响大豆单产能否提高的重要原因。已有很多学者针对不同气候条件及土壤类型,探索科学合理的施肥方式及接种根瘤菌等方法来提高大豆产量。研究结果表明接种根瘤菌剂能够明显提高大豆根瘤数量及重量、株高、节数、荚数、粒数、百粒重和产量^[10-13],且需要根据不同地区的气候条件及土壤类型采用不同的施肥方式^[14-15]。黑龙江省西部风沙半干旱地区可以通过平衡施肥方法提高大豆的产量和品质^[16],但针对如何通过合理施肥及接种根瘤菌提高该地区大豆产量的研究很少,尤其缺乏在不同年份条件下根瘤菌与氮肥追施耦合效应对大豆产量的影响及所获得的经济效益的研究,因此此类研究对指导大豆生产具有重要意义。

本研究在 2018 和 2019 年采用不同根瘤菌与氮肥追施配合方法对黑龙江省西部风沙半干旱地区常规大豆品种花期生物量、产量和产量构成的影响

进行对比试验,旨在探讨不同年份接种大豆根瘤菌与氮肥追施耦合效应对大豆花期的结瘤情况、大豆产量和产量构成因素的影响,并对比分析经济效益。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为农庆豆 20,由黑龙江省农业科学院大庆分院保存;供试菌株为大豆胞囊线虫抑制性土壤中分离得到的优良费氏中华根瘤菌(*Sinorhizobium fredii*,编号:庆-14),将费氏中华根瘤菌转入 NA 培养基中,于 28 ℃,160 r · min⁻¹ 条件下振荡培养活化 48 h。

1.2 试验设计

于 2018 和 2019 年在黑龙江省农业科学院大庆分院安达封闭育种基地(46°24'N,125°22'E)进行试验,基地海拔 150 m,土壤为黑钙土,该地区为黑龙江省西部风沙盐碱半干旱区,土壤 pH8.0,年均降雨量 450 mm,年降雨量与蒸发量比值为 1.0:3.7。

采取随机区组设计,10 行区,行长 10 m,行距 0.65 m,株距 6 cm,4 次重复,小区面积 65 m²,田间常规管理。试验共设 5 个处理,分别为:T1:不施氮肥,只施磷钾肥做基肥(P₂O₅:93.75 kg · hm⁻²;K₂O:45 kg · hm⁻²);T2:常规施肥做基肥(N-P₂O₅-K₂O 配比为 13-25-12 的大豆专用复合肥 375 kg · hm⁻²);T3:常规施肥 + 花期追施尿素 150 kg · hm⁻²;T4:常规施肥 + 根瘤菌拌种 + 花期追施尿素 150 kg · hm⁻²;T5:常规施肥 + 根瘤菌拌种 + 花期追施控释尿素 150 kg · hm⁻²。试验中所用尿素为含 N 46% 的常规尿素;控释尿素为含 N 44% 的水基树脂包膜控释尿素,膜可生物降解;根瘤菌用量为 450 mL · hm⁻²,将其洒在种子表面,充分搅拌,使根瘤菌菌液均匀附着在全部种子表面。拌匀后在阴凉的地方干燥,干燥后 8 h 内播种。

1.3 测定项目与方法

开花期性状:在大豆花期追肥后 10 d,各处理采集 6 株相邻长势一致的大豆植株,调查根瘤数量并测定根瘤干重、植株地上部和地下部干重,大豆植株鲜样经 105 ℃杀青 30 min、80 ℃烘干后称重。

成熟期性状:成熟期每个处理取 3 点各 5 株大

豆植株,测定大豆株高、有效节数、单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重等产量性状,然后全区收获测产。

经济效益:T3 处理中追施尿素成本 + 人工成本是较常规施肥 (T2) 额外增加部分;T4、T5 处理中追施尿素成本 + 根瘤菌剂成本 + 人工成本同样是较常规施肥 (T2) 额外增加部分。大豆价格按 3.5 元·kg⁻¹计,尿素按1 800元·t⁻¹计,根瘤菌剂按 80 元·km⁻²计,追肥人工按 100 元·km⁻²计,人工拌种按 100 元·d⁻¹计。

1.4 数据分析

采用 DPS 16.05 以 Duncans 新复极差检验法分析处理间差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同处理对大豆植株干重和根瘤的影响

2018 和 2019 年不同处理间单株大豆地上部干重均为 T4 处理最高,T1 和 T2 处理较低,2018 年 T3、T4 和 T5 处理极显著高于 T1 和 T2 处理,2019 年各处理间差异不明显;2 年的 T3、T4 和 T5 处理间差异不显著。对比不同处理间单株大豆地下部干

重表明,2 年试验结果均为 T4 处理最高,2018 年为 11.79 g,显著高于 T2 处理;2019 年为 12.53 g,较 T2 处理高 10.59%,但差异不显著(表 1)。结果说明 T4 处理最有利于增加大豆地上部干重及地下部干重,但不同年份间各作用效果存在差异。

不同处理间单株大豆花期根瘤干重表明,2018 年 T5 处理最高,为 1.06 g,较 T2 处理显著增加 25.93%,且 T4 和 T5 处理显著高于 T1 和 T2 处理;2019 年 T4 处理最高,为 1.28 g,较 T2 处理增加 10.34%,T3、T4 和 T5 处理与 T2 处理差异不显著,但 T4 处理极显著高于 T1 处理。由此说明接种根瘤菌与花期追施氮肥明显促进根瘤干重。大豆花期单株根瘤数 2018 和 2019 年均为 T5 处理最多;2018 年 T1、T2、T3 和 T5 处理间存在显著差异;2019 年 T2、T3、T4 和 T5 处理间差异不显著(表 1)。结果说明 T5 处理最有利于增加大豆植株根瘤数量,但不同年份间根瘤数量增加程度存在不同。

综上,通过 2 年试验结果说明接种根瘤菌与花期追施氮肥对大豆植株地上部及地下部植株干重、根瘤数量、根瘤干重均有明显的促进作用。

表 1 大豆植株花期生物干重和根瘤数量分析
Table 1 Analysis of biological dry weight and nodule number of soybean plants at flowering stage

处理 Treatment	单株地上部干重		单株地下部干重		单株根瘤干重		单株根瘤数	
	Shoot dry weight per plant/g		Root dry weight per plant/g		Nodule dry weight per plant/g		Nodule number per plant	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
T1	71.44 ±1.35 bC	89.21 ±5.50 aA	8.55 ±0.42 cB	9.36 ±0.60 bB	0.75 ±0.04 bA	0.92 ±0.03 bB	17.69 ±0.72 dC	19.05 ±0.99 bB
T2	77.19 ±1.14 bBC	98.16 ±4.51 aA	10.14 ±0.49 bAB	11.33 ±0.54 abAB	0.81 ±0.07 bA	1.16 ±0.04 aAB	19.23 ±0.52 cdBC	22.22 ±1.10 aAB
T3	86.37 ±2.18 aAB	100.34 ±10.27 aA	11.17 ±0.10 abA	11.86 ±0.55 aAB	0.95 ±0.06 abA	1.14 ±0.12 abAB	21.33 ±0.46 bABc	22.16 ±1.00 aAB
T4	90.38 ±1.94 aA	112.02 ±11.47 aA	11.79 ±0.47 aA	12.53 ±0.26 aA	1.02 ±0.04 aA	1.28 ±0.11 aA	22.92 ±0.64 abA	22.82 ±1.18 aAB
T5	89.03 ±2.65 aA	98.93 ±9.21 aA	11.4 ±0.15 abA	11.64 ±0.78 aAB	1.06 ±0.06 aA	1.08 ±0.04 abAB	23.71 ±0.69 aA	24.21 ±0.77 aA

同列数据以大小写字母分别代表置信区间 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 内存在极显著或显著差异。下同。
Different capital and lowercase in the same column mean extremely significantly or significantly difference at $P < 0.01$ or $P < 0.05$ level. The same below.

2.2 不同处理对大豆产量构成因素的影响

不同处理间大豆单株荚数,2018 年以 T3 处理最高,2019 年以 T5 处理最高,2 年都以 T1、T2 处理较低,且 T2、T3、T4、T5 处理显著高于 T1 处理。由此可见 2018 年 T3 处理最有利于增加大豆单株荚数,而 2019 年 T5 处理最有利于增加大豆单株荚数。大豆植株单株粒数和单株荚数变化规律相似,2018 年 T3 处理单株粒数最高,为 73.80,较 T2 处理增加

7.9%,T3 和 T4 处理极显著高于 T1 和 T2 处理;2019 年 T4 处理最高,为 81.33 粒,较 T2 处理增加 3.8%,T2、T3、T4 和 T5 处理极显著高于 T1 处理(表 2)。说明 2018 年 T3 处理对大豆单株荚数促进明显,而 2019 年 T4 处理最有利于增加大豆单株荚数的增加。

不同处理间大豆单株粒重 2018 和 2019 年均为 T4 处理最高,2018 年 T3、T4、T5 处理极显著高于 T1

和 T2 处理,2019 年 T4、T5 处理极显著高于 T1、T2、T3 处理,由此可见 T4 处理最有利于增加大豆单株粒重。两年大豆植株百粒重都以 T4 处理最高,且同处理不同年份间差异较小,2018 年 T4 处理与 T1、T2 和 T3 处理差异极显著,2019 年 T2、T3、T4 和 T5 处理之间差异不显著,与 T1 处理差异极显著(表 2)。两年试验结果说明 T4 处理最有利于增加大豆百

粒重。

综上,通过 2 年试验结果得出不同年份间不同处理对大豆单株荚数、单株粒数影响不尽相同,其中 2018 年 T3 处理对大豆单株荚数、单株粒数最多,2019 年 T5 处理对单株荚数最多,T4 处理对单株粒数最多。

表 2 根瘤菌和氮肥耦合对大豆产量构成因素的影响

Table 2 Coupling effect of rhizobium and nitrogen fertilizer on yield components of soybean								
处理 Treatment	单株荚数		单株粒数		单株粒重		百粒重	
	Pods number per plant		Seeds number per plant		Seed weight per plant/g		100-seed weight/g	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
T1	23.53±0.38 cB	27.50±1.29 cB	55.16±0.61 cC	66.00±0.88 bB	13.50±0.06 cC	14.43±0.26 cC	17.26±0.07 cC	16.74±0.51 bB
T2	28.37±0.44 bA	32.75±0.91 bA	68.08±1.38 bB	78.33±3.18 aA	15.14±0.13 bB	15.92±0.18 bB	18.20±0.05 bB	18.42±0.51 aAB
T3	30.60±0.54 aA	34.25±0.85 abA	73.80±1.23 aA	80.33±2.03 aA	16.09±0.38 aA	16.56±0.18 bB	18.14±0.08 bB	18.80±0.46 aAB
T4	30.10±0.64 abA	36.01±0.96 Aa	73.50±0.72 aA	81.33±1.15 aA	16.70±0.12 aA	18.61±0.43 aA	19.23±0.33 aA	19.33±0.63 aA
T5	29.00±0.79 abA	36.06±1.80 aA	72.16±0.81 aAB	79.33±0.88 aA	16.61±0.13 aA	17.86±0.24 aA	18.53±0.17 bAB	18.45±0.33 aAB

2.3 不同处理对大豆根冠比、农艺性状及产量的影响

不同处理间大豆植株根冠比,2018 和 2019 年均均为 T2 处理最高,T1 处理较低,但各处理间差异不显著。不同处理间大豆株高 2018 和 2019 年均均为 T4 处理最高,2018 年 T4 处理显著高于 T1 和 T2 处理,2019 年 T4 处理极显著高于 T1、T2 和 T3 处理,由此说明 T4 处理对大豆植株株高的促进作用显著。2018 和 2019 年不同处理间大豆植株主茎有效节数都以 T4 处理最高,T1 处理最低,2018 年 T3 和 T4 处理显著高于 T1 处理,2019 年 T2、T3、T4 和 T5 处理显著高于 T1 处理,且 2019 年份大豆植株主茎有效节数较 2018 年有所增加,同处理不同年份间增

加幅度为 0.69~1.02 节(表 3)。说明 T4 处理能够有效增加大豆植株主茎有效节数,但相同处理不同年份间大豆植株主茎有效节数有所变化。

大豆产量 2018 和 2019 年各处理产量排名顺序一致,由高到低均依次为 T4>T5>T3>T2>T1,两年均以 T4 处理最高,分别为 2 686.4 和 2 798.8 kg·hm⁻²,2018 年较分别 T3 和 T2 处理增加 6.1% 和 10.31%,2019 年分别较 T3 和 T2 处理增加 10.4% 和 16.0%。2018 年 T4 处理产量与 T1、T2 处理差异极显著,2019 年 T4 和 T5 处理产量与 T1、T2 处理差异极显著,且 2019 年 T1~T5 处理大豆产量较 2018 年分别增加 106.5、2.7、4.6、112.4 和 134.2 kg·hm⁻²,T1、T4 和 T5 处理提高幅度较大。

表 3 根瘤菌和氮肥耦合对大豆根冠比、农艺性状及产量的影响

Table 3 Coupling effect of rhizobium and nitrogen fertilizer on root shoot ratio, agronomic characters and yield of soybean								
Treatment	根冠比		株高		主茎有效节数		产量	
	Root/shoot		Plant height/cm		Effective nodes number of main stem		Yield/(kg·hm ⁻²)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
T1	0.126±0.01 aA	0.101±0.01 aA	69.20±0.61 cB	77.75±1.04 dB	11.43±0.15 bA	12.43±0.11 bB	2126.0±15.12 cC	2232.5±84.80 dB
T2	0.138±0.01 aA	0.129±0.01 aA	71.63±1.18 bAB	79.75±1.93 cdB	12.14±0.35 abA	13.13±0.15 aA	2409.3±31.96 bB	2412.0±62.73 cdB
T3	0.129±0.01 aA	0.128±0.01 aA	73.56±0.54 abA	82.75±0.75 bcAB	12.23±0.20 aA	12.92±0.08 aAB	2531.1±40.32 aAB	2535.7±59.26 bcAB
T4	0.130±0.01aA	0.108±0.01 aA	74.96±0.76 aA	87.25±1.25 aA	12.23±0.15 aA	13.25±0.20 aA	2686.4±45.58 aA	2798.8±98.30 aA
T5	0.128±0.01 aA	0.114±0.01 aA	73.70±0.41 abA	85.50±0.85 abA	12.11±0.09 abA	13.03±0.12 aAB	2577.3±51.98 aAB	2711.5±91.51 abA

2.4 不同处理经济效益分析

现阶段农村农业机械化程度较高,大豆追施氮肥可以实现全程机械化作业,追施氮肥只需人工装卸肥料成本,所以 T3、T4 和 T5 处理较 T2 处理所增加的投入成本小,T3、T4 和 T5 处理的大豆产值较 T2 常规施肥处理均不同程度提高,其中 T4 处理的

产值最高,达9 599.1元·hm⁻²,较 T2 常规施肥处理增收最多,达 611.8 元·hm⁻²(表 4)。同时,T3 和 T5 处理产值均高于 T2 处理,但都低于 T4 处理,说明 T4 处理可作为黑龙江省西部风沙半干旱区农民种植大豆增收的推荐施肥技术。

表 4 不同处理经济效益分析

Table 4 Economic analysis of different treatments

处理 Treatment	两年平均产量 Average yield (kg·hm ⁻²)	产值 Output value /(元·hm ⁻²)	氮肥 + 菌剂成本 Cost of nitrogen ferlizeron and rhizobium /(元·hm ⁻²)	人工成本 Labour cost /(元·hm ⁻²)	收益 Profit /(元·hm ⁻²)	增收 Net income /(元·hm ⁻²)
T1	2179.3	7627.4	0	0		-
T2	2410.7	8437.3	0	0	8437.3	-
T3	2533.4	8866.9	270	100	8496.6	59.3
T4	2742.6	9599.1	350	200	9049.1	611.8
T5	2644.4	9255.4	350	200	8705.1	267.8

3 讨 论

本研究显示根瘤菌与氮肥追施耦合效应对大豆花期生物量及产量构成的促进作用明显,在两年间各处理中,根瘤菌拌种与氮肥追施的 T4 和 T5 处理大豆花期植株地上部干重、根瘤干重、根瘤数量、单株粒重、百粒重和产量都最高。但不同年份间各性状的变化程度不同,两年间大豆植株地上部干重差异较大,可能与大豆生长前期降水量对大豆植株花期生物量影响较大有关,因为水分可促进肥料的转化和吸收,提高肥料利用率,干旱则限制作物对肥的吸收^[17-18]。2018 年 5-6 月中上旬高温干旱,降水量为 49.0 mm,使植株生长缓慢,而 2019 年 5-6 月中上旬温度较高且降水量多,为 108.8 mm,植株生长较快。T3、T4 和 T5 处理大豆植株生物量差异不明显,意味着这 3 种施肥处理在干旱或降水量充足年份对大豆植株花期生物量的影响无显著差异。两年 T1 处理大豆植株生物量最低,说明大豆生长前期氮肥对植株营养生长有十分重要的影响。

2018 根瘤干重排序为 T5>T4>T3>T2>T1,2019 年排序为 T4>T2>T3>T5>T1,2 年排名变化规律有所差异。2018 根瘤数排序为 T5>T4>T3>T2>T1,2019 年排序为 T5>T4>T2>T3>T1,2 年排名变化规律差异不大。说明根瘤菌与氮肥耦合效应对大豆花期根瘤干重、根瘤数量促进作用明显。但不同降水量年份间根瘤菌与氮肥追施耦合

效应对大豆花期植株根瘤数量影响不大,但根瘤干重提高幅度却不尽相同,具体原因有待进一步研究。

大豆整个生育期内氮肥对大豆产量构成性状影响极显著,且接种根瘤菌与氮肥耦合效应能明显促进大豆单株粒重,这与姬月梅等^[9]不同氮素水平下接种根瘤菌对大豆产量构成的影响结论相一致,但在降水量充足年份对单株粒重的提高较干旱年份明显。接种根瘤菌与氮肥耦合效应对百粒重的影响与单株粒重相反,在干旱年份接种根瘤菌与氮肥耦合效应对大豆百粒重影响较大,而在降水量充足年份对百粒重影响不明显。

作物生长发育具有自我调节能力,当少量根系能够维持作物养分和水分的供需平衡时,作物将把更多的营养物质用于地上部分生长,而不是用于根系生长,而当水分及养分供应不足时,作物会增加根系活力及根冠比增加水分和养分的吸收^[19-20],2 年研究的大豆植株花期根冠比均以 T2 处理最高,表明常规施肥的基础上增施 N 肥和根瘤菌拌种降低了大豆的根冠比,2018 年 T3 处理与 T4、T5 处理大豆植株根冠比差异不大,而 2019 年 T3 处理大豆植株根冠比较高于 T4、T5 处理,说明在降水量较少的 2018 年花期追施氮肥处理并接种根瘤菌对大豆植株根冠比的影响较小,在降水量充足的 2019 年接种根瘤菌有助于大豆植株养分及水分的吸收,从而降低了大豆植株的根冠比。

2019 年大豆株高较 2018 年相同处理高 8.12~

12.29 cm,且都以 T4 处理最高,2 年 T3、T4 和 T5 处理与 T1、T2 处理差异较大。2019 年大豆产量较 2018 年高,2 年都以 T4 处理产量最高,排序均为 T5>T4>T3>T2>T1,说明接种根瘤菌与施氮肥耦合效应对大豆产量有明显的促进作用。且水和肥间的耦合效应对作物的生长发育及产量形成至关重要^[21-23],在大豆营养生长前期追施氮肥及降雨量充足对大豆株高促进作用较大,进而后期产量提高亦较大。

4 结 论

选择适宜的施肥方式能够显著提高大豆产量及花期生物量,比较不同施肥方法对大豆产量构成因素、农艺性状、花期生物量的影响发现,常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施尿素 150 kg·hm⁻²处理的大豆花期植株地上部干重、地下部干重、株高、有效节数、单株粒重、百粒重和产量等均优于其它处理。经济效益分析显示常规施肥+花期追施尿素、常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施尿素和常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施控释尿素处理的大豆产值较常规施肥处理均有所提高,且常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施尿素处理产值最高,较 T2 处理增收最多,达 611.8 元·hm⁻²,因此常规施肥+根瘤菌拌种+花期追施尿素处理是黑龙江省西部风沙半干旱地区提高大豆产量的合理施肥方式。

参考文献

[1] 马家斌,于晓波,吴海英,等. 接种根瘤菌对西南地区大豆光合性能和固氮能力的影响[J]. 中国油料作物学报, 2020(3): 1-7. (Ma J B, Yu X B, Wu H Y, et al. Effects of inoculation of different rhizobium on photosynthetic characteristics and nitrogen fixation of soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2020(3): 1-7.)

[2] 房春红. 根瘤菌与大豆、土壤间相互适应性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007. (Fang C H. Study on the adaptability of rhizobia to soybean and soil [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007.)

[3] Salvagiotti F, Cassman K G, Specht J E, et al. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review[J]. Field Crops Research, 2008, 108(1): 1-13.

[4] 武帆,李淑敏,孟令波. 菌根真菌、根瘤菌对大豆/玉米氮素吸收作用的研究[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(6): 6-10. (Wu F, Li S M, Meng L B. Study on the effect of mycorrhizal fungi and rhizobia on nitrogen absorption of soybean/maize[J].

Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(6): 6-10.)

[5] 白朴,马建静. 植物泡囊丛枝菌根及其应用展望[J]. 生态农业研究, 2000(3): 24-26. (Bai P, Ma J J. The plant arbuscular mycurrhiza and prospects of its application[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2000(3): 24-26)

[6] 张小燕. 大豆 VA 菌根应用研究进展[J]. 安徽农学通报, 2006(10): 65-66. (Zhang X Y. Research progress of VA mycorrhizal application in soybean[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2006(10): 65-66.)

[7] Ohwaki Y, Sugahara P. Active extrusion of protons and exudation of carboxylic acids in response to iron deficiency by roots of chickpea (*Cicer arietinum* L.) [J]. Plant Soil, 1997, 189: 49-55.

[8] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. (Dong Z. Physiology of soybean yield [M]. BeiJing: China Agriculture Press, 2000)

[9] 姬月梅,赵志刚,罗瑞萍,等. 在不同氮素水平下接种根瘤菌对春大豆生长及产量的影响[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(5): 1-5. (Ji Y M, Zhao Z G, Luo R P, et al. Effects of rhizobium inoculation and nitrogen level on growth and yield of spring soybean[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2016, 57(5): 1-5.)

[10] 严君,韩晓增,王守宇,等. 不同形态氮对大豆根瘤生长及固氮的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 674-677. (Yan J, Han X Z, Wang S Y, et al. Effect of different forms nitrogen on nodule growth and nitrogen fixation in soybean (*Glycine max* L.) [J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 674-677.)

[11] 谭娟. 接种俄罗斯大豆根瘤菌对大豆生长和产量的影响[J]. 作物杂志, 2007(4): 36-37. (Tan J. Effect of inoculation of rhizobia on soybean growth and yield [J]. Crops, 2007(4): 36-37.)

[12] 金晓梅, Синеговская В Т, 赵念力. 根瘤菌、微肥和作物生长调节剂对大豆氮磷钾积累和产量的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(4): 751-754. (Jin X M, Синеговская В Т, Zhao N L. Influence of rhizobium, trace fertiler and crop growth regulators on nitrogen, phosphorous, potassium accumulation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2009, 28(4): 751-754.)

[13] 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. (Zheng H Y, Huang B L, Wang M X, et al. The effect of nitrogen fertilizer reduction and rhizobium inoculation on soybean photosynthesis and yield[J]. Soybean Science, 2019, 38(3): 413-420.)

[14] 申晓慧,姜成,张敬涛,等. 不同施氮量对合农 60 号大豆产量性状的影响[J]. 农学学报, 2013, 3(6): 17-19. (Shen X H, Jiang C, Zhang J T, et al. The Influences of different nitrogen on the soybean production of Henong 60[J]. Journal of Agriculture, 2013, 3(6): 17-19.)

[15] 高阳, 傅积海, 章建新, 等. 施氮量对高产春大豆光合特性及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(14): 34-40. (Gao Y, Fu J H, Zhang J X, et al. Effects of nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of high yield spring soybean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(14): 34-40.)

[16] 魏丹, 李艳, 李玉梅, 等. 氮磷钾元素对黑龙江不同地区大豆产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2017, 36(1): 87-91. (Wei D, Li Y, Li Y M, et al. Effect of N, P, K fertilization on yield and quality of soybean in Heilongjiang Province[J]. Soybean Science, 2017, 36(1): 87-91.)

[17] 曹翠玲, 李生秀. 水分胁迫和氮素有限亏缺对小麦拔节期某些生理特性的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 505-509. (Cao C L, Li S X. Effects of water stress and limited nitrogen deficiency on some physiological characteristics of wheat at jointing stage[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(6): 505-509.)

[18] 张秋英, 李发东, 高克昌, 等. 水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1184-1190. (Zhang Q Y, Li F D, Gao K C, et al. Effect of water stress on the photosynthetic capabilities and yield of winter wheat[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(6): 1184-1190.)

[19] 任书杰, 张雷明, 张岁岐, 等. 氮素营养对小麦根冠协调生长的调控[J]. 西北植物学报, 2003(3): 395-400. (Ren S J, Zhang L M, Zhang S Q, et al. The effect of nitrogen nutrition on coordinate growth of root and shoot of winter wheat[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2003(3): 395-400.)

[20] Thornley J H M. Modeling shoot: Root relations: The only way forward? [J]. Annals of Botany, 1998, 81: 165-171.

[21] 武维华. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. (Wu W H. Plant physiology[M]. Beijing: Science Press, 2003.)

[22] Wang Y, Fu D, Pan L L, et al. The coupling effect of water and fertilizer on the growth of tea plants [J]. Journal of Plant Nutrition, 2016, 39(5): 620-627.

[23] 王绍华, 曹卫星, 丁艳锋, 等. 水氮互作对水稻氮吸收与利用的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 497-501. (Wang S H, Chao W X, Ding Y F, et al. Interactions of water management and nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization in rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(4): 497-501.)

立足黑龙江 辐射全中国 聚焦大农业 促进快发展

2021 年《黑龙江农业科学》征订启事

《黑龙江农业科学》是黑龙江省农业科学院主办的综合性科技期刊,是全国优秀期刊、黑龙江省优秀期刊。现已被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库等多家权威数据库收录。

月刊,每月 10 日出版,国内外公开发行。国内邮发代号 14 - 61,每期定价 25.00 元;国外发行代号 M8321,每期定价 25.00 美元。

热忱欢迎广大农业科研工作者、农业院校师生、国营农场及农业技术推广人员、管理干部和广大农民群众踊跃订阅。全国各地邮局均可订阅,漏订者可汇款至本刊编辑部补订。汇款写明订购份数、收件人姓名、详细邮寄地址及邮编。

另有合订本珍藏版欢迎订购。2007 年合订本每册定价 80.00 元,2008 - 2009 年合订本每册定价 90.00 元,2010 - 2018 年合订本每册定价 180.00 元,邮费各 10.00 元,售完为止。

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

地址:哈尔滨市南岗区学府路 368 号《黑龙江农业科学》编辑部
邮编:150086
电话:0451 - 86668373
唯一投稿网址: <http://hljnykx.haasep.cn>

