



宿州地区周年肥料运筹对复播大豆农艺性状和产量的影响

姜磊, 王路路, 沈维良, 赵开兵, 葛雅琼

(宿州市农业科学院, 安徽 宿州 234000)

摘要: 为在宿州地区筛选出有利小麦收获后复播大豆高产的周年施肥组合, 本研究采用裂区试验设计, 设置 5 个小麦季施肥处理、3 个大豆季施肥处理, 研究周年不同施肥组合对麦后复播大豆农艺性状及产量的影响。研究表明: 麦季不同施肥处理的夏大豆株高和产量差异显著。常量处理与常量 + 生物炭处理的株高显著高于无肥处理, 有机肥替代处理的大豆产量比无肥处理高 13. 20% 且差异极显著, 高量处理的大豆产量比无肥处理高 10. 52% 且差异显著。大豆季不同施肥处理的夏大豆株高、主茎节数差异显著, 且随着大豆季氮肥的增加而增加。大豆季施用氮肥对产量的影响不显著, 产量随着氮肥增加先升高再降低。麦季施用有机肥, 大豆季施用低氮基肥的周年施肥组合有利于在获得较高大豆产量的同时减少对环境的负面影响和氮肥用量。

关键词: 大豆; 有机肥; 生物炭; 产量

Effects of Annual Fertilizer Management on Agronomic Characters and Yield of Multiple Cropping Soybean in Suzhou Area

JIANG Lei, WANG Lu-lu, SHEN Wei-liang, ZHAO Kai-bing, GE Ya-qiong

(Suzhou Academy of Agricultural Sciences, Suzhou 234000, China)

Abstract: In order to screen out better annual fertilization combination for the high-yield of summer sowing soybean, this experiment adopted the split area experiment design, and set up five fertilization treatments in wheat season and three fertilization treatments in soybean season. The effects of different annual fertilization combinations on agronomic traits and yield of soybean were studied. The results showed the different fertilization in wheat season had a significant aftereffect on the plant height and yield of the summer soybean. Plant height in the customary fertilizer and customary fertilizer + biochar treatments were significantly higher than that of no fertilizer treatment. The yield of organic fertilizer treatment was 13. 20% extremely higher than no fertilizer treatment. The yield of high amount treatment was 10. 52% higher than no fertilizer treatment. The plant height and main stem node number of summer soybean were significantly affected by different fertilization in soybean season. Soybean plant height and main stem node number increased with the increase of nitrogen fertilizer in soybean season. Nitrogen fertilizer had no significant effect on yield in soybean season. The yield of soybean rised and then fell with the increasing of nitrogen fertilizer. It was beneficial to soybean yield enhancement under organic fertilizer in wheat season and low nitrogen-based fertilizer in soybean season.

Keywords: Soybean; Organic fertilizer; Biochar; Yield

宿州地区是我国夏大豆和优质高蛋白大豆的主要生产区。小麦 - 大豆两熟轮作是宿州地区重要种植体系之一。由于小麦季施肥的后效作用和大豆的固氮能力, 一部分农户种植大豆时很少施肥甚至不施肥, 但也有一部分农户未考虑到上茬作物肥料的后效作用, 只考虑单季作物施肥因素, 于大豆季进行大量施肥, 因而产生施肥过量的问题。长期单施化肥会使土壤酸化、板结、含水量降低、硝酸盐含量超标, 同时化肥的过量使用会加剧这些问

题^[1-2]。国内外研究表明施用有机肥可以显著缓解过量施用化肥带来的土壤酸化、养分流失等问题, 还能直接提高土壤的有效养分, 促进土壤微生物繁殖, 增强保肥保墒能力^[3-6]。同时施用有机肥也是降低氮肥用量的有效渠道^[7]。高洪军等^[8]研究显示长期施用有机肥来替代部分化肥既能节省化肥的投入, 又能提高土壤肥力。生物炭对土壤物理和化学性质也具有明显的改良作用, 可以提高肥料利用率, 增加产量^[9-13]。除了施用有机肥, 施用生物炭

收稿日期: 2020-03-10

基金项目: 国家大豆产业技术体系建设专项 (CRAS-004-CES23)。

第一作者简介: 姜磊 (1984-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事大豆高产育种及栽培研究。E-mail: weiwenjww@163. com。

通讯作者: 沈维良 (1963-), 男, 学士, 研究员, 主要从事大豆育种及栽培研究。E-mail: swl21th@163. com。

也是减少化肥使用重要措施之一。

宿州地区农民多沿用传统的冬小麦－夏大豆轮作种植习惯和管理方式,前后茬间隔时间较短,前茬小麦的肥料后效对后茬大豆有较大的影响,而且大豆超过一半的氮素是从根瘤菌共生固氮获得的,大豆季播种前施用氮肥过多对根瘤的生长有抑制影响,进而影响大豆氮素吸收^[14-15]。因此大豆季的施肥措施要在综合考虑上茬施肥后效的基础上合理施氮才能使肥料得到充分利用,提高大豆产量。目前关于肥料的研究多集中在施肥方式对当季作物影响,而对上茬施肥后效考虑较少。如何在宿州一年两熟地区既考虑前茬作物的施肥后效,又在兼顾后茬作物产量的基础上科学地周年施用肥料,成为宿州地区需要解决的重要问题之一。本研究在宿州地区以小麦复播大豆为试验对象,研究周年不同施肥组合对麦后复播大豆农艺性状和产量的影响,筛选出最佳的周年施肥组合,以期为宿州地区复播大豆周年科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2018－2019年在安徽省宿州市埇桥区朱仙庄镇宿州市农业科学院东区试验基地(33°38'N,

117°04'E)进行。该地区气候属暖温带半湿润气候,海拔约29 m,年平均气温为14.4℃,全年≥10℃有效积温为3 369.6℃,年日照时数约为2 300 h,无霜期约为210 d,平均降雨量约为887.1 mm,试验地土壤属于沙姜黑土。试验地0～20 cm土壤有机质含量17.64 g·kg⁻¹、速效磷29.25 mg·kg⁻¹、速效钾162.00 mg·kg⁻¹、速效氮12.33 mg·kg⁻¹、pH7.6。小麦于2018年10月26日播种,2019年6月11日收获。大豆于2019年6月17日播种,2019年9月27日收获。

1.2 试验设计

试验采用裂区试验设计,主因子为小麦生长阶段的5个施肥处理,分别是F1(无肥)、F2(常量)、F3(高量)、F4(有机肥替代)、F5(常量+生物炭),在小麦拔节期追肥;副因子为大豆底肥,设N1(无氮)、N2(低氮)、N3(高氮)3个处理。大豆行长6 m,行距0.4 m,小区面积为28.8 m²,随机区组排列,4次重复,60个小区。两季喷灌方式均为微喷。

供试有机肥总养分(N+P₂O₅+K₂O)为8%,有机质含量为20%、氮肥为尿素(含N 46%)、磷肥为颗粒状过磷酸钙(含P₂O₅ 16%)、钾肥为颗粒状硫酸钾(含K₂O 50%)、生物炭为农作物秸秆高温热解炭。具体施肥组合和用量如表1所示。

表1 各处理的施肥量
Table 1 Fertilizer application rate of each treatment (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	基肥 Basal					追肥 Top dressing
	尿素 Urea	过磷酸钙 Super phosphate	硫酸钾 Potassium sulphate	有机肥 Organic fertilizer	生物炭 Biochar	尿素 Urea
F1	0	0	0	0	0	0
F2	326	703	150	0	0	228
F3	424	703	150	0	0	228
F4	0	0	0	4200	0	0
F5	326	703	150	0	10500	228
N1	0	211	68	0	0	0
N2	49	211	68	0	0	0
N3	98	211	68	0	0	0

1.3 测定项目与方法

在大豆成熟期,每小区分别连续取有代表性20株进行考种,记录株高、结荚高度、主茎节数、分枝数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重及百粒重。大豆成熟后按实收小区产量记产,折算成公顷产量。

1.4 数据分析

采用Excel 2007和DPS 7.05进行数据处理和

分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对复播夏大豆农艺性状的影响

由表2可知,F2N3组合株高最高(73.00 cm)、F1N1组合株高最低(65.28 cm),F2及F5处理的组合株高较高。除F3处理外,其它小麦季施肥处理

下,大豆株高随着大豆季施肥量增加而增加。F3 处理下的大豆株高随着大豆季施肥量先增高后降低,说明在大豆季提高施肥量有助于大豆生物量积累,但在上茬小麦季高量施肥的条件下,提高大豆季施肥反而会影响大豆生物量积累;F5N2 组合的结荚高

度最高(20.33 cm)、F1N3 组合的结荚高度最低(16.05 cm);不同组合的分枝数差异不显著;F1N3 组合的主茎节数最多(12.08),F4N1 组合的主茎节数最少(11.08)。

表 2 不同处理对夏大豆农艺性状和产量的影响

Table 2 Effects of different treatments on agronomic characters and yield of summer soybean

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	结荚高度 Podding height/cm	分枝数 Branches number	主茎节数 Node number of main stem	单株有效			百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
					荚数	单株粒数	单株粒重		
					Valid pods number per plant	Seed number per plant	Seed weight per plant/g		
F1N1	65.28 cB	17.42 abcA	1.30 aA	11.48 abA	45.95 bA	94.70 aA	14.30 bA	16.79 abA	2718.46 bA
F1N2	65.88 bcAB	18.33 abcA	1.58 aA	11.82 abA	53.55 abA	101.78 aA	17.52 abA	16.95 abA	2841.33 abA
F1N3	66.93 bcAB	16.05 cA	1.70 aA	12.08 aA	51.58 abA	91.55 aA	16.15 abA	17.51 abA	2786.48 bA
F2N1	69.68 abcAB	18.45 abcA	1.50 aA	11.40 abA	44.22 bA	94.20 aA	16.15 abA	16.67 abA	2994.92 abA
F2N2	70.35 abcAB	17.95 abcA	1.20 aA	11.77 abA	43.97 bA	88.75 aA	18.67 abA	18.30 aA	2834.75 abA
F2N3	73.00 aA	16.83 bcA	1.20 aA	11.82 abA	49.33 abA	89.38 aA	17.02 abA	17.98 abA	2766.73 bA
F3N1	66.15 bcAB	16.67 bcA	1.90 aA	11.50 abA	60.47 aA	106.20 aA	19.73 aA	17.32 abA	3005.89 abA
F3N2	69.53 abcAB	18.92 abcA	1.35 aA	11.90 abA	54.15 abA	105.63 aA	17.42 abA	16.76 abA	3106.82 abA
F3N3	66.35 bcAB	19.33 abA	1.66 aA	11.90 abA	53.10 abA	103.53 aA	17.63 abA	16.65 abA	3111.20 abA
F4N1	65.43 cAB	18.98 abcA	1.33 aA	11.07 bA	49.09 abA	93.28 aA	19.44 aA	16.45 bA	3062.93 abA
F4N2	67.75 abcAB	18.48 abcA	1.25 aA	11.45 abA	54.15 abA	104.20 aA	18.78 abA	17.32 abA	3324.03 aA
F4N3	71.20 abAB	19.83 abA	1.45 aA	11.80 abA	55.77 abA	110.94 aA	19.17 abA	17.78 abA	3060.74 abA
F5N1	67.55 abcAB	19.48 abA	1.40 aA	11.32 abA	49.14 abA	93.06 aA	18.93 abA	17.43 abA	2933.48 abA
F5N2	72.57 aAB	20.33 aA	1.17 aA	11.75 abA	50.88 abA	99.06 aA	18.60 abA	17.42 abA	2946.65 abA
F5N3	72.82 aAB	18.67 abcA	1.22 aA	11.63 abA	48.95 abA	99.08 aA	17.58 abA	16.97 abA	2977.37 abA

不同小写和大写字母分别表示处理间在 $P\leq 0.05$ 水平和 $P\leq 0.01$ 水平差异显著。下同。

Different lowcase and uppercase indicate significant difference at $P\leq 0.05$ and $P\leq 0.01$ level. The same below.

2.2 不同施肥处理对复播夏大豆产量及产量构成因素的影响

由表 2 可知,产量最高的组合是 F4N2 (3 324.03 kg·hm⁻²),产量最低的组合是 F1N1 (2 718.46 kg·hm⁻²)。F4N2 组合的产量显著高于 F1N1、F1N3 和 F2N3 组合,且 F3 各组合处理产量较高,均高于3 000 kg·hm⁻²,说明小麦季有机替代和高量处理组合有助于提高大豆产量。单株有效荚数,F3N1 组合最高(60.47)、F2N2 组合最低(43.97);不同组合的单株粒数差异不显著;单株粒重,F3N1 组合最高(19.73 g)、F1N1 组合最低(14.30 g);百粒重,F2N2 组合最高(18.3 g),F4N1 组合最低(16.45 g)。

2.3 不同作物季施肥对夏大豆农艺性状和产量的影响

2.3.1 麦季施肥处理的影响 由表 3 可知,F2 处理的大豆株高最高(71.01 cm),F5 处理次之(70.98 cm),F1 处理最矮(66.03 cm),F2 与 F5 处理显著高于 F1 处理;结荚高度,F5 处理的最高(19.49 cm),F1 处理最低(17.27 cm),二者差异显著;单株有效荚数,F3 处理最多(55.91),与最少的 F2 处理(45.84)差异显著;单株粒重,F4 处理最高(19.13 g),F1 处理最低(15.99 g),二者差异显著;不同的小麦季施肥处理的大豆分枝数和主茎节数、单株粒数、百粒重差异不显著。F4 处理产量最高(3 149.21 kg·hm⁻²),F3 处理次之(3 074.64 kg·hm⁻²),F1 处理最低(2 782.08 kg·hm⁻²)。F4 处理产量比 F1 处理高

13.20%且差异极显著。F3处理产量比F1处理高10.52%且差异显著。F5与F2处理产量分别比F1处理高6.13%和3.00%,二者差异不显著。以上结果表明,小麦季施肥可以提高株高、结荚高度、有效荚数和单株粒重。小麦季施肥可以提高地表生物

量积累和大豆产量;小麦季4个施肥处理都相对F1处理增产,其中F4处理增产最高且达到极显著差异水平,说明小麦季增加施肥可以显著提高后茬夏大豆的产量,有机替代处理产生的后效优于单施化肥处理。

表3 不同小麦季施肥处理对夏大豆农艺性状和产量的影响

Table 3 Effects of different fertilizer treatments in wheat season on agronomic characters and yield of summer soybean

处理 Treatment	株高	结荚高度	分枝数	主茎节数	单株有效		单株粒数	单株粒重	百粒重	产量
	Plant height	Podding	Branches	Node number	荚数	Valid pods	Seed number	Seed weight	100-seed	Yield
	/cm	height/cm	number	of main stem	number		per plant	per plant/g	weight/g	/(kg·hm ⁻²)
F1	66.03 bA	17.27 bA	1.52 aA	11.79 aA	50.36 abA		96.01 aA	15.99 bA	17.08 aA	2782.08 cB
F2	71.01 aA	17.74 abA	1.30 aA	11.67 aA	45.84 bA		90.78 aA	17.28 abA	17.65 aA	2865.47 bcAB
F3	67.34 abA	18.31 abA	1.63 aA	11.77 aA	55.91 aA		105.12 aA	18.26 abA	16.91 aA	3074.64 abAB
F4	68.13 abA	19.09 abA	1.34 aA	11.44 aA	53.00 abA		102.80 aA	19.13 aA	17.18 aA	3149.21 aA
F5	70.98 aA	19.49 aA	1.27 aA	11.57 aA	49.66 abA		97.07 aA	18.37 abA	17.27 aA	2952.53 abcAB

2.3.2 豆季施肥处理的影响 由表4可知,大豆季不同施肥处理的大豆结荚高度、分枝数、单株有效荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重差异不显著。大豆株高随大豆季氮肥增加而增高,N3处理与N1处理的株高差异极显著,N2处理与N1处理的株高差异显著。大豆的主茎节数随着大豆季氮肥增加而增加,N3与N2处理主茎节数显著多于无氮处

理。N2处理的大豆产量最高,较N1处理高2.39%,N3处理产量较N1处理高0.09%。大豆季施用氮肥可以显著影响主茎节数,从而影响大豆株高,大豆的株高、主茎节数随着大豆季施用氮肥的增加而增加,但夏季各施肥处理间产量没有显著差异。说明夏季增施氮肥可以显著提高夏大豆地表生物量积累,但是无法显著增加夏大豆产量。

表4 不同大豆季施肥处理对夏大豆农艺性状和产量的影响

Table 4 Effects of different fertilizer treatments in soybean season on agronomic characters and yield of summer soybean

处理 Treatment	株高	结荚高度	分枝数	主茎节数	单株有效		单株粒数	单株粒重	百粒重	产量
	Plant height	Podding	Branches	Node number	荚数	Valid pods	Seed number	Seed weight	100-seed	Yield
	/cm	height/cm	number	of main stem	number		per plant	per plant/g	weight/g	/(kg·hm ⁻²)
N1	66.82 bB	18.2 aA	1.49 aA	11.36 bB	49.78 aA		96.29 aA	17.71 aA	16.93 aA	2943.14 aA
N2	69.22 aAB	18.8 aA	1.31 aA	11.74 aAB	51.34 aA		99.88 aA	18.20 aA	17.35 aA	3010.72 aA
N3	70.06 aA	18.2 aA	1.44 aA	11.85 aA	51.74 aA		98.89 aA	17.51 aA	17.38 aA	2940.50 aA

2.4 夏大豆主要农艺性状与产量的相关性及方差分析

由表5可知,产量与单株粒数、单株粒重显著正相关,相关系数分别为0.63和0.54,单株有效荚数与单株粒数显著正相关,相关系数为0.80,而百粒重是品种特性,与产量相关性不显著。结果说明产量受多因素共同影响,提高大豆产量应首先从单株粒数和单株荚数性状考虑。而表6也显示,麦季不同施肥处理的株高、产量有显著差异,而与产量显

著相关的单株粒数、单株粒重差异不显著,说明产量的形成不是由某个主要产量性状决定的,是由多因素相互制约、共同作用的结果;夏季不同施肥处理的夏大豆株高差异极显著,主茎节数差异显著,产量差异不显著。以上结果显示小麦季和大豆季施肥都可以显著影响大豆的地表生物量积累,小麦季施肥可以显著提高后茬夏大豆产量,大豆季施肥效果则不显著。说明可以在小麦季适当增施肥来提高下茬夏大豆的产量。

表 5 夏大豆农艺性状与产量的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of agronomic characters and yield of summer soybean

	株高 Plant height	结荚高度 Podding height	分枝数 Branches number	主茎节数 Node number of main stem	单株有效				百粒重 100-seed weight	产量 Yield
					荚数 Valid pods number per plant	单株粒数 Seed number per plant	单株粒重 Seed weight per plan			
株高 Plant height	1.00									
结荚高度 Podding height	0.30	1.00								
分枝数 Branches number	-0.57 *	-0.19	1.00							
主茎节数 Node number of main stem	0.30	0.01	0.16	1.00						
单株有效荚数 Valid pods number per plant	-0.20	0.17	0.56 *	0.23	1.00					
单株粒数 Seed number per plant	-0.06	0.34	0.34	0.16	0.80 **	1.00				
单株粒重 Seed weight per plant	0.09	0.41	0.05	-0.26	0.48	0.35	1.00			
百粒重 100-seed weight	0.49	0.00	-0.22	0.37	-0.02	-0.22	0.26	1.00		
产量 Yield	-0.04	0.30	0.03	-0.25	0.45	0.63 **	0.54 *	-0.30	1.00	

* 和 ** 分别代表相关性显著 ($P < 0.05$) 与相关性极显著 ($P < 0.01$) 。

* and ** mean there are significant difference at 0.05 and 0.01 probability level , respectively.

表 6 大豆农艺性状及产量联合方差分析 (F 值)

Table 6 The variance analysis (F -value) of agronomic characters and yield of summer soybean

变异来源 Source of variance	株高 Plant height	结荚高度 Podding height	分枝数 Branches number	主茎节数 Node number of main stem	单株有效				百粒重 100-seed weigh	产量 Yield
					荚数 Valid pods number per plant	单株粒数 Seed number per plant	单株粒重 Seed weight per plan			
小麦季施肥 Fertilization of wheat season	3.785 *	1.966	0.642	1.109	1.709	0.613	2.158	1.028	3.785 *	
大豆季施肥 Fertilization of soybean season	5.744 **	0.847	0.658	4.625 *	0.585	0.304	0.289	1.168	1.168	

* 和 ** 分别表示在 $P \leq 0.05$ 水平和 $P \leq 0.01$ 水平差异显著 。

* and ** indicates there is significant difference at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$ level.

3 讨 论

理想的施肥制度是在获得较高作物产量的同时减少环境的负面影响,施用有机肥不仅可以减少周年化肥施用量,还能避免过量使用化肥造成的土

壤和水体污染问题,宿州地区主要是一年两熟种植体制,上茬作物施肥不仅会影响当季作物,也会持续影响到后茬作物的生长发育,为了提高复播大豆产量,不仅需要考虑大豆当季的施肥量,同时需要参考前茬麦季作物的施肥量。王佳锐等^[16]研究显

示复播大豆可以充分利用前茬小麦的肥料。陈远学等^[17-18]研究表明大豆仅利用小麦肥料后效,在中、高施肥条件下均能保证大豆产量。李蕊等^[19]研究表明,在有机肥源供应充足的地区,有机肥是提高大豆产量、降低生产成本、减轻化肥负面环境影响的替代措施。张永杰等^[20]研究显示前茬有机肥后效有利于后茬作物产量的提高且比单施氮肥效果明显。本研究显示小麦季施肥的后效可以显著影响后茬复播大豆的产量,小麦季4个施肥处理相对F1处理都是增产,其中F4处理增产最高且达到极显著水平,说明有机肥替代处理产生的后效有利于后茬作物产量的提高且优于单施化肥处理。

生物炭主要通过改变土壤的物理、化学和微生物学性质来促进作物增产,肥料和生物炭一起使用时能够提高作物的产量^[21-22]。本研究中,F5处理的小区产量排名居中,F5处理平均产量较F2处理增产3.04%,但是较F4和F3处理产量低。表明生物炭通过改良土壤提高大豆对肥料的利用率,进而增加复播大豆的产量,但是增加幅度不显著,说明施用生物炭是降低化肥使用的途径,但是收益并不显著。

本研究显示大豆株高、主茎节数随着大豆季施用氮肥的增加而增加,氮肥可以显著影响主茎节数,从而影响大豆株高。孔玮琳等^[23]的研究显示不同施氮梯度下大豆产量无显著差异,本研究结果也表明5种小麦季不同施肥处理下,大豆季氮肥的改变对产量影响没有明显规律且差异均不显著,说明大豆季增加氮肥施用对产量的影响不显著。研究显示大豆在开花期前吸收的氮素只占全生育期17%,前期土壤中过多的氮肥会抑制大豆根瘤菌的生长和固氮能力^[14-15],而且大豆季施用的过量氮肥会流失到周围环境中。大豆季施肥对产量影响的差异不显著的原因可能是因大豆季前期施用氮肥利用率低引起的。可见过多的大豆季氮肥投入不能对产量有显著的提高,反而可能会限制大豆自身的固氮能力,降低氮肥利用效率,适量的氮肥施用才能够使大豆取得较高产量^[24-25]。

本研究显示大豆产量较高的组合多在F4和F3处理下,说明在小麦季通过施有机肥替代高量化肥同样可以显著提高麦后复播大豆产量,而且增产效果更好。F4N2组合取得了3 324.03 kg·hm⁻²的最大产量,而F4N1组合也取得了较高产量,且与F4N2组合产量差异不显著,说明在小麦季施用有机肥替代化肥的处理中,大豆季不使用氮肥作为基肥也可以取得较高产量。

虽然有机肥相对化肥在环境成本方面优势巨

大,但在生产和人力的成本方面要高于化肥,后续试验还需进一步增设有机肥替代部分化肥的施肥处理,研究当环境成本、生产使用肥料成本达到最小时能够带来较大经济效益的周年施肥组合;同时还需要对如何提高夏季大豆氮肥利用率问题进行考虑。本研究结果是基于小麦-大豆轮作定位试验第一年的数据分析得来的,还需进行多年试验方能克服试验前土壤肥力和气候变化的影响,使得数据更准确可靠、解释力更强。本研究初步探索了麦-豆周年最优施肥组合,为宿州地区周年施肥措施提供了重要的借鉴,为解决宿州地区长期施用化肥造成的环境、食品安全问题提供了重要的理论依据。

4 结 论

本研究显示,小麦季施肥和大豆季施肥都可以显著提高大豆的地表生物量积累,大豆季增施氮肥对夏大豆产量影响不显著,小麦季施肥可以显著提高后茬夏大豆产量。小麦季有机肥处理能够显著提高复播大豆产量且增产效果最好,是减少化肥应用、减轻负面环境影响的重要替代措施。研究结果显示F4N2组合取得了3 324.03 kg·hm⁻²的最大产量。因此麦季施用有机肥4 200 kg·hm⁻²,大豆季施用含N 22.5 kg·hm⁻²、P₂O₅ 33.75 kg·hm⁻²、K₂O 34.5 kg·hm⁻²的基肥是适合宿州地区麦田复播大豆的周年施肥组合,也是对环境友好的施肥组合。

参考文献

[1] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review [J]. *Geoderma*, 2005, 124 (1-2): 3-22.

[2] Kaiser M, Ellerbrock R H. Functional characterization of soilorganic matter fractions different in solubility originating from a long-term field experiment[J]. *Geoderma*, 2005,127:196-206.

[3] 孟红旗,吕家珑,徐明岗,等. 有机肥的碱度及其减缓土壤酸化的机制[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(5): 1153-1160. (Meng H Q, Lyu J L, Xu M G, et al. Alkalinity of organic manure and its mechanism for mitigating soil acidification [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18 (5): 1153-1160.)

[4] Tong Y, Ove E, Lu D, et al. Effect of organic manure and chemical fertilizer on nitrogen uptake and nitrate leaching in a Eum-orthic anthrosols profile[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 48:225-229.

[5] 徐阳春,沈其荣,茆泽圣. 长期施用有机肥对土壤及不同粒级中酸解有机氮含量与分配的影响[J]. *中国农业科学*, 2002, 35 (4): 403-409. (Xu Y C, Shen Q R, Mao Z S. Contents and distribution of forms of organic N in soil and particle size fractions after long-term fertilization [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (4): 403-409.)

[6] 田艳洪,赵晓峰,刘玉娥,等. 不同有机肥用量对大豆植株生

长及产量的影响[J]. 大豆科学, 2018, 37(4): 578-584. (Tian Y H, Zhao X F, Liu Y E, et al. Effects of different dosages of organic fertilizer on the growth and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2018, 37(4): 578-584.)

[7] 邢鹏飞, 高圣超, 马鸣超, 等. 有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 98-104. (Xing P F, Gao S C, Ma M C, et al. Impact of organic manure supplement chemical fertilizer partially on soil nutrition, enzyme activity and crop yield in the north China plain[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2016(3): 98-104.)

[8] 高洪军, 朱平, 彭畅, 等. 等氮条件下长期有机无机配施对春玉米的氮素吸收利用和土壤无机氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(2): 318-325. (Gao H J, Zhu P, Peng C, et al. Effects of partially replacement of inorganic N with organic materials on nitrogen efficiency of spring maize and soil inorganic nitrogen content under the same N input[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2015, 21(2): 318-325.)

[9] 刘明, 来永才, 李炜, 等. 生物炭与氮肥施用量对大豆生长发育及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(1): 87-91. (Liu M, Lai Y C, Li W, et al. Effect of biochar and nitrogen application rate on growth development and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2015, 34(1): 87-91.)

[10] 侯晓娜, 李慧, 朱刘兵, 等. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(4): 705-712. (Hou X N, Li H, Zhu L B, et al. Effects of biochar and straw additions on lime concretion black soil aggregate composition and organic carbon distribution[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(4): 705-712.)

[11] 武玉, 徐刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 68-79. (Wu Y, Xu G, Lyu Y C, et al. Effects of biochar amendment on soil physical and chemical properties: Current status and knowledge gaps[J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(1): 68-79.)

[12] Chan K Y, Van Z L, Meszaros I, et al. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment[J]. Soil Research, 2008, 45(8): 629-634.

[13] Uzoma K C, Inoue M, Andry H, et al. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition[J]. Soil Use and Management, 2011, 27(2): 205-212.

[14] 甘银波, 陈静, Ineke S. 大豆不同生长阶段施用氮肥对生长、结瘤及产量的影响[J]. 大豆科学, 1996, 16(2): 125-130. (Gan Y B, Chen J, Ineke S. Effects of N appltcation at different growth stages on growth nodulation and yield of soybean[J]. Soybean Science, 1996, 16(2): 125-130.)

[15] 马春梅, 唐远征, 垄振平, 等. 不同施氮水平对大豆吸收化肥氮效率的影响[J]. 大豆科学, 2005, 24(1): 34-37. (Ma C M, Tang Y Z, Gong Z P, et al. The influence on different nitrogen levels to the nitrogen absorption rate in soybean[J]. Soybean Science, 2005, 24(1): 34-37.)

[16] 王佳锐, 王科, 赵亚妮, 等. 小麦施氮后效和种植方式对大豆产量及农艺性状的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(7): 158-167. (Wang J R, Wang K, Zhao Y N, et al. Relationship between nitrogen after-effects and the yield and agronomic traits of monocropped and intercropped soybean[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2016, 25(7): 158-167.)

[17] 陈远学, 周涛, 黄蔚, 等. 小麦/玉米/大豆间套作体系中小麦施磷后效对大豆产量、营养状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 331-339. (Chen Y X, Zhou T, Huang W, et al. Phosphorus aftereffects on soybean yield and nutrition status in wheat/maize/soybean intercropping system[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 331-339.)

[18] 陈远学, 陈晓辉, 唐义琴, 等. 不同氮用量下小麦/玉米/大豆周年体系的干物质积累和产量变化[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 73-78. (Chen Y X, Chen X H, Tang Y Q, et al. Effect of nitrogen fertilizer on dry matter accumulation and yield in wheat/maize/soybean intercropping system[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(1): 73-78.)

[19] 李蕊, 杨越, 李彦生, 等. 基于玉米-大豆轮作的不同施肥体系对大豆开花后根系形态及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(1): 64-73. (Li R, Yang Y, Li Y S, et al. Effects of different fertilization systems on root shape and yield of soybean after flowering based on maize-soybean rotation[J]. Chinese Journal of Oil Crops, 2018, 40(1): 64-73.)

[20] 张永杰, 符小文, 杜孝敬, 等. 有机肥和氮肥周年组合对麦豆轮作中复播大豆生长及产量的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(10): 2975-2981. (Zhang Y J, Fu X W, Du X J, et al. Effects of annual combination of organic fertilizer and nitrogen fertilizer on growth and yield of re-sowing soybean in wheat-bean rotation[J]. 2019, 38(10): 2975-2981.)

[21] Xu G, Lyu Y, Sun J, et al. Recent advances in biochar applications in agricultural soils: Benefits and environmental implications[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2012, 40(10): 1093-1098.

[22] Van Z L, Kimber S, Morris S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. Plant and Soil, 2010, 327(1): 235-246.

[23] 孔玮琳, 薛燕慧, 李进, 等. 不同氮水平下夏玉米夏大豆间作对其农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 50(7): 116-120. (Kong W L, Xue Y H, Li J, et al. Effect of intercropping on yield and agronomic traits of summer maize and summer soybean under different nitrogen levels[J]. Shandong Agricultural Sciences, 50(7): 116-120.)

[24] 王凤仙, 丁娇, 韩晓增, 等. 长期氮肥不同施用量对大豆生物量和产量的影响[J]. 大豆科技, 2016(6): 4-7. (Wang F X, Ding J, Han X Z, et al. Effects of different application rates of long-term nitrogen fertilizer on soybean biomass and yield[J]. Soybean Science and Technology, 2016(6): 4-7.)

[25] 邸伟, 金喜军, 马春梅, 等. 施氮水平对大豆氮素积累与产量影响的研究[J]. 核农学报, 2010, 24(3): 612-617. (Di W, Jin X J, Ma C M, et al. Effects of nitrogen application on yield and nitrogen application on soybean[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(3): 612-617.)