



# 控释肥施用方式对黄淮海大豆产量形成和经济效益的影响

王朝伟<sup>1</sup>,杜祥备<sup>1</sup>,韦志<sup>1</sup>,于国宜<sup>2</sup>,张亮<sup>2</sup>,黄志平<sup>1</sup>,王维虎<sup>1</sup>,孔令聪<sup>1</sup>

(1.安徽省农业科学院作物研究所,安徽合肥230031;2.安徽皖垦种业股份有限公司,安徽合肥230031)

**摘要:**针对黄淮海地区大豆生产中施肥粗放和效益较低的问题,以皖豆37和中黄13大豆品种为材料,设置不同的专用控释肥和常规肥料配合施用方式,研究不同施肥处理对大豆产量、生物量积累分配、冠层光能截获、叶片SPAD及经济效益的影响。结果表明:施用控释肥较常规肥料增产3.0%~8.8%,控释肥+常规肥配施处理较控释肥处理增产2.5%~5.6%,50%控释肥+50%常规肥配合处理产量最高。产量构成因子分析结果表明,粒数增加是产量提高的主导因素。控释肥+常规肥配施处理大豆叶片的SPAD和冠层光能截获率在整个生育期处于较高水平,生产生物量高,最终增产。控释肥+常规肥处理相比常规肥处理增收1212.1~1396.9元·hm<sup>-2</sup>,50%控释肥+50%常规肥配施处理经济效益显著增加。研究明确了新型大豆专用控释肥在黄淮地区大豆生产上的应用效果及合理的施用方式,可为大豆生产中的合理施肥提供依据。

**关键词:**大豆;黄淮海;控释肥;产量;效益

## Effects of Controlled Release Fertilizer Application Mode on Soybean Yield Formation and Economic Benefits in Huanghuaihai Region

WANG Chao-wei<sup>1</sup>, DU Xiang-bei<sup>1</sup>, WEI Zhi<sup>1</sup>, YU Guo-yi<sup>2</sup>, ZHANG Liang<sup>2</sup>, HUANG Zhi-ping<sup>1</sup>, WANG Wei-hu<sup>1</sup>, KONG Ling-cong<sup>1</sup>

(1. Crop Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 2. Anhui Wanken Seed Industry Co., Ltd. Hefei 230031, China)

**Abstract:** In order to solve the extensive fertilizer application and low fertilizer use efficiency problems of soybean production in Huanghuaihai region, field experiments were conducted in 2019 to determine how the combination of special controlled-release fertilizer and conventional fertilizer affect soybean yield, biomass accumulation and distribution, canopy light interception, SPAD of leaf and economic benefit. Two cultivars (Wandou 37 and Zhonghuang 13) were planted with six fertilizer treatments. The results showed that soybean yield increased at the combination treatments by 3.0% - 8.8% compared with conventional fertilizer, and the yield were increased by 2.5% - 5.6% compared with controlled release fertilizer, and the highest yield was obtained by the combination of 50% controlled release fertilizer and 50% conventional fertilizer. The improved yield by the combination of special controlled-release fertilizer and conventional fertilizer was due to enhanced biomass products and increased sink with greater seed number. SPAD and light energy interception rate of soybean leave treated with controlled release fertilizer and conventional fertilizer were at a high level in the whole growth period. NUEs under split N improved due to increased N uptake during the middle and late growth stages and a higher N partition ratio to the storage root. Compared with conventional fertilizer treatment, the income of the combination of controlled release fertilizer and conventional fertilizer treatments increased by 1212.1 - 1396.9 yuan·ha<sup>-1</sup>, with the economic benefit of the combination of 50% controlled release fertilizer and 50% conventional fertilizer increased significantly. The results showed that application of controlled release fertilizer were beneficial for enhancing soybean growth and promoting optimum yields, and was recommended as an alternative approach to simultaneously increase yield and economic benefit of soybean production in Huanghuaihai region.

**Keywords:** Soybean; Huanghuaihai region; Controlled-release fertilizer; Yield; Benefit

大豆是中国重要的粮油饲兼用作物,在农业和工业生产中占有重要地位<sup>[1]</sup>。黄淮海地区是中国大豆的主产区之一,常规大豆生产施肥管理粗放,

影响产量潜力发挥<sup>[2]</sup>。前人研究结果表明,大豆根瘤菌的固氮作用只能满足生长发育氮需求的1/3<sup>[3]</sup>,氮、磷、钾比例失调,造成了土壤少氮、缺钾、磷过剩

收稿日期:2020-05-06

基金项目:安徽省科技重大专项(18030701178);安徽省农业科学院团队建设项目(2020YL017)。

第一作者简介:王朝伟(1993),男,硕士,主要从事作物栽培研究。E-mail:2430824602@qq.com。

通讯作者:孔令聪(1963),男,硕士,研究员,主要从事作物栽培和农业可持续发展研究。E-mail:konglingcong@126.com。

的现状,致使施肥后产量不增加,经济效益差<sup>[4]</sup>。魏丹等<sup>[5]</sup>研究发现,大豆合理的氮、磷、钾施肥比例约为1:1:1。同时大豆种植存在施肥方式不科学的问题,大豆施肥多以种肥的形式一次性施入,造成大豆生长后期土壤养分乏力,虽然花荚期追肥能显著提高产量,但会增加劳动力成本,降低大豆种植效益<sup>[3,4,6]</sup>。

控释肥能减缓或控制肥料养分的释放速度<sup>[7]</sup>,满足作物生育中后期生长养分需求。由于控释肥的滞后释放<sup>[8]</sup>,作物前期养分供应不足,同样对作物早期生长发育产生不利影响<sup>[9]</sup>。前人研究表明控释肥和常规肥配合使用对促进作物生长、提高产量和肥料利用率具有显著的作用<sup>[10]</sup>。司贤宗等<sup>[11]</sup>对华北平原冬小麦-夏玉米连作体系的研究表明,采用80%控释氮肥+20%尿素的施肥方式,更有利于作物产量和肥料利用效率的协同提高。谭征<sup>[12]</sup>研究表明,使用25%~75%缓释氮肥可以显著提高大豆产量,较常规尿素增产达8.5%~24.7%。然而控释肥和常规肥的配合使用在黄淮海地区大豆生产上的应用研究鲜有报道。因此,本研究在常规氮、磷、钾配施比例1:1:1的基础上,开展大豆专用控释肥和复合肥配合施用方式对大豆产量影响的研究,探究专用控释肥和复合肥配比在大豆生产上的应用效果,以期为黄淮海地区大豆科学施肥提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为黄淮海地区生产上大面积应用的皖豆37和中黄13。

控释肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:15:15)由安徽帝元生物科技有限公司提供。常规复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:15:15)在市场购买。

1.2 试验设计

试验地位于安徽省蚌埠市怀远县龙亢农场科技园示范区(32°60'N,116°70'E),前茬作物是小麦。土壤类型为砂姜黑土,土壤肥力均匀,速效氮含量为143.6 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷17.9 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾159.3 mg·kg<sup>-1</sup>。

设置5个处理:常规复合肥(T1)、控释肥(T2)、70%控释肥+30%常规肥(T3)、50%控释肥+50%常规肥(T4)、30%控释肥+70%常规肥(T5),以不施肥为对照(CK)。N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O施肥量均为45 kg·hm<sup>-2</sup>,所有肥料均作为底肥一次性施入。随机区组

排列,3次重复。共36个小区,小区面积96 m<sup>2</sup>(12 m×8 m)。2019年6月15日播种,行距40 cm,出苗后定苗30万·hm<sup>-2</sup>。其它栽培管理措施按照高产优质要求统一实施。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生长发育和光合产物累积与分配 分别于盛花期和成熟期每小区选取5株长势一致的大豆,按照不同器官(根、茎、叶、豆荚和籽粒)分样。所有样品在105℃下杀青30 min,80℃烘干至恒重,用电子天平称量各器官干物重。

1.3.2 叶绿素含量 于大豆出苗后15 d开始,每间隔15 d用叶绿素计(Minolta SPAD502)测定主茎功能叶(最上面的展开叶)叶绿素含量的相对值(SPAD),每小区随机选择5株测量。

1.3.3 冠层光能截获测定和计算 自大豆出苗后15 d开始,每间隔15 d选择天气晴朗的白天11:00-13:00,使用SunScan冠层分析仪测定地面(后期为最下面一层绿叶)、冠层顶部10 cm处的光合有效辐射量,每小区重复测量6次。

光能截获率(%)=(顶部太阳光总辐射量-基部太阳光总辐射量)/顶部太阳光总辐射量×100。

1.3.4 产量与产量构成因子 于收获期调查每小区实收密度、单株有效结荚数、每荚粒数和百粒重。每小区选取2行实收测产。

1.3.5 大豆经济效益 按照大豆市场价4.2元·kg<sup>-1</sup>、常规复合肥2.9元·kg<sup>-1</sup>、控释肥3元·kg<sup>-1</sup>计算不同处理下的大豆产值及不同施肥处理比常规施肥节本和增收量。

1.4 数据分析

采用Excel 2019对数据进行统计与整理,用Origin 2018进行分析及作图,采用SPSS 20.0软件进行方差分析,用Duncan法检验显著性。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对大豆产量的影响

与常规肥料处理相比,不同控释肥处理下皖豆37增产3.0%~8.8%,中黄13增产4.9%~11.5%。而常规肥配施控释肥处理产量较单纯控释肥处理增加2.5%~6.3%,皖豆37和中黄13均以T4处理产量最高,分别较单施控释肥处理增产5.6%和6.3%,差异显著。单株粒数和结荚数受施肥处理影响显著,不同施肥处理间百粒重和株数差异较小。可见单株粒数和结荚数较高是常规肥和控释肥配施处理下大豆增产的主导因素(表1)。

表 1 不同施肥处理对大豆产量及产量构成因子因素的影响

Table 1 Effects of different fertilization treatments on soybean yield and yield composition

品种 Cultivar	施肥处理 Fertilizer treatment	单株结荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100-seed weight /g	株数 Plant number /( ×10 <sup>4</sup> 株·hm <sup>-2</sup> )	产量 Yield /(kg·hm <sup>-2</sup> )
皖豆 37	CK	27.8 c	47.6 d	17.1 a	30.1 a	2516.6 c
Wandou 37	T1	31.4 b	59.6 c	17.5 a	30.7 a	3284.0 b
	T2	36.4 a	63.9 b	17.3 a	29.8 a	3383.2 b
	T3	37.9 a	64.6 ab	17.5 a	30.2 a	3506.4 a
	T4	36.3 a	66.4 a	17.8 a	29.4 a	3572.5 a
	T5	35.6 a	63.0 b	18.1 a	29.8 a	3473.1 ab
中黄 13	CK	21.6 c	32.9 d	24.5 a	30.7 a	2537.0 d
Zhonghuang 13	T1	23.4 b	36.1 c	24.8 a	31.5 a	2891.3 c
	T2	24.9 ab	39.7 b	24.6 a	30.3 a	3033.1 b
	T3	25.6 a	40.1 b	24.6 a	30.7 a	3108.5 ab
	T4	26.6 a	41.7 a	25.2 a	29.9 a	3223.9 a
	T5	26.3 a	41.2 a	25.1 a	29.6 a	3147.0 ab

表中同列不同小写字母表示差异显著( $P>0.05$ )。下同。

Different lowercase in the same column indicate significant difference( $P>0.05$ ). The same below.

2.2 不同施肥处理对大豆生物量积累分配的影响

不同施肥处理下大豆各器官生物量积累分配情况如表 2 所示,与常规肥处理相比,不同控释肥处理下皖豆 37 全株的生物量提高 2.7% ~ 6.6%、中黄 13 提高 0.7% ~ 3.8%。与控释肥处理相比,常

规肥和控释肥的配施处理下皖豆 37 和中黄 13 全株的生物量分别增加了 3.8% 和 2.6%。其中 T4 处理高于其它处理的籽粒和全株生物量。各施肥处理间茎和荚壳生物量无显著差异。

表 2 不同施肥处理对大豆生物量积累分配的影响

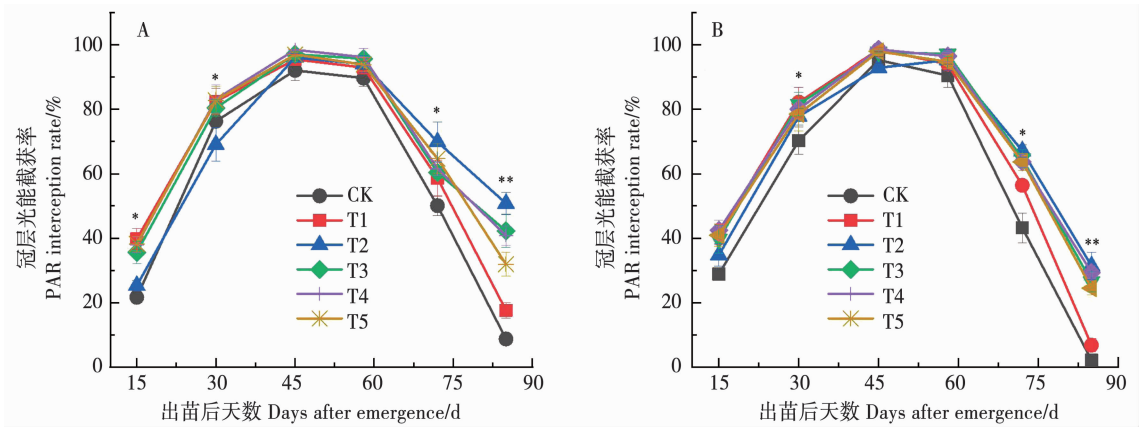
Table 2 Effects of different fertilization treatments on accumulation and distribution of soybean biomass

品种 Cultivar	施肥处理 Fertilizer treatment	茎秆重 Stem weight /(kg·hm <sup>-2</sup> )	荚壳重 Pod weight /(kg·hm <sup>-2</sup> )	籽粒重 Seed weight /(kg·hm <sup>-2</sup> )	全株重 Whole plant weight /(kg·hm <sup>-2</sup> )	收获指数 Harvest index
皖豆 37	CK	1583.0 b	727.6 b	2164.3 c	4474.9 d	0.48 a
Wandou 37	T1	1858.0 a	972.6 a	2704.2 b	5534.8 bc	0.49 a
	T2	1876.4 a	946.4 a	2859.5 a	5682.3 b	0.50 a
	T3	1908.4 a	894.6 a	2965.5 a	5768.6 ab	0.51 a
	T4	1987.9 a	908.1 a	3002.4 a	5898.3 a	0.51 a
	T5	1918.9 a	872.2 a	2906.9 a	5698.0 ab	0.51 a
中黄 13	CK	1622.6 b	740.6 c	2181.8 c	4545.0 c	0.48 a
Zhonghuang 13	T1	1944.0 a	874.2 a	2486.5 b	5304.7 b	0.47 a
	T2	1952.8 a	852.9 a	2538.5 b	5344.2 b	0.47 a
	T3	2000.4 a	877.5 a	2603.3 ab	5481.2 a	0.47 a
	T4	1987.6 a	818.5 a	2702.5 a	5508.7 a	0.49 a
	T5	1940.3 a	855.8 a	2686.4 a	5482.5 a	0.49 a

2.3 不同施肥处理对大豆冠层光能截获率的影响

常规肥料处理大豆植株 15 ~ 45 d 冠层光能截获率高于控释肥处理,但 45 ~ 85 d 光能截获率快速下降。控释肥处理早期冠层光能截获率低于常规肥料处理,但 45 d 后冠层光能截获率下降缓慢。而

常规肥和控释肥配施处理在整个生育期的冠层光能截获率都处于较高的水平。其中 T4 处理在整个生育期冠层光能截获率较高,T4 处理下皖豆 37 和中黄 13 全生育期平均冠层光能截获率分别为 68.5% 和 68.7%,分别较常规肥料处理增加 5.2% 和 5.3%,较控释肥处理增加 2.0% 和 1.9% (图 1)。



\* 和 \*\* 分别表示在 5% 和 1% 水平差异显著;A: 皖豆 37; B: 中黄 13。  
\* and \*\* represents significant difference at the 5% and 1% levels, respectively; A:Wandou 37; B:Zhonghuang 13.

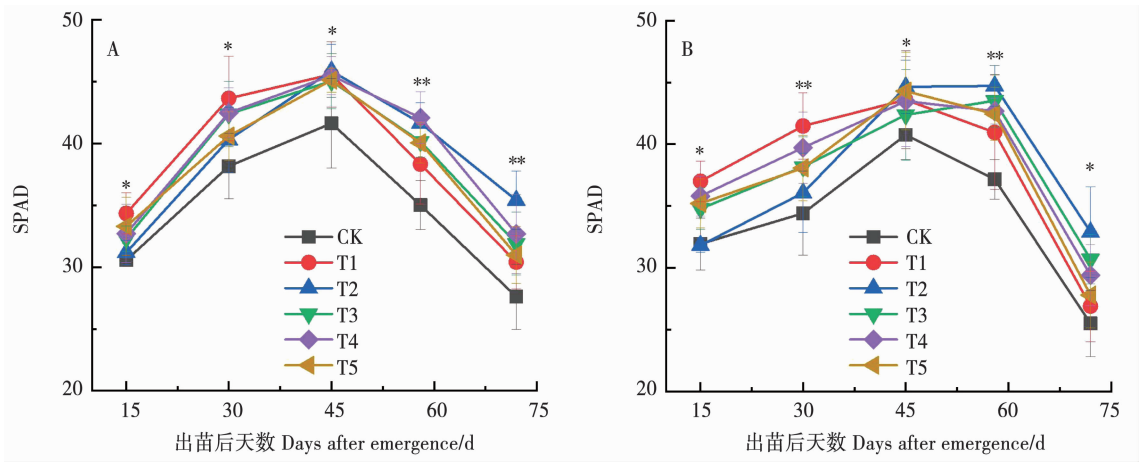
图 1 不同施肥处理下大豆光能截获率的动态变化

Fig. 1 The dynamic change of soybean FPR interception under different fertilizer treatments

2.4 不同施肥处理对大豆叶片 SPAD 动态变化的影响

不同施肥处理下大豆叶片 SPAD 均随生育进程呈先增后降的变化趋势(图 2),常规肥料处理 15 ~ 45 d 叶片 SPAD 高于其它处理,但 45 d 后叶片

SPAD 快速下降。控释肥处理 45 d 前叶片 SPAD 低于常规肥料处理,但处理 45 d 后植株衰老缓慢叶片 SPAD 高于常规肥料处理。常规肥和控释肥配施处理下大豆在整个生育期叶片 SPAD 都处于较高水平,其中 T4 和 T2 处理最高。



A: 皖豆 37; B: 中黄 13。  
A: Wandou 37; B: Zhonghuang 13.

图 2 不同施肥处理的大豆叶片 SPAD 动态变化

Fig. 2 The dynamic change of soybean leaf SPAD under different fertilizer treatments

2.5 不同施肥处理对大豆经济效益的影响

皖豆 37 和中黄 13 施肥处理较对照增收 1 488.1 ~ 4 434.9 元·hm<sup>-2</sup>。施用控释肥增加了肥料成本,但提高了大豆产量,最终控释肥处理(T2)较常规处理增收 416.7 ~ 595.6 元·hm<sup>-2</sup>;皖豆 37 和

中黄 13 控释肥和常规肥配施比控释肥处理增收 377.8 ~ 795.4 元·hm<sup>-2</sup> 和 316.5 ~ 801.3 元·hm<sup>-2</sup>; T4 处理效益最好,中黄 13 为 15 004.7 元·hm<sup>-2</sup>,较常规施肥增收 1 212.1 元·hm<sup>-2</sup>;皖豆 37 为 13 540.4 元·hm<sup>-2</sup>,较常规施肥增收 1 396.9 元·hm<sup>-2</sup>(表 3)。

表 3 不同施肥处理的大豆经济效益分析

Table 3 Analysis on economic benefits of soybean under different fertilization treatments (元·hm<sup>-2</sup>)

品种 Cultivar	施肥处理 Fertilizer treatment	肥料成本 Fertilizer cost	比常规施肥节本 Cost savings compared with conventional fertilization	大豆产值 Output value of soybean	比常规施肥增收 Increased income compared with conventional fertilization
皖豆 37 Wandou 37	CK	0	117.0	10569.8	-3222.8
	T1	117.0	0	13792.6	0
	T2	121.5	4.5	14209.3	416.7
	T3	118.4	1.4	14726.8	934.2
	T4	119.3	2.3	15004.7	1212.1
	T5	120.2	3.2	14587.2	794.5
中黄 13 Zhonghuang 13	CK	0	117.0	10655.3	-1488.2
	T1	117.0	0	12143.4	0
	T2	121.5	4.5	12739.1	595.6
	T3	118.4	1.4	13055.6	912.2
	T4	119.3	2.3	13540.4	1396.9
	T5	120.2	3.2	13217.5	1074.0

3 讨 论

本研究分析了控释肥和常规肥料不同配施处理对大豆产量、生物量积累分配、冠层光能截获率、叶片 SPAD 及经济效益的影响。结果表明:在同等施肥量条件下,控释肥和常规肥配合施用的大豆增产效果要优于单独施用控释肥或常规肥。这与张木等<sup>[13]</sup>在应用一次性施肥在水稻上研究结果相同,在水稻上配施较单施显著增产 2.5%~5.6%,其中 50% 控释肥 + 50% 常规肥搭配施用增产最高。本研究对产量构成因子进行的分析发现控释肥配施增产主要由单株粒数和单株荚数提高造成。因此,在保正百粒重的基础上,提高或保持足够的单株荚数和单株粒数成为大豆增产的关键<sup>[14]</sup>。

充足的生物量积累是作物高产形成的基础<sup>[15]</sup>。合理的氮肥运筹可以有效的提高作物叶片的光合性能,降低叶片的衰老速度,进而提高作物产量<sup>[16]</sup>。本研究中,控释肥和常规肥料配合施用,大豆生育期间叶片 SPAD 和冠层光能截获率均维持在较高的水平,说明控释肥和常规肥料配合施用延缓了后期早衰,保持较长的功能期,进而提高大豆光合速率。

前人研究发现,缓释肥和普通尿素配施较常规施肥处理可获得较高的玉米生物量,为玉米高产奠定基础<sup>[17]</sup>。本研究发现 50% 控释肥 + 50% 常规肥配施处理的全株生物量最高。作物的生物量由冠层截获的光能和辐射利用效率决定,光能资源的有效利用是作物获得高产至关重要的因素<sup>[18]</sup>。本研

究结果表明 50% 控释肥 + 50% 常规肥配施处理下全生育期冠层光能截获率最高,这就保证了群体对光能的有效截获和利用,为高产形成奠定了物质基础。

生产成本和经济效益是农业生产中的决定性因素<sup>[19]</sup>。在春玉米研究中同样发现,不同缓释肥和尿素配施能增加作物产量,提高农户的经济效益<sup>[20]</sup>。本研究中,与常规施肥相比,施用控释肥处理的生产成本略有增加,但大豆产量增加导致最终效益增加。因此,从经济效益来讲,50% 控释肥 + 50% 常规肥配施可以作为该地区一种行之有效的肥料配施方式。未来实际生产中配施比例、肥料用量还应考虑土壤基础地力、前茬残留、降雨等综合因素。

4 结 论

与常规肥料和控释肥一次性基施相比,控释肥与常规肥料配施能够提高大豆的产量、光合辐射截获和干物质生产和经济效益。其中以 50% 控释肥 + 50% 常规肥配施处理表现最好,可作为当前生产条件下黄淮地区大豆生产的高产高效的推荐施肥方式。

参考文献

[1] 张彦威,刘国峰,李伟,等. 黄淮海地区大豆种质资源耐盐性鉴定[J]. 山东农业科学, 2018, 50(11): 33-36. (Zhang Y W, Liu G F, Li W, et al. Identification on salt tolerance of

soybean germplasms in Huang-Huai-Hai region [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(11): 33-36. )

[2] 冯丽娟. 大豆需肥规律及科学施肥技术[J]. 现代化农业, 2019(1): 23-24. (Feng L J. Soybean fertilizer law and scientific fertilization technology[J]. Modernizing Agriculture, 2019(1): 23-24. )

[3] 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(5): 15-19. (Tian Y H, Liu Y Y, Zhang W Z, et al. Effect of N fertilization at different stage on nitrogenase activity and yield of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008(5): 15-19. )

[4] 蒋迁, 李磊, 张凤路, 等. 控失肥与普通化肥对夏玉米养分积累与生长发育的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(4): 199-205. (Jiang Q, Li L, Zhang F L, et al. Effects of loss control and conventional fertilizer on nutrient accumulation and growth and development of summer maize [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2016, 31(4): 199-205. )

[5] 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. )

[6] 蒋利, 雍太文, 张群, 等. 种植模式和施氮水平对大豆花荚脱落及产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(5): 843-849. (Jiang L, Yong T W, Zhang Q, et al. Effect of different planting patterns and N application rates on abscission of flower and pod of soybean and yield [J]. Soybean Science, 2015, 34(5): 843-849. )

[7] 董庆玲, 娄焕昌, 张慧, 等. 普通和控释尿素配合深施提高冬小麦花期旗叶光合性能与氮素利用效率[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(7): 1134-1145. (Dong Q L, Lou H C, Zhang H, et al. Improving photosynthetic efficiency of flag leaves at anthesis stage and nitrogen utilization of winter wheat by deep placement of common and control-released urea mixture [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(7): 1134-1145. )

[8] 姜宝雷. 控释肥对茄果类蔬菜养分动态变化及品质的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005. (Jiang B L. Effects of controlled-release fertilizers on nutrient dynamics and quality of jacket vegetables[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2005. )

[9] 陈宏坤, 李博. 掺混型控释肥对棉花产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(3): 213-217. (Chen H K, Li B. Effect of slow/controlled-release fertilizer on cotton yield and apparent N recovery rates [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(3): 213-217. )

[10] 李伟, 李絮花, 李海燕, 等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(4): 699-706. (Li W, Li X H, Li H Y, et al. Effects of different mixing rates of controlled-release urea and common urea on grain yield and nitrogen use efficiency of summer maize [J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(4): 699-706. )

[11] 司贤宗, 韩燕来, 王宜伦, 等. 缓释氮肥与普通尿素配施提高冬小麦-夏玉米施肥效果的研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(7): 1390-1398. (Si X Z, Han Y L, Wang Y L, et al. Improving nitrogen use efficiency by combined use of slow release nitrogen fertilizer with urea for high yielding winter wheat-summer maize rotation system [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(7): 1390-1398. )

[12] 谭征. 氮素调控对大豆群体质量的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009. (Tan Z. Effect of nitrogen regulation on soybean population quality [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009. )

[13] 张木, 唐拴虎, 黄旭, 等. 一次性施肥对水稻产量及养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(3): 1-7. (Zhang M, Tang S H, Huang X, et al. Effects of single basal fertilizer application on yield and nutrient absorption of rice [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(3): 1-7. )

[14] Board J E, Tan Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number [J]. Crop Science, 1995, 35(3): 846-851.

[15] Lindquist J L, Arkebauer T G, Walters D T, et al. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions [J]. Agronomy Journal, 2005, 97: 72-78.

[16] 杜祥备, 王家宝, 刘小平, 等. 减氮运筹对甘薯光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1253-1260. (Du X B, Wang J B, Liu X P, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction management on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of sweet potato [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(4): 1253-1260. )

[17] 袁雪娇, 杨恒山, 张玉芹, 等. 缓释肥对春玉米干物质积累及转运的影响[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2018, 33(1): 40-44. (Yuan X J, Yang H S, Zhang Y Q, et al. Effects of slow release fertilizer on accumulation and translocation of dry matter in spring maize [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities (Natural Sciences), 2018, 33(1): 40-44. )

[18] Liu T D, Song F B, Liu S Q, et al. Light interception and radiation use efficiency response to narrow-wide row planting patterns in maize [J]. Austrian Journal of Crop Science, 2012, 6(3): 506-513.

[19] Hoagland L, Hodges L, Helmers G A, et al. Labor availability in an integrated agricultural system [J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2010, 34(5): 532-548.

[20] 胡迎春. 氮肥减量下缓释肥和尿素配施对黄土高原春玉米生长发育和效益的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019. (Hu Y C. Effects of slow release fertilizer and urea on growth and benefit of loess plateau spring maize under nitrogen fertilizer reduction [D]. Yangling: Northwest A & F University of Science and Technology, 2019. )