



缓释 N 肥对一年三熟“玉米—大豆”间套作体系农艺性状、产量及效益影响

汤复跃, 韦清源, 陈文杰, 郭小红, 梁江, 陈渊

(广西农业科学院 经济作物研究所/国家大豆产业技术体系南宁综合试验站, 广西南宁 530007)

摘要:为给一年三熟“春玉米 || 春大豆/夏大豆”持续高产高效的生产目标提供理论和技术依据,采用“玉米—大豆”宽窄行种植模式,单因素随机区组设计,以大田施肥为对照(CK),缓释 N 肥一次性施 450,300 和 150 kg·hm⁻² 3 个处理(T₁~T₃),通过农艺性状、产量和效益等指标对施肥体系进行评定。结果表明:施用缓释 N 肥,春大豆生育期推迟 7 d,春大豆、夏大豆单株荚数和单株粒数增加,春玉米株高变矮,行粒数减少;春大豆单产显著提高 20.81%~27.67%、春玉米减产 0.79%~18.33%、夏大豆单产变化幅度为 -1.80%~4.54%、总产量变化幅度为 -8.11%~0.81%、总产值提高 0.20%~2.10%、经济效益显著提高 13.25%~14.15%。随缓释 N 肥施用量的减少,各作物生育期无变化,春大豆、夏大豆单株荚数、单株粒数增多,春玉米株高、穗长、穗行数、行粒数和千粒重降低;显著降低玉米单产和总产,但提高春大豆、夏大豆产量和综合经济效益。缓释 N 肥一次性施肥虽然不能使各作物同时增产,但是生态效益和经济效益得到提高。T₁ 处理春玉米减产最少,为 0.79%,差异不显著,玉米和大豆总产量增加,经济效益显著增加,该施肥方式可在广西推广应用。

关键词:广西; 玉米—大豆; 间套作; 缓释 N 肥; 产量; 效益

Effects on Agronomic Traits, Yield and Benefit of One-Year Triple Cropping ‘Corn—Soybean’ Intercropping System Under Slow-Release N Fertilizer

TANG Fu-yue, WEI Qing-yuan, CHEN Wen-jie, GOU Xiao-hong, LIANG Jiang, CHEN Yuan

(Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Nanning Comprehensive Station of Nation Soybean Industry Technology, Nanning 530007, China)

Abstract: In order to provide theoretical and technical basis for the sustainable high yield and efficiency production goal of ‘spring corn || spring soybean/summer soybean’ of triple crops in one year, random block design with single factor of fertilizer were adopted under the ‘corn—soybean’ wide and narrow row planting mode in this field experiment. Taking the field fertilization as the control(CK), the slow-release N fertilizer was applied in three treatments (T₁ - T₃) of 450, 300 and 150 kg·ha⁻¹ at a time. Slow release N fertilizer and reduced N application were used to evaluate ‘spring corn || spring soybean/summer soybean’ intercropping system through different quantitative indicators such as agronomy characters, yield and benefit. The results showed that, the application of slow-release N fertilizer the growth stage was delayed for 7 d, pods and seeds per plant increased of spring soybean. The plant height was shortened and the kernels per row decreased of spring maize. The yield of spring soybean increased significantly between 20.81% and 27.67%, the spring corn decreased between 0.79% and 18.33%, summer soybean ranged between -1.80% and 4.54%, the total yield ranged between -8.11% and 0.81%, the total output value increased between 0.20% and 2.10%, and the economic benefit significantly increased between 13.25% and 14.15%. As the N application gone down, there was no change in the growth stage of all crops. Pods and seeds per plant of spring and summer soybean increased. The plant height, ear length, row per ear, seeds per row and 1 000-grain weight of spring maize decreased. The yield of spring corn and total yield were significantly reduced, but the yield of spring soybean, summer soybean and comprehensive economic benefit were increased. Though the slow-release N fertilizer can not meet all goals of increasing yield, but the ecological benefit and economic benefit increased. The yield of spring corn was reduced by 0.79% in T₁ treatment, with the least and no obvious reduction, and the total yield of soybean and corn increased and the economic benefit increased significantly, which could be popularized and applied in Guangxi.

Keywords: Guangxi; Mazie - soybean; Intercropping; Slow-release N fertilizer; Yield; Benefit

收稿日期:2020-02-18

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-CES30);广西重点研发计划(桂科 AB16380097,桂科 AB18221057);广西农业科学院基本业务费项目(桂农科 2020YM118)。

第一作者简介:汤复跃(1984-),男,硕士,副研究员,主要从事大豆育种和栽培研究。E-mail:tfy0130@163.com。

通讯作者:陈渊(1971-),男,硕士,研究员,主要从事大豆育种和栽培研究。E-mail:chenyuan500@126.com。

间套作是广西大豆最为主要的种植模式,其中“春玉米/夏大豆”套种模式占 2/3 以上,但不能采用机械播种。近年来,广西集成创新发展了一种集“豆科 || 禾本科”间作和“禾本科/豆科”套作 2 种体系为一体的一年三熟“玉米—大豆”带状复合新型间套作模式,即玉米宽行 160 cm,窄行 40 cm,玉米宽行中间种 3 行春大豆,在春大豆收获后、春玉米收获前 15 d 左右于玉米宽行中免耕套种 3 行夏大豆,因解决了传统的“春玉米/夏大豆”不能机械作业的问题,该模式土地产出和资源利用效率高而推广应用^[1-5]。目前其新型间套作模式大田生产 N 肥施用量、施肥时期同春玉米单作相比,存在施肥次数多、后期施肥操作不便和过量施肥问题。缓释 N 肥在土壤中释放速度缓慢且可减少 N 素在土壤中的损失,可减少 N 肥养分施用并可一次性施入而减少施肥次数、节省劳力和种植成本^[6-9]。间套作在肥料高效吸收利用等方面都表现出较单作无法比拟的优势^[10-14],大豆对 N 素敏感,但 N 肥却是玉米产量最为重要的限制因子,过量施肥不仅降低肥料利用效率、导致土壤养分失衡,而且由此会带来日趋严峻的水体富营养化等问题^[15-17]。因此在不断提高土地产出和资源利用效率、保障粮食安全稳定发展的同时,如何降低肥料对环境的负面影响、提高肥料利用率及简便施肥提高生产效率是目前迫切需要解决的问题。

近年来,围绕大豆间套作 N 肥利用、增产、增效机理和一次性简便施肥进行的研究很多。西南地区 2 年 3 熟“小麦/玉米/大豆”套作体系研究表明,其套作体系更有利于大豆籽粒蛋白质的积累,能更好地将大豆茎、荚中氮、磷、钾向籽粒转运,提高玉米、大豆地上部植株吸 N 量及 N、P 利用效率;适量施氮肥可以促进玉米/大豆对土壤中氮素的吸收,实现节能增效^[14,18-20]。西北地区的一年二熟“大豆/马铃薯”套作体系研究表明,其体系可提高土壤有机质含量、促进土壤微生物活性和酶活性、有效改善土壤微生物结构、显著提高作物对 N 的高效利用,随 N 水平递增群体产量先增后减^[13,21-22]。施用缓释肥较普通复合肥或专用肥有利于改善玉米生物性状,提高干物质积累和玉米各器官 N、P、K 养分含量和高效分配;提高大豆单产和 N 的利用率,同时能改善大豆的品质,减少瘪荚、瘪粒率^[6-9,23]。

近年来,广西发展的一年三熟“玉米—大豆”带

状新型间套作研究表明,大豆与紧凑型或半紧凑型玉米宽窄行种植,群体总产量、总 LER、IE 值最大,社会效益、生态效益和经济效益最好,总产量、总产值显著高于一年两熟“春玉米/夏大豆”套种、“春玉米—夏大豆”和“春大豆—夏大豆”轮作等其它种植模式^[2,5,24]。目前其间套作体系大田生产 N 肥施用存在施肥次数多、后期施肥操作不便和过量施肥问题,对于这种新型间套种模式的 N 肥利用和简便施肥等尚未研究。因此,本研究一次性施入不同量缓释 N 肥,通过农艺性状、产量和效益等量化指标对施肥体系进行评定,探讨该间套作体系玉米和大豆总产、经济效益和生态效益综合较好的施肥措施,为该间套作体系高效合理施肥及持续高产的生产目标提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

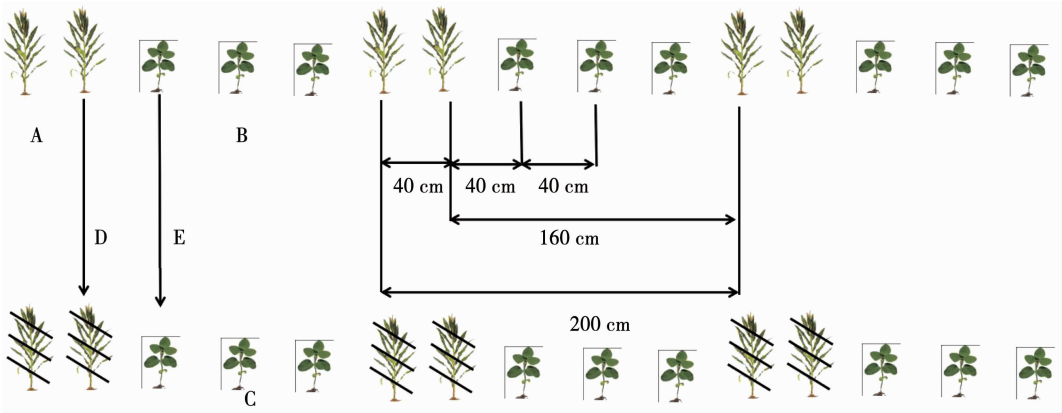
试验于 2017 年在广西南宁市广西农业科学院明阳基地(22°61'N,108°25'E)实施。土壤为赤红壤,播种前耕层(0~20 cm)混合土样 pH6.8,有机质含量 11.9 g·kg⁻¹,全氮含量 0.053%,全磷含量 0.106%,全钾含量 0.17%,碱解氮含量 51 mg·kg⁻¹,有效磷含量 6.4 mg·kg⁻¹,速效钾含量 114 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

供试大豆品种选用广西农业科学院经济作物研究所选育的春大豆品种桂春 16 号和夏大豆品种桂夏 7 号;春玉米品种选用襄阳冠智林科技有限公司选育的半紧凑型品种宜单 629。缓释 N 肥使用加拿大汉枫缓释肥料(山西)有限公司生产的硫包衣尿素(N≥37%,S10%),由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所提供;复合肥(15:15:15)、尿素(含 N 46%)、氯化钾(含 K 60%)和钙镁磷肥(含 P 18%)均购于当地农资市场。

1.3 试验设计

采用“春玉米 || 春大豆/夏大豆”宽窄行种植模式,即玉米宽行 160 cm,窄行 40 cm,玉米宽行中间种 3 行春大豆。在春大豆收获后,于春玉米收获前 15 d 左右,在玉米宽行中免耕套种 3 行夏大豆,大豆与玉米间距 40 cm,大豆行距 40 cm,玉米穴距 20 cm,每穴留苗 1 株,大豆穴距 20 cm,每穴留 3 株,春玉米收获后秸秆田间覆盖。



A: 春玉米;B: 春大豆;C: 夏大豆;D: 春玉米收获后秸秆田间覆盖;E: 春玉米收获前 15 d 左右宽行中免耕套种夏大豆。
A: Spring corn;B: Spring soybean;C: Summer soybean;D: Straw field covering after spring corn harvest;E: Conducted no-tillage interplanting of summer soybeans in a wide row about 15 d before the spring corn harvest.

图 1 “春玉米 || 春大豆/夏大豆”田间布置示意图

Fig. 1 Experimental plots arrangement of ‘spring maize || spring soybean/summer soybean’ intercropping

采用单因素随机区组设计,设 4 个施肥处理,3 次重复,“春玉米 || 春大豆”施肥位点距离玉米 25 cm 处左右,后期“春玉米/夏大豆”不施肥,每个小区种植 3 个宽窄行,3 次重复,小区面积 30 m² (5 m×6 m)。以“春玉米 || 春大豆/夏大豆”大田施肥量为对照 (CK): 基肥施用复合肥 (15:15:15) 300 kg·hm⁻²,氯化钾 150 kg·hm⁻²,钙镁磷肥 150 kg·hm⁻²;玉米苗肥施尿素 150 kg·hm⁻²,复合肥 75 kg·hm⁻²;玉米大喇叭口期施复合肥 (15:15:15) 375 kg·hm⁻²;T₁、T₂ 和 T₃ 为 3 个不同 N 素施用量,其中 T₂ 和 T₃ 较 T₁ 减施 N 肥 33.33% 和 66.67%,分别于播种时一次性施缓释 N 肥 450,300 和 150 kg·hm⁻² (表 1)。春玉米、春大豆于 2017 年 3 月 10 日同时播种,春大豆于 6 月 9 日 (CK) 和 16 日 (T₁、T₂ 和 T₃) 收获,春玉米于 7 月 11 日收获,夏大豆于 6 月 27 日播种,夏大豆于 10 月 18 日收获。其它栽培管理同大田生产。

表 1 不同施肥处理肥料使用组成

Table 1 Application composition of fertilizer in different fertilization treatments (kg·hm⁻²)

处理 Treatment	氮 N	钾 K	磷 P	总 Total
CK	181.5	202.5	139.5	523.5
T ₁	166.5	0	0	166.5
T ₂	111.0	0	0	111.0
T ₃	55.5	0	0	55.5

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生育期 田间记载春玉米、春大豆、夏大豆生育期。

1.4.2 农艺性状调查 分别于玉米、大豆成熟期,在每个小区中间一个宽窄行连续取样,玉米 7 株、大豆 10 株,调查玉米穗长、穗粗、穗行数、行粒数和千粒重。调查大豆株高、底荚高、主茎节数、分枝数、单株有效荚数、单株粒数和百粒重。

1.4.3 产量测定 分别于春玉米、春大豆和夏大豆成熟期,每个小区取中间同一个宽窄行 10 m²,测定春玉米、春大豆和夏大豆籽粒产量,并折算为公顷产量;群体产量 = 春玉米产量 + 春大豆产量 + 夏大豆产量,即同一地块玉米、大豆产量之和。

1.4.4 经济效益 经济效益 = 总产值 - 投入总成本。其中投入总成本包括种子、化肥和劳工费用。各项投入和收益均按当地当年水平计算。其中种子处理费 1 650 元·hm⁻² (春玉米 900 元·hm⁻²,春大豆 375 元·hm⁻²,夏大豆 375 元·hm⁻²);T₁ 所需劳工 105 d·hm⁻²,T₂ ~ T₄ 因缓释肥料为一次性施肥,施肥较 T₁ 减少 15 d·hm⁻²,所需劳工为 90 d·hm⁻²;劳工 100 元·d⁻¹,复合肥 (15:15:15) 2.5 元·kg⁻¹,氯化钾 2.6 元·hm⁻²,钙镁磷肥 1.8 元·kg⁻¹,尿素 2.0 元·kg⁻¹,缓释肥料 3.0 元·kg⁻¹;大豆收购价 6.0 元·kg⁻¹,玉米收购价 1.8 元·kg⁻¹。

1.5 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 缓释 N 肥对“春玉米 || 春大豆/夏大豆”体系生育期的影响

由表 2 看出,春玉米、夏大豆生育期 $T_1 = T_2 = T_3 = CK$;春大豆生育期 $T_1 = T_2 = T_3 > CK$,生育期推迟 7 d,差异不显著。前期研究表明常规 N、P、K 减施对一年三熟“春玉米 || 春大豆/夏大豆”体系玉米、大豆生育期无影响^[25],本研究表明施用缓释 N 肥可推迟一年三熟“春玉米 || 春大豆/夏大豆”体系春大豆成熟,减施不同量氮肥对各作物生育期影响程度相同。

表 2 缓释 N 肥对“春玉米 || 春大豆/夏大豆”体系生育期影响

Table 2 Comparison of growth stage under different fertilizer treatments slow-release N fertilizer			
处理 Treatment	生育期 Growth stage/d		
	春大豆	春玉米	夏大豆
	Spring soybean	Spring maize	Summer soybean
CK	87 a	117 a	97 a
T ₁	94 a	117 a	97 a
T ₂	94 a	117 a	97 a
T ₃	94 a	117 a	97 a

同列不同字母表示在处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。
Values within a column followed by different letters indicate significant difference at $P < 0.05$. The same below.

2.2 缓释 N 肥对“春玉米 || 春大豆/夏大豆”体系田间农艺性状及产量构成因素的影响

2.2.1 对春大豆田间农艺性状及产量构成因素的影响 从植株形态来看,春大豆株高 $CK > T_1 > T_2 > T_3$,底荚高 $T_1 > CK > T_3 > T_2$,有效分枝 $CK > (T_1 =$

$T_3) > T_2$,差异不显著;主茎节数 $CK > T_2 > (T_1 = T_3)$,CK 显著高于 T_1 和 T_3 ,其它处理间差异不显著。从产量性状来看,春大豆单株荚数、单株粒数表现为 $T_3 > T_2 > T_1 > CK$,T 处理显著高于 CK,T 处理间差异不显著;百粒重 $CK > T_2 > T_1 > T_3$,CK 显著高于 T_3 (表 3)。说明施用缓释 N 肥后,春大豆株高、底荚高变矮,有效分枝、百粒重减少,单株荚数、单株粒数显著增加; T_2 和 T_3 处理较 T_1 处理春大豆株高变矮、单株荚数和单株粒数增多。

2.2.2 对春玉米田间农艺性状及产量构成因素的影响 由表 4 可知,春玉米株高和穗行数 $CK > T_1 > T_2 > T_3$,其中株高 CK 显著高于 T_2 和 T_3 ,穗行数 CK 和 T_1 显著多于 T_2 和 T_3 ,穗长和行粒数 $T_1 > CK > T_2 > T_3$,其中穗长 T_2 和 T_3 显著小于 T_1 和 CK,行粒数 CK 和 T_1 显著多于 T_3 ;穗粗($CK = T_1 = T_2$) $> T_3$, T_3 显著小于其它处理;千粒重 $T_1 > CK > T_2 > T_3$,差异不显著。表明施用缓释 N 肥,春玉米株高变矮,行粒数减少; T_2 和 T_3 处理较 T_1 处理春玉米株高、穗长、穗行数、行粒数和千粒重逐渐降低,说明玉米对肥料的需求较大。

2.2.3 对夏大豆田间农艺性状及产量构成因素的影响 从植株形态来看,夏大豆株高 $T_1 > CK > T_3 > T_2$,底荚高 $T_1 > T_2 > CK > T_3$,主茎节数 $T_3 > T_2 > (T_1 = CK)$,有效分枝 $T_3 > (T_2 = CK) > T_1$,差异不显著。从产量性状来看,夏大豆单株荚数、单株粒数 $T_3 > T_2 > T_1 > CK$,其中单株粒数 T_3 显著高于 T_1 和 CK;百粒重无变化(表 5)。说明施用缓释 N 肥,夏大豆株高增高、主茎节数变多,单株荚数、单株粒数增加; T_2 和 T_3 处理较 T_1 处理夏大豆底荚高变矮、主茎节数、有效分枝数、单株荚数和单株粒数增多。

表 3 缓释 N 肥对春大豆田间农艺性状及产量构成要素的影响

Table 3 Effects of slow-release N fertilizer on agronomic traits of spring soybean and its yield component							
处理 Treatment	株高 Plant height/cm	底荚高度 Bottom pod height/cm	主茎节数 Node number	有效分枝数 Branch number	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100-seed weight/g
CK	56.8 a	15.3 a	10.7 a	2.3 a	21.8 b	44.4b	20.87 a
T ₁	53.4 a	15.8 a	10.0 b	2.1 a	23.2 a	51.8 a	20.23 ab
T ₂	52.2 a	14.2 a	10.6 ab	2.0 a	23.7 a	52.6 a	20.83 ab
T ₃	48.7 a	14.3 a	10.0 b	2.1 a	24.2 a	56.4 a	20.00 b

表 4 缓释 N 肥对春玉米田间农艺性状及产量构成要素的影响

Table 4 Effects of slow-release N fertilizer on agronomic traits of spring maize and its yield component

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	穗长 Panicle length/cm	穗粗 Ear diameter/cm	穗行数 Row number per panicle	行粒数 Kernel number per row	千粒重 1000-grain weight/g
CK	2.37 a	17.8 a	4.87 a	15.6 a	35.1 a	338.80 a
T ₁	2.27 ab	18.0 a	4.87 a	15.5 a	35.2 a	340.60 a
T ₂	2.21 b	17.1 b	4.87 a	14.6 b	33.9 ab	326.34 a
T ₃	2.18 b	16.9 b	4.78 b	14.5 b	32.2 b	323.10 a

表 5 缓释 N 肥对夏大豆田间农艺性状及产量构成要素的影响

Table 5 Effects of slow-release N fertilizer on agronomic traits of summer soybean and its yield component

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	底荚高度 Bottom pod height/cm	主茎节数 Node number	有效分枝数 Branch number	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数 Seed number per plant	百粒重 100-seed weight/g
CK	73.8 a	19.1 a	14.7 a	5.6 a	86.4 a	186.0 b	18.3 a
T ₁	74.8 a	20.0 a	14.7 a	5.3 a	89.9 a	186.3 b	18.3 a
T ₂	71.4 a	19.4 a	14.8 a	5.6 a	95.8 a	195.0 ab	18.3 a
T ₃	73.4 a	18.7 a	15.0 a	5.8 a	104.8 a	221.7 a	18.3 a

2.3 缓释 N 肥群体产量和产出效益比较

2.3.1 产量比较 由表 6 可知,施用缓释 N 肥春玉米单产降低,T₁~T₃ 处理较 CK 减产幅度分别为 0.79%、8.43% 和 18.33%,随缓释 N 肥施用量的减少,春玉米单产显著降低;春大豆单产显著提高,增产幅度分别为 20.81%、21.54% 和 27.67%。说明间作时春玉米与春大豆存在竞争关系,且春玉米竞争力高于春大豆。夏大豆单产 T₃>T₂>CK>T₁,T₂ 和 T₃ 较 CK 分别增产 2.54% 和 4.54%,随缓释 N 肥施用量的减少夏大豆产量提高。总产量表现为 T₁>CK>T₂>T₃,T₁ 较 CK 增产 0.81%,T₂ 和 T₃ 总产量分别较 CK 减产 2.85% 和 8.11%。

2.3.2 产出效益比较 各处理总产值 T₁>T₂>

T₃>CK,分别较 CK 提高 2.10%、1.70% 和 0.20%,差异不显著。经济效益 T₂>T₃>T₁>CK,由于缓释 N 肥一次性施肥和施肥量减少,肥料和劳务成本降低,经济效益分别显著提高 13.25%、14.15% 和 13.42%。综合分析表明 T₁ 处理下“春玉米||春大豆/夏大豆”体系总体产出效益最优。

以上结果表明,随缓释 N 肥施用量的减少,春大豆和夏大豆单产提高,但玉米单产显著降低,因玉米单位面积单产与大豆差异较大,总产显著降低。缓释 N 肥并不能同时满足各作物增产的要求,但适宜的施肥量可以保证主体作物玉米减产不明显,春大豆明显增产而实现粮食总产提高进而达到生态友好、经济效益显著增收等多目标要求。

表 6 缓释 N 肥对“春玉米||春大豆/夏大豆”群体的产量和经济效益的影响

Table 6 Effects of slow-release N fertilizer on economic benefits and yield of ‘spring maize || spring soybean/summer soybean’ intercropping

处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm ⁻²)				总产值 Gross output /(元·hm ⁻²)	投入成本 Input cost/(元·hm ⁻²)				经济效益 Economic benefit /(元·hm ⁻²)
	春大豆 Spring soybean	春玉米 Spring maize	夏大豆 Summer soybean	总计 Total		种子 Seed	肥料 Fertilizer	劳工 Labour	总计 Total	
CK	1165.5 b	8635.0 a	3676.5 ab	13477.0 ab	44595 a	1650	2835	10500	14985	29610 b
T ₁	1408.0 a	8567.0 a	3610.5 b	13585.5 a	45532 a	1650	1350	9000	12000	33532 a
T ₂	1416.5 a	7906.8 b	3770.0 ab	13093.3 b	45351 a	1650	900	9000	11550	33801 a
T ₃	1488.0 a	7052.5 c	3843.5 a	12384.0 c	44683 a	1650	450	9000	11100	33583 a

3 讨 论

目前广西一年三熟“玉米—大豆”带状复合体系大田生产 N 肥施用存在施肥次数多、后期施肥操作不便和过量施肥问题,一次性施用缓释 N 肥可减少 N 肥养分施用量,并可减少施肥次数、节省劳力和种植成本。大豆对 N 素敏感, N 素又是玉米产量最为重要的限制因子^[16],大豆玉米间套作时,玉米与大豆之间存在强烈的种间竞争作用,适宜的施氮量可提高玉米/大豆对土壤中氮素的吸收,大豆通过根瘤固氮、氮素转移促进玉米氮素吸收,玉米通过大豆吸氮来刺激并提高大豆的根瘤固氮效率^[26-29]。陈远学等^[18]、周涛等^[30]研究表明,相比单作,“小麦/玉米/大豆”套作体系可提高玉米的氮肥吸收利用率和农学利用率,套作大豆更具有产量和营养优势;王科等^[31]研究表明,“小麦/玉米/大豆”套作体系玉米地上部生物量及籽粒产量均随施氮量的增加先增加后略有降低,氮肥吸收利用率及农学利用率均逐渐降低,土壤硝态氮含量随生育时期推进呈先增高后降低趋势;付智丹等^[19]研究表明,适宜的施氮量可调节玉米/大豆套作系统土壤氮素转化,促进玉米/大豆对土壤中氮素的吸收,实现节能增效;本研究表明,春季“春玉米 || 春大豆”系统一次性施缓释 N 肥时可显著提高春大豆单产、降低春玉米单产。 T_2 和 T_3 较 T_1 处理缓释 N 肥减施 33.33% 和 66.67% 后,玉米单产显著递减、大豆单产递增,其中玉米单产分别降低 7.71% 和 17.68%,春大豆单产分别提高 0.60% 和 5.68%,夏大豆单产分别提高 6.42% 和 6.45%,这与前人研究相呼应。本着为给生产上提供简单、便捷、绿色施肥方案的原则,本研究基于大田生产施肥,缓释肥处理中不施用 P、K,后续研究将对该新型带状复合体系春、夏大豆根瘤固 N、地上部 N 素、土壤中硝态 N 与玉米种间的相互转移、运行机理、P 肥间的平衡利用和春玉米秸秆及间作肥料对夏大豆增产增效机理等进行深入探讨研究,为此模式的高效施肥提供更好的科学理论支撑。

本研究表明,随施肥量的减少,春季“春玉米 || 春大豆”时,春大豆株高变矮、产量提高,与前人研究“玉米 || 大豆”时,在春大豆全生育期与春玉米共生时大豆株高变高、易倒伏、产量降低结果一致^[2,5,14,32]。施立科等^[33-34]研究表明,“大豆 || 甘

蔗”施用缓释肥料可以提高甘蔗产量和经济效益。本研究中一次性施缓释 N 肥时春大豆单产显著提高 20.81% ~ 27.67%、春玉米减产 0.79% ~ 18.33%、夏大豆单产变化 -1.80% ~ 4.54%,因大豆产量的提升弥补春玉米单产的下降,及肥料、劳务成本的降低,经济效益显著提高 13.25% ~ 14.15%,表明缓释 N 肥一次性施用具有明显的增产增效作用。本研究表明适宜的缓释 N 肥一次性施肥可以保证主体作物玉米减产不明显,大豆增产,从而实现粮食总产、生态友好、经济效益显著增收等多目标要求。

4 结 论

缓释 N 肥一次性施肥:春大豆生育期推迟 7 d,春大豆、夏大豆单株荚数和单株粒数增加,春玉米株高变矮,行粒数减少。春大豆单产显著提高 20.81% ~ 27.67%、春玉米减产 0.79% ~ 18.33%、夏大豆单产变化幅度为 -1.80% ~ 4.54%,玉米和大豆总产变化幅度为 -8.11% ~ 0.81%、总产值提高 0.20% ~ 2.10%、经济效益显著提高 13.25% ~ 14.15%。随缓释 N 肥施用量的减少,各作物生育期无变化,春大豆、夏大豆单株荚数、单株粒数增多。春玉米株高、穗长、穗行数、行粒数和千粒重降低。玉米单产和总产显著降低,但春大豆、夏大豆产量和综合经济效益提高。 T_1 处理主体作物春玉米减产最少,为 0.79%,差异不显著,玉米和大豆总产增产,经济效益显著增加,该施肥方式可在广西推广应用。

参考文献

- [1] 陈文杰,梁江,汤复跃,等. 适合与甘蔗间套种春大豆品种筛选初报[J]. 南方农业学报,2012,43(3):311-314. (Chen W J, Liang J, Tang F Y, et al. Preliminary report on screening of spring soybean varieties suitable for different intercropping modes with sugarcane[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(3): 311-314.)
- [2] 陈文杰,梁江,汤复跃,等. 广西春大豆与玉米不同间作模式效益分析[J]. 南方农业学报,2017,48(4):633-639. (Chen W J, Liang J, Tang F Y, et al. Benefit analysis for different spring soybean maize intercropping patterns in Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(4): 633-639.)
- [3] 汤复跃,陈渊,梁江,等. 大豆、木薯播期对间作大豆产量和主要农艺性状的影响[J]. 大豆科学,2012,31(3):395-398. (Tang F Y, Chen Y, Liang J, et al. Effect of sowing dates on

- soybean yield and main agronomic characters under soybean intercropping with cassava[J]. Soybean Science, 2012, 31(3): 395-398.)
- [4] 汤复跃,陈渊,韦清源,等. 玉米套种夏大豆不同模式对大豆产量的影响[J]. 南方农业学报, 2012, 43(7): 932-935. (Tang F Y, Chen Y, Wei Q Y, et al. Effect of different intercropping models for spring maize and summer soybean on soybean production[J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(7): 932-935.)
- [5] 汤复跃,韦清源,陈文杰,等. “春玉米||春大豆/夏大豆”群体产量、效益及其种间竞争力的评定[J]. 西南农业学报, 2019, 32(7): 1518-1523. (Tang F Y, Wei Q Y, Chen Y, et al. Evaluation on yield, benefit and interspecific competitiveness of ‘spring maize || spring soybean/summer soybean’ intercropping [J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2019, 32(7): 1518-1523.)
- [6] 谷洪军,孙伟国,王忠玉,等. 汉枫缓释肥料与大豆专用肥的对比试验[J]. 内蒙古农业科技, 2009(3): 34. (Gu H J, Shu W G, Wang Z Y, et al. Comparison of slow release fertilizer of Chinese maple and special fertilizer of soybean [J]. Inner Mongolia Agricultural Science And Technology, 2009(3): 34.)
- [7] 潘德斌,邵向阳. 硫包衣缓释尿素在大豆上应用效果[J]. 现代化农业, 2011, 385(8): 19. (Pan D B, Sao X Y. Effect of sulfur coating and sustained release urea on soybean [J]. Modernizing Agriculture, 2011, 385(8): 19.)
- [8] 王安臻,皇甫呈惠,高占,等. 缓控释肥对玉米氮磷钾养分分配及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2019, 51(12): 58-62. (Wang A Z, Huang F C H, Gao Z, et al. Effects of slow-controlled release fertilizer on nitrogen, phosphorus and potassium nutrient distribution and yield of maize [J]. Shandong Agriculture Sciences, 2019, 51(12): 58-62.)
- [9] 张秋英,刘晓冰,金剑,等. 缓释、控释肥料对大豆植株养分吸收及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 48-50. (Zhang Q Y, Liu X B, Jin J, et al. Effect of slow or controlled release fertilizer on nutrients absorption and yield in soybean plant [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(4): 48-50.)
- [10] Amosse C, Jeuffroy M H, Mary B, et al. Contribution of relay intercropping with legume cover crops on nitrogen dynamics in organic grain systems[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2017, 98: 1-14.
- [11] Li Q Z, Sun J H, Wei X J, et al. Over yielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with fababean, wheat and barleys[J]. Plant Soil, 2011, 339: 147-161.
- [12] 毛璐,宋春,徐敏,等. 栽培模式及施肥对玉米和大豆根际土壤磷素有效性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(12): 1502-1510. (Mao L, Song C, Xu M, et al. Effects of cropping patterns and fertilization on rhizosphere soil phosphorus availability of maize/soybean relay intercropping system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(12): 1502-1510.)
- [13] 唐明明,董楠,包兴国,等. 西北地区不同间套作模式养分吸收利用及其对产量优势的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(5): 48-56. (Tang M M, Dong N, Bao X G, et al. Effects of nutrient uptake and utilization on yield of intercropping systems in northwest China [J]. Journal of China Agricultural University, 2015, 20(5): 48-56.)
- [14] 雍太文,杨文钰,向达兵,等. 小麦/玉米/大豆套作的产量、氮营养表现及其种间竞争力的评定[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 50-58. (Yong T W, Yang W Y, Xiang D B, et al. Production and N nutrient performance of wheat-maize-soybean relay strip intercropping system and evaluation of interspecies competition [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(1): 50-58.)
- [15] Chen X P, Cui Z L, Fan M S, et al. Producing more grain with lower environmental costs [J]. Nature, 2014, 514(7523): 486-489.
- [16] 王晓巍,马欣,周连仁,等. 施氮对玉米产量和氮素积累及相关生理指标的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(5): 121-125. (Wang X W, Ma X, Zhou L R, et al. Effect of nitrogen fertilization on corn yield, nitrogen accumulation and physiology index [J]. Journal of Maize Science, 2012, 20(5): 121-125.)
- [17] Zheng J F, Zhang X H, Li L Q, et al. Effect of long-term fertilization on C mineralization and production of CH₄ and CO₂ under anaerobic incubation from bulk samples and particle size fractions of a typical paddy soil[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2017, 120(2-4): 129-138.
- [18] 陈远学,刘静,陈新平. 四川轮套作体系的干物质积累、产量及氮素利用效率研究[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(6): 68-79. (Chen Y X, Liu J, Chen X P, et al. Effects of nutrient uptake and utilization on yield of intercropping systems in northwest China [J]. Journal of China Agricultural University, 2013, 18(6): 68-79.)
- [19] 付智丹,周丽,陈平. 施氮量对玉米/大豆套作系统土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(10): 1463-1474. (Fu Z D, Zhou L, Chen P, et al. Effects of nitrogen application rate on soil microbial quantity and soil enzymes activities in maize/soybean intercropping systems [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(10): 1463-1474.)
- [20] 于晓波,苏本营,龚万灼. 玉米-大豆带状套作对大豆根瘤性状和固氮能力的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(9): 1743-1753. (Yu X B, Su B Y, Gong W Z. The nodule characteristics and nitrogen fixation of soybean in maize-soybean relay strip intercropping [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(9): 1743-1753.)
- [21] 陈光荣,王立明,杨如萍,等. 平衡施肥对马铃薯-大豆套作系统中作物产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 43(4): 596-607. (Chen G R, Wang L M, Yang R P, et al. Effect of balanced fertilizer application on crop yield in potato-soybean relay-cropping system [J]. Acta Agronomica Sinica, 43(4): 596-607.)
- [22] 陈光荣,王立明,杨如萍,等. 西北灌区薯/豆连续套作对系统

产量及土壤肥力的影响[J]. 草业学报,2017,26(10):46-55. (Chen G R, Wang L M, Yang R P, et al. Crop yield and soil fertility affected by continuous potato soybean intercropping systems along the yellow river[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(10):46-55.)

[23] 赵欢,张萌,秦松,等. 缓释肥减量施用对覆膜栽培玉米生物性状、干物质积累与养分分配的影响[J]. 玉米科学,2017,25(1):139-146. (Zhao X, Zhang M, Qing S, et al. Effects of controlled release fertilizer reduction in plastic mulching on biological characteristics, dry matter accumulation and distribution of nutrient content of maize[J]. Journal of Maize Sciences,2017, 25(1):139-146.)

[24] 汤复跃,陈文杰,韦清源,等. 不同行比配置和玉米株型对玉米大豆间种产量及效益影响[J]. 大豆科学,2019,38(5):726-732. (Tang F Y, Chen Y, Wei Q Y, et al. Effects of row ratio and maize plant type on yield and benefit of maize soybean intercropping[J]. Soybean Science,2019,38(5):726-732.)

[25] Tang F Y, Gou X H, Wei Q Y, et al. Effects on agronomic traits, yield and benefit of one-year triple cropping ‘maize-soybean’ strip intercropping system under reduced fertilizer application [J]. Agricultural Biotechnology, 2020, 9(3):101-112.

[26] 高聚林,王志刚,孙继颖,等. 青贮玉米对氮磷钾的吸收规律[J]. 作物学报,2006,32(3):363-368. (Gao J L, Wang Z G, Sun Z G, et al. Nitrogen, phosphorus and potassium absorption in ensilage maize [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2006, 32(3):363-368.)

[27] 李潮海,王群,梅沛沛,等. 不同质地土壤上玉米养分吸收和分配特征[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(4):561-568. (Li C H, Wang Q, Mei P P, et al. Characteristics of nutrient absorption and distribution of maize under different soil textures[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,2007,13(4):561-568.)

[28] 李隆. 间作物种间促进与竞争使用研究[D]. 北京:中国农业大学,1999. (Li L. Study on inter-species promotion and competitive use of intercropping crops [D]. Beijing: China Agricultural University,1999.)

[29] Oljaca S, Cvetkovi C R, Kovacevi C D, et al. Effect of plant arrangement pattern and irrigation on efficiency of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaeolus vulgaris*) intercropping system[J]. Journal of Agricultural Science,2000,135:261-270.

[30] 周涛,徐开未,王科,等. 麦-豆和麦/玉/豆体系中大豆的磷肥增产增效作用研究[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(2):336-345. (Zhou T, Xu K W, Wang K, et al. Effect of phosphate fertilizer on the improvement of yield and nutrient use efficiency of soybean in wheat-soybean and wheat/maize/soybean systems[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,2015,21(2):336-345.)

[31] 王科,赵亚妮,王佳锐,等. 施氮及种植模式对玉米氮素利用效率和土壤硝态氮含量的影响[J]. 水土保持学等,2015,29(4):121-126. (Wang K, Zhao Y N, Wang J R, et al. Effects of nitrogen application and planting patterns on nitrogen utilization efficiency of maize and soil nitrate content [J]. Journal of Soli and Water Conservation,2015,27(2):121-126.)

[32] 杨峰,崔亮,黄山. 不同株型玉米套作大豆生长环境动态及群体产量研究[J]. 大豆科学,2015,34(3):402-407. (Yang F, Cui L, Huang S. Soybean growth environment and group yield in soybean relay intercropped with different leaf type maize [J]. Soybean Scince,2015,34(3):402-407.)

[33] 施立科,石红军,丁春华. 甘蔗施用缓释肥和复混肥的效果[J]. 中国糖料,2017,39(1):38-41. (Shi L K, Shi H J, Ding C H, et al. Effect of slow-release fertilizer and compound fertilizer on sugarcane[J]. Sugar Crops of China,2017,39(1):30-31.)

[34] 廖青,江泽普,邢颖. 缓释肥和专用肥对甘蔗产量和品质的影响[J]. 广西糖业,2017,92(1):10-14. (Liao Q, Jiang Z P, Xin Y. Effects of fertilizing slow-release fertilizer and sugarcane special fertilizer on yield and quality of sugarcane [J]. Guangxi Sugar Industry,2017,92(1):10-14.)