



不同有机肥用量对大豆植株生长及产量的影响

田艳洪¹, 赵晓锋¹, 刘玉娥¹, 朱宝国², 闫凤超¹

(1. 黑龙江省农垦科学院 农畜产品综合利用研究所, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:为明确有机肥在大豆生产中的最适用量,于2016–2017年采用小区试验,施用自主发酵有机肥,用量为2.5, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0 t·hm⁻²的5个水平,研究不同用量有机肥及其与化肥混施对大豆生长及产量的影响。植株长势考查结果表明:有机肥肥料肥效释放缓慢,在苗期植株长势弱于常规施肥处理,在盛花期促进根、根瘤生长,增加干物质积累,有机肥用量在15~30 t·hm⁻²时干物质积累量与常规施肥处理间达显著差异,有机肥用量为2.5~7.5 t·hm⁻²时配施50%常规施肥与单施有机肥处理相比促进了植株生长,但干物质积累量仍低于常规施肥水平。测产结果表明:有机肥单施最适用量为15~22.5 t·hm⁻²,较常规施肥增产2%~4%,有机肥化肥配施最适用量为有机肥15 t·hm⁻²配施50%常规施肥,其产量高于单施处理,较常规施肥增产2.63%,差异显著;从经济效益值来看,有机肥施用量越高,肥料成本越高,效益值越低。因此,从提高产量、保证经济效益角度出发,有机肥最佳用量为15 t·hm⁻²配施50%常规施肥。

关键词:有机肥用量;大豆;植株性状;产量;经济效益

Effects of Different Dosages of Organic Fertilizer on the Growth and Yield of Soybean

TIAN Yan-hong¹, ZHAO Xiao-feng¹, LIU Yu-e¹, ZHU Bao-guo², YAN Feng-chao¹

(1. Institute of Agricultural and Poultry Products Comprehensive Utilization Sciences of Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi 154007, China; 2. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: In order to determine the optimum dosage of organic fertilizer for soybean production, the effect of different dosages of self-fermentation organic fertilizer with chemical fertilizer on the growth and yield of soybean were studied. The organic fertilizer dosages were 2.5, 7.5, 15.0, 22.5 and 30.0 t·ha⁻¹. The results of plant characters with plot experiments during 2016 and 2017 showed that the organic fertilizer released slowly, the plants growth vigor was weaker than chemical fertilizer at seedling stage, while at full-bloom stage, root and nodules growth were better than chemical fertilizer, and the dry matter accumulation was significant higher than the chemical fertilizer treatment when the dosage was between 15 and 30 t·ha⁻¹. The dosage between 2.5 and 7.5 t·ha⁻¹ with 50% routine chemical fertilizer could promote plant growth compared with single application of organic fertilizer treatment, but dry matter accumulation was still lower than routine chemical fertilizer treatment. The results of the yield showed that the optimal dosage of single organic fertilizer was between 15 and 22.5 t·ha⁻¹ with the yield increased by 2%–4%. The optimal dosage of organic-chemical fertilizer was 15 t·ha⁻¹ organic fertilizer with 50% routine chemical fertilizer, which significantly increased the yield by 2.63% compared with routine treatment. As for economic benefit, the more application of organic fertilizer, the higher fertilizer cost, the lower benefit value. Therefore, for increasing yield and ensuring economic benefit, the optimum dosage was 15 t·ha⁻¹ organic fertilizer with 50% routine dosage of chemical fertilizer.

Keywords: Dosage of organic fertilizer; Soybean; Plant characters; Yield; Economic benefit

大豆生长过程中自身可以根瘤固氮,化肥氮的施用对根瘤生长有一定的抑制作用,且后期干物质积累对产量的形成起较大作用,有机肥肥效长、养分缓慢释放的特性正好满足大豆生长需要。多项研究表明,有机肥、生物肥可以为土壤微生物提供营养,提高土壤养分的转化能力,提高土壤肥力^[1-4]。但由于有机肥养分含量低,释放速度慢,单施有机肥往往会导致作物减产,因此,现有研究多

偏重于化肥与生物有机肥配合施用^[5-8],对单有机肥适合用量的研究较少。然而随着我国养殖业和饲料业的快速发展,每年畜禽粪便总量达20多亿t,秸秆原有的饲料用途也正逐渐减弱,进而成为农业废弃物。作物秸秆废弃焚烧、畜禽粪便堆积对环境造成的危害^[9-10],不论从环境保护和生态保护角度讲,都已经成为不容忽视的首要问题,而利用生物的高温发酵是对于畜禽粪便和作物秸秆等有机废

收稿日期:2018-02-22

基金项目:黑龙江省农垦总局科技攻关项目(HNK135-02-09)

第一作者简介:田艳洪(1981–),女,硕士,副研究员,从事土壤肥料及植物营养研究。E-mail: tianyanhong811029@163.com。

通讯作者:闫凤超(1980–),男,学士,副研究员,农业信息技术。

弃物进行无害化、资源化的最有效途径。有机肥料养分含量低、肥效释放缓慢,若满足作物整个生育期对养分的需要,需要大量施用有机肥,而有机肥大量施用可能造成出苗率降低,后期养分过高而导致作物贪青晚熟等一系列问题,因此,如何在农业废弃资源转化过程中有效利用有机肥养分,明确有机肥在农业生产中的最适用量尤为重要。

本研究以鸡粪、玉米秸秆为原料,通过无害化处理发酵成有机肥,设计有机肥不同用量梯度,研究不同有机肥用量对大豆生长、产量及经济效益的影响,探求有机肥在大豆生产中的最佳施用量,为科学养田、合理施用有机肥指明方向,为循环农业、可持续农业的发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2016–2017年在黑龙江省农垦科学院旱田作业区进行,试验区位于 $N46^{\circ}48.947'$, $E130^{\circ}20.874'$ 。土壤为白浆土,基础肥力为:有机质 $23.1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮 $1.073\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $25.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $162\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{pH}6.46$ 。

1.2 试验材料

供试有机肥由黑龙江省农垦科学院农畜产品综合利用研究所自主选择材料进行堆沤发酵,主要材料为鲜鸡粪和玉米秸秆,经过无害化处理,发酵周期35~40 d,摊开至水分恒定符合标准后,测定养分,其中鲜样水分24.3%,以烘干基计含N 2.33%、 P_2O_5 3.8%、 K_2O 3.97%,总养分10.1%,有机质48.7%,以上各指标符合国家标准(标准NY525-2012:有机质质量分数(以烘干基计) $\geq 45\%$;总养分(N+ P_2O_5 + K_2O 以烘干基计) $\geq 5\%$;鲜样质量分数 $\leq 30\%$)。供试大豆品种为垦丰16。

1.3 试验设计

采用小区的试验方法,2016年设8个处理,3次重复,处理1:常规施肥(二铵 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,尿素 $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);处理2:有机肥 $2.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理3:有机肥 $2.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ +50%常规施肥;处理4:有机肥 $7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理5:有机肥 $7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ +50%常规施肥;处理6:有机肥 $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理7:有机肥 $22.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理8:有机肥 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。2017年设5个处理,3次重复,处理1:常规施肥(二铵 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,尿素 $50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);处理2:有机肥 $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理3:有机肥 $15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ +50%常规施肥;处理4:有机肥 $22.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;处理5:有机肥 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。所有肥料于播种前作底肥一次性施入。每小区6垄,长6 m,面积 23.4 m^2 。5月人

工播种,10月收获。

1.4 测定项目与方法

春季取土,采用土壤农化分析方法,测定土壤基础肥力。于大豆苗期、盛花期各小区取10株植株考查株高、干物重、根干重、根瘤干重、根瘤个数;收获期实收小区测定产量,考查株高、株荚数、株粒数、空瘪率、百粒重、谷草比;计算肥料成本值,粮食产值和效益值,效益值=粮食产值-肥料成本值。

1.5 数据分析

运用SPSS 13.0软件进行数据统计,利用LSD、Duncan检验0.05和0.01水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同有机肥用量对大豆苗期生长的影响

常规施肥中的速效养分在大豆生长初期就表现出刺激地上部生长的作用(表1)。从单施有机肥角度来看,有机肥 $2.5\sim 15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理株高明显低于常规施肥处理,处理间差异显著($P<0.05$),有机肥 $22.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理株高略高于常规施肥,可能与施用量大、养分多有关,有机肥 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理株高低于常规施肥处理,可能与施用量过多影响出苗及植株生长有关;苗期干物质积累随有机肥用量增加而增加,常规施肥处理干物质积累为各处理中最高,其中与有机肥 $2.5\sim 15\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 各处理之间差异达极显著($P<0.01$)。从有机、无机配施角度来看,有机肥 $2.5,7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理在配施50%常规施肥后,明显促进了干物质的积累,与其单独施用处理间差异极显著($P<0.01$),但仍低于常规施肥处理。

2.2 不同有机肥用量对盛花期植株性状的影响

大豆植株所需氮素有一半以上来自根瘤固氮,施肥可以促进作物生长,但却一定程度的抑制了根瘤生长及固氮酶的活性^[11]。盛花期考查结果表明(表2),在该时期施化肥对大豆根系、根瘤生长的抑制作用表现明显,常规施肥处理的根干重、根瘤个数、根瘤干重略低于其它处理,处理间差异不显著;由于有机肥料肥效作用时间长,到了盛花期,大大促进了植株生长,无论是单施有机肥处理,还是有机、无机配施处理,其株高均高于常规施肥,其中有机肥 $22.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 与常规施肥处理间差异达显著水平($P<0.05$);从干物质积累结果来看,有机肥用量在 $2.5\sim 22.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,用量越高,干物质积累越高,有机肥 $30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时干物质积累量略有降低,可能与施用量过大对出苗不利进而影响后期生长有关。方差分析结果表明,施用有机肥 $15\sim 30\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 干物质积累量与常规施肥处理间达显著性差异($P<0.05$)。有机肥 $2.5,7.5\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理在配施50%常

规施肥后,较各自单施处理促进了植株生长,但对
增加干物质积累作用不大,表明如果有机肥用量水
平低,可能会因为养分少而满足不了大豆植株生
长,直接影响干物质积累,配施化肥效果也不理想。

表 1 苗期不同处理植株性状

Table 1 The plant characters of different treatments at seedling stage

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	干物质积累 Dry matter accumulation per plant/g
常规施肥 Conventional fertilization dosage	21.50 ±0.14 a	2.84 ±0.14 aA
有机肥 2.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 2.5 t·hm ⁻²	19.15 ±0.92 b	1.50 ±0.01 cB
有机肥 2.5 t·hm ⁻² +50% 常规 Organic fertilizer dosage 2.5 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization dosage	20.40 ±0.99 b	2.78 ±0.07 aA
有机肥 7.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 7.5 t·hm ⁻²	19.00 ±0.42 b	1.68 ±0.07 bcB
有机肥 7.5 t·hm ⁻² +50% 常规 Organic fertilizer dosage 7.5 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization dosage	20.30 ±0.28 b	2.46 ±0.08 aA
有机肥 15 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻²	20.35 ±0.07 b	1.95 ±0.10 bB
有机肥 22.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 22.5 t·hm ⁻²	21.75 ±0.17 a	2.49 ±0.28 aA
有机肥 30 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 30 t·hm ⁻²	19.05 ±0.49 b	2.61 ±0.29 aA

同列不同大小写字母分别表示不同处理间在 0.01 和 0.05 水平差异显著。下同。
Different capital and lowercase in the same column indicate significant differences at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same as below.

表 2 盛花期不同处理植株性状

Table 2 The plant characters of different treatments at full-bloom stage

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	干物质积累 Dry matter accumulation per plant /g	根干重 Root dry weight per plant /g	根瘤个数 Number of root nodule	根瘤干重 Nodule dry weight per plant /g
常规施肥 Conventional fertilization	73.3 ±1.3 b	21.4 ±0.4 b	2.28 ±0.04 a	122 ±8 a	0.26 ±0.03 a
有机肥 2.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 2.5 t·hm ⁻²	74.8 ±2.6 ab	21.3 ±0.8 b	2.34 ±0.06 a	127 ±3 a	0.28 ±0.03 a
有机肥 2.5 t·hm ⁻² +50% 常规 Organic fertilizer dosage 2.5 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization	75.5 ±0.9 ab	21.2 ±0.8 b	2.28 ±0.07 a	120 ±6 a	0.27 ±0.04 a
有机肥 7.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 7.5 t·hm ⁻²	75.8 ±0.8 ab	21.4 ±0.2 b	2.36 ±0.14 a	129 ±4 a	0.29 ±0.05 a
有机肥 7.5 t·hm ⁻² +50% 常规 Organic fertilizer dosage 7.5 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization	76.9 ±1.1 ab	21.5 ±0.4 b	2.27 ±0.02 a	124 ±2 a	0.26 ±0.02 a
有机肥 15 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻²	75.8 ±2.2 ab	22.7 ±0.5 a	2.33 ±0.03 a	129 ±3 a	0.29 ±0.03 a
有机肥 22.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 22.5 t·hm ⁻²	77.7 ±2.1 a	23.1 ±0.8 a	2.30 ±0.01 a	127 ±4 a	0.29 ±0.04 a
有机肥 30 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 30 t·hm ⁻²	76.2 ±2.6 ab	22.8 ±0.9 a	2.27 ±0.06 a	124 ±4 a	0.27 ±0.03 a

2.3 不同有机肥用量对大豆产量及构成因子的影响

2016 年测产结果表明(表 3),从单施用有机肥角度看,与常规施肥处理相比,有机肥用量少,增产效果不明显,试验地块地力水平偏低,有机肥用量 2.5 和 7.5 t·hm⁻²处理较常规施肥分别减产 2.47% ~ 2.71%,差异显著($P < 0.05$);当有机肥用量在 15 t·hm⁻²以上时,产量有所增加,有机肥用量 22.5 t·hm⁻²增产最多,增产 2%,差异显著($P < 0.05$);当有机肥用量高于 22.5 t·hm⁻²时,产量下降,原因可能在于有机肥属于长效肥,施用量过大,后期养分

高,容易导致作物徒长贪青,落荚率、空瘪率增加,直接影响产量。从有机肥、化肥配施角度看,有机肥 2.5 和 7.5 t·hm⁻²处理配施 50% 常规施肥之后,产量较各自单施有机肥有所增加,但与常规施肥相比仍表现为减产,产量降低 1.39% ~ 2.49%,差异显著($P < 0.05$),即有机肥低水平用量下配施化肥增产效果不明显。从产量构成各因子来看,施用适量的有机肥主要提高了株荚数和株粒数,促进作物生长。单施有机肥处理空瘪率、百粒重都有所增加,原因是施用有机肥增加了作物生长后期的养分供给,促进大豆成荚鼓粒。

表 3 2016 年不同处理对产量及其构成因子的影响
Table 3 Effect of different treatments on yield and its components in 2016

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	株荚数 Valid pod per plant	株粒数 Seed number per plant	空瘪率 Rate of unfilled seed/%	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	增产 Yield increase rate/%
常规施肥 Conventional fertilization	88.2 ± 4.2 a	40.0 ± 2.8 ab	92 ± 4 b	2.9 ± 0.4 c	15.71 ± 0.23 b	3211.5 ± 18.1 b	—
有机肥 2.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 2.5 t·hm ⁻²	87.5 ± 2.9 a	36.0 ± 2.1 b	93 ± 4 b	2.9 ± 0.2 c	16.18 ± 0.35 ab	3124.4 ± 16.3 d	2.71 ↓
有机肥 2.5 t·hm ⁻² + 50% 常规施肥 Organic fertilizer dosage 2.5 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization	92.7 ± 5.7 a	40.0 ± 3.3 ab	98 ± 6 ab	2.9 ± 0.3 c	16.43 ± 0.21 a	3131.5 ± 15.7 cd	2.49 ↓
有机肥 7.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 7.5 t·hm ⁻²	86.1 ± 3.8 a	43.0 ± 5.8 ab	102 ± 4 ab	4.0 ± 0.3 ab	15.90 ± 0.23 b	3132.1 ± 15.1 cd	2.47 ↓
有机肥 7.5 t·hm ⁻² + 50% 常规施肥 Organic fertilizer dosage 7.5 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization	91.0 ± 2.8 a	43.0 ± 3.1 ab	101 ± 5 ab	3.7 ± 0.4 b	16.44 ± 0.16 a	3166.7 ± 16.7 c	1.39 ↓
有机肥 15 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻²	89.5 ± 1.4 a	43.0 ± 3.0 ab	94 ± 2 b	4.2 ± 0.2 ab	16.65 ± 0.11 a	3243.6 ± 10.2 ab	1.00 ↑
有机肥 22.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 22.5 t·hm ⁻²	90.8 ± 5.2 a	46.0 ± 1.6 a	107 ± 4 a	3.0 ± 0.2 bc	15.79 ± 0.04 b	3275.6 ± 19.1 a	2.00 ↑
有机肥 30 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 30 t·hm ⁻²	92.1 ± 3.5 a	45.0 ± 3.2 a	96 ± 7 ab	4.7 ± 0.1 a	15.92 ± 0.16 b	3147.4 ± 8.2 cd	2.00 ↓

选择 2016 年试验中有增产效果的处理做重复试验,2017 年测产结果表明,有机肥用量为 15 ~ 22.5 t·hm⁻²时,大豆产量随有机肥用量增加而增加,有机肥用量 22.5 t·hm⁻²时增产最多,较常规施肥处理增产 3.63%,差异显著($P < 0.05$),当有机肥用量高于 22.5 t·hm⁻²时,大豆产量降低,较常规施肥处理表现为减产;从有机肥、化肥配施角度看,有机肥 15 t·hm⁻²配施 50% 常规施肥较常规施肥增产 2.63%,差异显著($P < 0.05$)(表 4)。两年的考种、测产结果基本一致。

2.4 不同有机肥用量对大豆肥料成本、粮食产值的影响

从肥料成本来看,有机肥用量高于 2.5 t·hm⁻²时,肥料成本随着有机肥用量的增加而递增,远远高于化肥肥料成本值;从粮食产值来看,最高的为有机肥 22.5 t·hm⁻²,粮食产值高于常规施肥约 500 元·hm⁻²;从效益值来看,施用有机肥在某种程度上虽然增加了粮食产值,但由于其施用量大而产生较高的肥料成本,导致在效益值上低于常规施肥,且随着有机肥用量的增加,效益递减;从有机、无机配合施用的结果来看,配施化肥有提高产量的作用,但也增加了肥料成本,效益值也随之降低。综合来看,两年的计算结果基本一致(表 5 和表 6)。

表 4 2017 年不同处理对产量及其构成因子的影响

Table 4 Effect of different treatments on yield and its components in 2017

增产 处理 Treatment rate/%	株高 Plant height/cm	株荚数 Valid pod per plant	株粒数 Seed number per plant	空瘪率 Rate of unfilled grains/%	谷草比 Grain-straw ratio	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
常规施肥 Conventional fertilization	76.9 ± 2.1 a	33.0 ± 3.4 a	70 ± 4 a	2.5 ± 0.2	17.45 ± 0.13 b	3410.3 ± 17.1 c	—
有机肥 15 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻²	77.3 ± 1.8 a	31.0 ± 4.1 a	75 ± 6 a	2.6 ± 0.4	17.34 ± 0.24 b	3461.5 ± 8.5 b	1.50 ↑
有机肥 15 t·hm ⁻² + 50% 常规 Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization	77.1 ± 1.0 a	32.0 ± 3.6 a	76 ± 3 a	3.2 ± 0.4	17.21 ± 0.10 b	3500.0 ± 14.7 ab	2.63 ↑
有机肥 22.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 22.5 t·hm ⁻²	77.9 ± 1.9 a	31.0 ± 3.1 a	77 ± 4 a	3.1 ± 0.6	17.95 ± 0.16 a	3534.2 ± 8.7 a	3.63 ↑
有机肥 30 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 30 t·hm ⁻²	81.6 ± 2.4 a	30.0 ± 4.2 a	70 ± 5 a	3.0 ± 0.3	18.05 ± 0.15 a	3393.2 ± 18.8 c	0.50 ↓

表 5 2016 年肥料成本及粮食产值统计

Table 5 Cost of fertilizer andgrain production value in 2016

处理 Treatment	肥料成本 Cost of fertilizer					粮食产值 Grain production value		效益值 Benefit value /(yuan · hm ⁻²)
	有机肥用量	有机肥成本	化肥用量	化肥成本	肥料成本	产量 Yield /(kg · hm ⁻²)	产值 production value /(yuan · hm ⁻²)	
	Dosage of	Cost of	Dosage of	Cost of	总和			
	organic fertilizer	organic fertilizer	chemical fertilizer	chemical fertilizer	Total cost of fertilizer			
常规施肥 Conventional fertilization	—	—	二铵 150 尿素 50 硫酸钾 60	760	760	3211. 5	13488	12728
有机肥 2. 5 t · hm ⁻² Organic fertilizer dosage 2. 5 t · hm ⁻²	2. 5	750	—	—	750	3124. 4	13122	12372
有机肥 2. 5 t · hm ⁻² + 50% 常规施肥 Organic fertilizer dosage 2. 5 t · hm ⁻² and 50% conventional fertilization	2. 5	750	二铵 75 尿素 25 硫酸钾 30	380	1130	3131. 5	13152	12022
有机肥 7. 5 t · hm ⁻² Organic fertilizer dosage 7. 5 t · hm ⁻²	7. 5	2250	—	—	2250	3132. 1	13154	10904
有机肥 7. 5 t · hm ⁻² + 50% 常规施肥 Organic fertilizer dosage 7. 5 t · hm ⁻² and 50% conventional fertilization	7. 5	2250	二铵 75 尿素 25 硫酸钾 30	380	2630	3166. 7	13300	10670
有机肥 15 t · hm ⁻² Organic fertilizer dosage 15 t · hm ⁻²	15	4500	—	—	4500	3243. 6	13623	9123
有机肥 22. 5 t · hm ⁻² Organic fertilizer dosage 22. 5 t · hm ⁻²	22. 5	6750	—	—	6750	3275. 6	13758	7008
有机肥 30 t · hm ⁻² Organic fertilizer dosage 30 t · hm ⁻²	30	9000	—	—	9000	3147. 4	13219	4219

有机肥 300 元·t⁻¹; 二铵 3000 元·t⁻¹; 尿素 2000 元·t⁻¹; 硫酸钾 3500 元·t⁻¹; 黄豆 4.2 元·kg¹。下同。
Organic fertilizer 300 yuan·t⁻¹; diammonium phosphate 3000 yuan·t⁻¹; urea 2000 yuan·t⁻¹; potassium sulfate 3500 yuan·t⁻¹; soybean 4.2 yuan·kg⁻¹. The same as below.

表 6 2017 年肥料成本及粮食产值统计
Table 6 Cost of fertilizer and grain production value in 2017

处理 Treatment	肥料成本 Cost of fertilizer					粮食产值 Grain production value		效益值 Benefit value /(yuan·hm ⁻²)
	有机肥用量 Dosage of organic fertilizer /(t·hm ⁻²)	有机肥成本 Cost of organic fertilizer /(yuan·hm ⁻²)	化肥用量 Dosage of chemical fertilizer /(kg·hm ⁻²)	化肥成本 Cost of chemical fertilizer /(yuan·hm ⁻²)	肥料成本 总和 Total cost of fertilizer (yuan·hm ⁻²)	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	产值 production value /(yuan·hm ⁻²)	
常规施肥 Conventional fertilization	—	—	二铵 150 尿素 50 硫酸钾 60	760	760	3410.3	14323.3	13563.3
有机肥 15 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻²	15	4500	—	—	4500	3461.5	14538.3	10038.3
有机肥 15 t·hm ⁻² + 50% 常规施肥 Organic fertilizer dosage 15 t·hm ⁻² and 50% conventional fertilization	15	4500	二铵 75 尿素 25 硫酸钾 30	380	4880	3500.0	14700.0	9820
有机肥 22.5 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 22.5 t·hm ⁻²	22.5	6750	—	—	6750	3534.2	14843.6	8093.6
有机肥 30 t·hm ⁻² Organic fertilizer dosage 30 t·hm ⁻²	30	9000	—	—	9000	3393.2	14251.4	5251.4

3 讨 论

大豆具有根瘤固氮功能,有研究表明,化合态氮在前期对大豆根瘤生长有着明显的抑制作用^[11],本试验通过对植株苗期、花期的考查表明,化合态氮刺激地上部生长,抑制根瘤生长,在盛花期最为明显,常规施肥其根瘤个数、根瘤干重、根干重均低于施有机肥处理,且在该时期,施用有机肥处理其干物质积累量也都明显高于常规施肥处理,为后期产量的形成奠定了基础。

试验从低到高设计了 5 个有机肥用量水平,从增产效果上来看,有机肥在低水平用量上增产效果不明显,原因可能在于有机肥养分释放慢,不能满足大豆整个生育期对养分的需要,当地块肥力水平低时,有机肥用量少容易减产;当有机肥超过 15 t·hm⁻²时,表现为增产,差异显著,也就是说,当有机肥在该用量水平或以上时,有机肥缓慢释放的养分满足了大豆生长对养分的需要,有机肥用量 22.5 t·hm⁻²时产量最高,较常规施肥增产 2% ~ 4%;当有机肥用量超出 22.5 t·hm⁻²时,表现为减产,原因可能在于,有机肥属长效肥,肥效作用于整个生育期,且肥效后劲强,有机肥用量过多时,容易造成大豆鼓粒期由于养分过剩导致贪青晚熟,未能在有效积温条件下完全成熟,使得产量下降,两年结果基本一致。从有机无机配施的角度来看,在 2.5 和

7.5 t·hm⁻²两个低用量水平上配施了 50% 常规施肥,较各自单施有机肥相比,促进植株生长,产量也有所增加,但仍低于常规施肥,2016 年,有机肥 15 t·hm⁻²和有机肥 22.5 t·hm⁻²增产效果明显;2017 年,有机肥 15 t·hm⁻² + 50% 常规施肥和有机肥 22.5 t·hm⁻²增产效果明显。因有机肥肥料施用成本过高,所以未考虑在过高水平有机肥施用量上配施化肥。

试验通过计算效益值,可以看出,有机肥用量大,肥料成本高,5 个用量水平在效益值上均不同程度低于常规施肥处理,综合产量、效益值及田间表现几方面的因素来看,推荐有机肥 15 t·hm⁻²配施 50% 常规施肥,该处理既可避免前期化合态氮过多施用而引起对根瘤生长发育的抑制,又可保证产量的提高,也保障一定的效益值。本试验将秸秆、粪便经过高温发酵成有机肥料,再应用到农业生产当中,很好地解决了农业生产循环中废弃物的再利用问题。

4 结 论

为改良土壤,培肥地力而选择施用有机肥时,从保证经济效益不减少的角度出发时,有机肥用量不宜超过 2.5 t·hm⁻²,该用量水平对经济效益影响不大,但在地力水平低的情况下有机肥用量少容易导致缺肥减产;从提高产量,保证一定经济效益角

度出发,如单施有机肥料时,推荐有机肥用量 15 ~ 22.5 t·hm⁻²,该范围内,有机肥用量多,在大豆生育后期促进根系、根瘤生长,提高干物质积累,增产 2% ~ 4%,但经济效益也随着肥料成本增加而大幅递减,如选择有机无机配合施用,最适用量为有机肥用量 15 t·hm⁻² 配施 50% 常规施肥,低于或高于该水平会导致产量下降或效益太低。本试验在有机肥对土壤地力影响方面未深入研究,还有待于进一步验证其培肥地力效果。

参考文献

[1] 孟庆英,于忠和,贾绘彬,等. 不同施肥处理对大豆根际土壤微生物及土壤肥力影响[J]. 大豆科学,2011,30(3):471-474. (Meng Q Y, Yu Z H, Jia H B. Effects of different fertilizer treatment on rhizosphere soil microorganisms and fertility of soybean [J]. Soybean Science, 2011, 30(3):471-474.)

[2] 焦晓光,魏丹,隋跃宇. 长期培肥对农田黑土土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 中国土壤与肥料,2010(3):1-3. (Jiao X G, Wei D, Sui Y Y. Effects of long-term fertilization on the soil microbial biome ass for black soil in farm land[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2010(3):1-3.)

[3] 王立刚,李维炯,邱建军,等. 生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J]. 土壤肥料,2004(5):12-16. (Wang L G, Li W J, Qiu J J. Effect of biological organic fertilizer on crops growth, soil fertility and yield[J]. Soil Fertilizer, 2004(5):12-16.)

[4] 高菊生,黄晶,董春华,等. 长期有机无机配施对水稻产量及土壤有效养分的影响[J]. 土壤学报,2014,51(2):314-324. (Gao J S, Huang J, Dong C H. Effects of long-term combined application of organic and chemical fertilizers on rice yield and soil available nutrients[J]. Acta Pedagogical Sinica, 2014, 51(2):314-324.)

[5] 张发明,毛昆明,刘宏斌,等. 不同量有机肥与化肥配施对水稻氮素吸收利用的影响[J]. 云南农业大学学报,2011,26(5):694-699. (Zhang F M, Mao K M, Liu H B. Effects of the applica-

tion of different levels manure and fertilizers on nitrogen uptake and utilization of rice[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2011, 26(5):694-699.)

[6] 朱莱红,董彩霞,沈其荣,等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):282-288. (Zhu C H, Dong C X, Shen Q R. Microbial mechanism on enhancement of inorganic fertilizer-N use efficiency for combined use of inorganic and organic fertilizers[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2):282-288.)

[7] 张欣,施利利,刘晓宇,等. 不同施肥处理对水稻产量、食味品质及蛋白质组分的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(4):104-108. (Zhang X, Shi L L, Liu X Y. Effect of different fertilizer treatments on rise yied, grain quality and protein fraction content [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(4):104-108.)

[8] 张国荣,李菊梅,徐明岗,等. 长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(2):543-551. (Zhang G R, Li J M, Xu M G. Effects of chemical fertilizer and organic manure on rice yield and soil fertility [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(2):543-551.)

[9] 杨晶. 畜禽粪便有机肥技术的应用及效益分析[J]. 环境与发展,2014,26(4):82-84. (Yang J. Organic fertilizer application and benefit analysis of animal manure[J]. Environmental Development, 2014, 26(4):82-84.)

[10] 汪吉东,张辉,张永春,等. 连续施用不同比例鸡粪氮对水稻土有机质积累及土壤酸化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(5):1178-1185. (Wang J D, Zhang H, Zhang Y C. Effect of different ratios of chicken manure N on organic matter accumulation and acidification of paddy of paddy soils [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2014, 20(5):1178-1185.)

[11] 田艳洪,刘元英,张文钊,等. 不同时期施用氮肥对大豆根瘤固氮酶活性及产量的影响[J]. 东北农业大学学报,2008,39(5):15-19. (Tian Y H, Liu Y Y, Zhang W Z. Effect of N fertilization at different stage on nitrogenase activity and yield of soybean [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(5):15-19.)