

肥料减施下玉米-大豆间作对作物产量和昆虫群落组成及多样性的影响

李立坤¹ 左传宝² 于福兰² 王龙¹ 李卓¹ 陈法军^{1*}

(1. 南京农业大学植物保护学院昆虫学系, 昆虫信息生态实验室, 南京 210095;

2. 山东省济阳县农业局, 济阳 251400)

摘要: 为探究肥料减施下玉米-大豆间作对作物产量和昆虫群落组成及多样性的影响, 在玉米、大豆单作及二者间作下施以标准肥料 750 kg/hm² 和减半肥料 375 kg/hm², 于作物生长期调查田间昆虫群落组成及多样性, 并在收获期对玉米和大豆进行测产。结果表明: 与单作玉米相比, 间作玉米在施用标准肥料下的百株生物量、百株籽粒重和千粒重分别显著增加 78.33%、85.35% 和 38.71%, 而在施用减半肥料下则分别显著增加 90.91%、135.73% 和 33.33%; 相同种植模式下, 与施用标准肥料相比, 减半肥料使单作玉米百株籽粒重显著降低 22.45%。与单作大豆相比, 在施用标准肥料下, 间作大豆的百株籽粒重和千粒重分别显著降低 49.47% 和 11.54%, 在施用减半肥料下, 间作大豆的百株生物量、百株籽粒重和千粒重分别显著降低 73.94%、50.51% 和 17.39%; 相同种植模式下, 与施用标准肥料相比, 减半肥料使大豆在单作和间作下的百株籽粒重分别显著降低 65.02% 和 65.73%, 使间作下大豆的百株生物量和千粒重分别显著降低 73.14% 和 17.39%。与单作相比, 间作均显著降低了标准肥料和减半肥料处理下玉米和大豆害虫群落的物种数、多样性指数和均匀度指数, 还显著降低了标准肥料和减半肥料处理下玉米天敌昆虫群落的物种数和优势度指数以及大豆天敌昆虫群落的物种数和均匀度指数。表明玉米-大豆间作能有效提高玉米产量, 降低虫害发生, 但对大豆生产不利, 而间作条件下减施肥料对玉米产量的影响更小。建议在田间生产中可将夏玉米和大豆间作种植, 更有利于通过生态学方法控制田间害虫发生和增加作物总体产量。

关键词: 玉米和大豆; 单作和间作; 减施肥料; 产量评估; 昆虫群落; 多样性

Effects of monoculture and intercropping of maize and soybean with reduced use of fertilizer on crop yields, insect community composition and diversity

Li Likun¹ Zuo Chuanbao² Yu Fulan² Wang Long¹ Li Zhuo¹ Chen Fajun^{1*}

(1. Laboratory of Insect Information Ecology, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu Province, China; 2. Jiyang Bureau of Agriculture, Jiyang 251400, Shandong Province, China)

Abstract: To explore the effects of intercropping of maize with soybean with reduced use of fertilizer on crop yield and insect community composition and diversity, the monoculture and intercropping of corn and soybean were designed with standard application of fertilizer (750 kg/hm²) and half application of fertilizer (375 kg/hm²). The diversity of insect communities in the field was investigated during the growing period and the yields of corn and soybean were measured after these crops were harvested. The results showed that, compared with monoculture, intercropping incorporated with standard application of fertilizer increased the biomass, grain weight of 100 maize plants and 1 000-grain weight by 78.33%, 85.35% and 38.71%, respectively, while the halved application of fertilizer increased those by 90.91%,

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0200408)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期: 2018-07-31

135.73% and 33.33%, respectively. Compared with standard fertilizer treatment, halved fertilizer treatment reduced the grain weight of 100 plants of monoculture maize by 22.45%. Intercropping incorporated with the standard application of fertilizer reduced the seed weight of 100 soybean plants and 1 000-seed weight by 49.47% and 11.54%, respectively, and halved application of fertilizer reduced the biomass, seed weight of 100 soybean plants and 1 000-seed weight by 73.94%, 50.51% and 17.39%, respectively. Compared with standard fertilizer treatment, halved fertilizer treatment reduced the seed weight of 100 soybean plants by 65.02% and 65.73%, respectively, when monoculture and intercropping were adopted, and reduced the biomass of 100 soybean plants and 1 000-seed weight by 73.14% and 17.39%, respectively, while intercropping was adopted. As compared to monoculture, intercropping significantly reduced the number of species, diversity index and evenness index of maize and soybean pest communities when standard fertilizer and half fertilizer were used, and significantly reduced the number of species and dominance index of natural enemies of maize, and the number of species and evenness index of natural enemies of soybean. The results showed that intercropping of maize and soybean could increase maize yield effectively, but not for soybean yield, and reduce the occurrence of insect pests. It indicated that summer maize and soybean should be intercropped in the field, which would be more beneficial for controlling the occurrence of field crop insect pests and hence increase the overall yield through natural balance in the ecosystem.

Key words: maize and soybean; monoculture and intercropping; reduced use of fertilizers; yield assessment; insect community; diversity

我国农业发展历史悠久,间作种植是传统农业的一部分(吴存浩,1996)。间作是指同一生长季节内同一农田系统中种植2种或2种以上的作物,可充分利用地力、空间和光能,达到一季多收而实现高产;此外,还可以地养地,既能增产又能培肥地力,有利于农田持续增产,且间作还可抑制病虫害的发生。相比于农作物单作而言,作物间作在病虫害的生态防控、产量和农产品品质等方面都有较大优势(陈佐忠和汪诗平,2008;冯丽肖等,2009;杨树果,2014)。随着我国人口持续增多,耕地面积相对减少,目前亟待提高作物产量和质量,以满足日益提高的农产品需求。有研究发现,甘蔗间作玉米能够有效降低玉米蛀孔密度(陈斌等,2015);甜玉米与绿豆、菜豆等间作可使大田生境内的天敌如蜘蛛类群和瓢虫类群分别增长21%和83%,而害虫种类和数量显著降低(田耀加等,2012)。大豆和玉米均为我国重要的粮油作物和饲用农作物,近年来玉米和大豆间作被重新重视(高阳等,2009;孟维伟等,2013)。已有研究表明,玉米和大豆间作种植下,间作玉米的株高和茎粗均大于单作玉米,而间作大豆的株高和茎粗均低于单作大豆(孔玮琳等,2018)。刘均霞等(2007)和范元芳等(2017)研究发现,玉米和大豆间作中大豆处于劣势;南琴霞等(2017)研究还指出,相较于单作而言,玉米和大豆间作能够显著

提高土地复种指数,间作下玉米和大豆产量均有所提高;此外,玉米和大豆间作模式能够适应现代化大田作业,便于推广应用。

目前,我国农业生产中过量施用化学肥料问题较严重,尤其是氮肥施用过量,但作物吸收利用化学肥料的效率低,这不仅造成大量的化学肥料浪费,而且还会带来严重的农田环境污染问题(张福锁等,2008;Pappa et al., 2011;郭丽琢等,2012)。可见,简单依赖施肥来增产并不可取。Li et al.(2014;2015)研究结果表明,豆科和禾本科作物间作中,利用豆科作物的固氮特性可增加大田土壤氮素转移给禾本科间作作物,提高其氮肥供给。周贤玉等(2017)研究发现,减施氮肥有利于大豆根瘤的生长,并能提高大豆对土壤氮素的积累。这使得豆科和禾本科作物间作中大田氮肥减施而不影响作物产量成为可能。另一方面,作物间作还会影响大田天敌昆虫和害虫等的发生及其群落多样性。如间作大豆田害虫种类少于单作大豆田害虫种类(王玉正和岳跃海,1998);而且作物间作还能防病驱虫、防控杂草(李勇杰等,2007;刘天学等,2008;叶照春等,2015)。生产中肥料减施条件下玉米和大豆间作对于作物产量的具体影响如何,以及间作和肥料处理互作对害虫和天敌昆虫发生及其群落多样性的影响如何亟待明确。

本试验通过设置玉米-大豆间作以及间作下不

同肥料水平处理,旨在探明玉米-大豆间作条件下肥料减半处理在产量和田间昆虫群落组成及多样性方面的影响,掌握间作条件下肥料处理在实际生产中的应用,以期实现农业生产中的“减肥增效”和“控害保产(增产)”,并指导生产中最优的作物种植模式及其大田肥料利用。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点:试验在山东省德州市宁津县气候变化与生物多样性和控害减排(联合)创新实验基地进行。该地区土壤类型为蒙淤砂白土,属于潮砂土,耕作层达20 cm左右。土壤pH为7.96,基本肥力参数为全碳0.67 g/kg、全氮0.76 g/kg、有效磷28.97 mg/kg、速效钾99.84 mg/kg、有机碳6.63 g/kg。该地区气候特点为季风影响显著,四季分明、冷热干湿界限明显,春季干旱多风回暖快,夏季炎热多雨,秋季凉爽多晴天,冬季寒冷少雪多干燥,具有显著的大陆性气候特征。光照资源丰富,年平均气温为12.9℃,年平均降水量为547.5 mm。

供试作物:玉米品种为丰玉4号(品种保护号:CNA20060285.3),由山东省农业科学院提供;大豆品种为鲁豆10号(原代号8047),由山东省农业科学院作物研究所选育并提供。

供试肥料及仪器:试验所用肥料为尿素(urea),含氮46.67%、氧26.67%、碳20.00%、氢6.67%,山东省寿光市海旭化工有限公司。YH-A6电子天平,上海耀华称重系统有限公司。

1.2 方法

1.2.1 玉米和大豆单作与间作种植设置

试验共设置了3种种植模式,即玉米单作、大豆单作和玉米-大豆间作,以及2种肥料水平,即标准肥料750 kg/hm²和减半肥料375 kg/hm²,共6个处理:(1)标准肥料处理下玉米单作;(2)减半肥料处理下玉米单作;(3)标准肥料处理下大豆单作;(4)减半肥料处理下大豆单作;(5)标准肥料处理下玉米-大豆间作;(6)减半肥料处理下玉米-大豆间作。单作模式下玉米和大豆种植时株间距均为25 cm,行间距均为70 cm;间作模式为每2行玉米间作2行大豆,玉米和大豆株间距均为25 cm,行间距均为50 cm。试验选取肥力均匀的大田,每个处理各设置3次重复,共计18个试验小区,每个小区大小为10 m×10 m,相邻试验小区间隔2 m作为隔离带。标准肥料和减半肥料处理下玉米和大豆单作及两者间作的试验小

区设置以种植模式作为主因子,肥料水平作为次因子,并按随机顺序布局。于2017年6月25日播种,玉米和大豆生长季节内采取相同的常规大田管理措施。试验期间所有小区均不喷施任何化学农药。

1.2.2 玉米和大豆产量的测定

于2017年10月10日收获期分别从标准肥料和减半肥料处理的玉米和大豆单作小区及两者间作小区随机收获玉米和大豆各10株,分别进行10个重复,每个处理共100株。考虑到大豆和玉米的行间距和株间距一致,则百株玉米和百株大豆所代表调查指标的单位田面积一致。日光下暴晒1周后分别用电子天平称量百株大豆和百株玉米的生物量、籽粒重和千粒重,籽粒重为10株玉米(大豆)的总籽粒干重,千粒重为从每10株玉米(大豆)的总籽粒数中随机挑取1 000粒的干重。其中,每10株玉米和大豆的生物量和籽粒重都转化为百株生物量和百株籽粒重。

1.2.3 田间害虫和天敌群落多样性调查

采用五点取样法分别从标准肥料和减半肥料处理的玉米和大豆单作小区及两者间作小区中随机选择10株玉米和10株大豆,分别调查不同处理下玉米和大豆植株上所有的害虫和天敌,统计其种类及数量,并计算群落多样性指标。其中,Shannon-Weiner多样性指数H'的计算公式为: $H'=-\sum P_i \times \ln P_i$,式中 $P_i=N_i/N$;Pielou均匀度指数J的计算公式为: $J=H'/\ln S$;Simpson优势度指数D的计算公式为: $D=\Sigma(N_i/N)^2$ 。式中, P_i 是第*i*种害虫或天敌的个体数量占害虫和天敌群落以及总体群落中总个体数量的比例, N_i 为第*i*个物种的个体数, N 为总个体数, S 为总物种数。

1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 20.0软件进行双因子方差分析(two-way analysis of variance,two-way ANOVA),明确肥料处理(标准肥料和减半肥料处理)和作物种植模式(单作和间作)对作物产量及其田间害虫和天敌群落的组成及多样性指标的影响,应用最小显著差数(LSD)法检验各处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 肥料减施下玉米和大豆单作及间作对产量的影响

种植模式和肥料水平及两者交互作用对玉米和大豆产量影响的双因子方差分析结果显示,种植模式显著影响玉米的百株生物量、百株籽粒重和千粒重($P<0.001$),肥料水平显著影响玉米的百株籽粒重($P=0.027<0.05$)和千粒重($P=0.030<0.05$),而两者之间的交互作用显著影响玉米的千粒重($P=0.021<$

0.05);此外,种植模式和肥料水平均显著影响大豆的百株生物量、百株籽粒重和千粒重($P<0.001$ 或

$P<0.01$),两者的交互作用显著影响大豆的百株生物量($P<0.001$)和百株籽粒重($P=0.002<0.01$,表1)。

表1 不同种植模式与肥料处理对玉米和大豆产量影响的双因子方差分析(F/P 值)

Table 1 Two-way ANOVA of the effects of planting patterns and fertilizer levels on crop yields of maize and soybean (F/P values)

作物产量 Crop yield	影响因子 Influencing factor	百株生物量 Biomass per 100 plants	百株籽粒重 Seed weight per 100 plants	千粒重 1 000-seed weight
玉米产量 Maize yield	种植模式 Planting pattern	121.000/ $<0.001^{***}$	311.436/ $<0.001^{***}$	273.857/ $<0.001^{***}$
	肥料水平 Fertilizer level	2.394/0.131	5.334/0.027*	5.076/0.030*
	种植模式×肥料处理 Planting pattern×fertilizer level	0.014/0.906	3.334/0.076	5.801/0.021*
大豆产量 Soybean yield	种植模式 Planting pattern	49.776/ $<0.001^{***}$	49.698/ $<0.001^{***}$	12.047/0.001**
	肥料水平 Fertilizer level	43.360/ $<0.001^{***}$	106.394/ $<0.001^{***}$	15.247/ $<0.001^{***}$
	种植模式×肥料处理 Planting pattern×fertilizer level	22.536/ $<0.001^{***}$	11.201/0.002**	0.424/0.519

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$.

收获期产量测定结果表明,无论是标准肥料处理还是减半肥料处理,间作条件下的玉米产量均比单作条件下更高。标准肥料处理下,间作玉米的百株生物量、百株籽粒重和千粒重较单作玉米分别显著增加78.33%、85.35%和38.71%;减半肥料处理下,间作玉米的百株生物量、百株籽粒重和千粒重较单作玉米分别显著增加90.91%、135.73%和33.33%(图1)。此外,不同肥料水平对玉米产量的影响不同,相同种植模式下,与施用标准肥料相比,减半肥料使单作玉米百株籽粒重显著降低22.45%,即总体产量降低;而间作条件下玉米百株籽粒重与单作条件下无显著差异,表明玉米-大豆间作能够弥补玉米肥料减施的影响,有助于提高间作下玉米的产量。

标准肥料处理下,间作大豆的百株籽粒重和千粒重较单作大豆分别显著降低49.47%和11.54%;减半肥料处理下,间作大豆的百株生物量、百株籽粒重和千粒重较单作大豆分别显著降低73.94%、50.51%和17.39%;相同种植模式下,与施用标准肥料相比,减半肥料使大豆在单作和间作下的百株籽粒重分别显著降低65.02%和65.73%,使间作下的百株生物量和千粒重分别显著降低了73.14%和17.39%(图1)。总的来说,玉米-大豆间作和减半肥料处理均使大豆的产量降低,与相同种植模式下的玉米产量呈相反的趋势。

2.2 对田间害虫群落的影响

肥料水平和种植模式及两者的交互作用对玉米和大豆害虫群落影响的双因子方差分析结果显示,种植模式显著影响玉米害虫群落的物种数、多样性指数和均匀度指数($P<0.001$ 或 $P<0.01$),且种植模式与肥料水平之间的交互作用显著影响玉米害虫群

落的优势度指数($P=0.003<0.01$);此外,种植模式及其与肥料水平之间的交互作用均显著影响大豆害虫群落的物种数、多样性指数和均匀度指数($P<0.001$ 或 $P<0.01$,表2)。

与单作相比,间作均显著降低了标准肥料和减半肥料处理下大豆和玉米害虫群落的物种数、多样性指数和均匀度指数,而肥料水平对于玉米和大豆害虫群落的各项指标均无显著影响(表3)。表明玉米-大豆间作有利于减轻田间害虫为害;而肥料水平对于田间虫害并无显著影响。

2.3 对田间天敌群落的影响

肥料水平和种植模式及两者的交互作用对玉米和大豆天敌群落影响的双因子方差分析结果显示,种植模式和肥料水平及两者之间的交互作用均显著影响玉米天敌昆虫群落的优势度指数($P<0.001$ 或 $P=0.016<0.05$),且种植模式还显著影响玉米天敌昆虫群落的物种数($P=0.022<0.05$);此外,种植模式显著影响大豆天敌群落的物种数($P=0.004<0.01$)和均匀度指数($P=0.028<0.05$),肥料水平及其与种植模式之间的交互作用对大豆天敌群落的物种数、多样性指数、均匀度指数和优势度指数均无显著影响(表2)。

与单作相比,间作模式显著降低了标准肥料和减半肥料处理下玉米天敌群落的物种数和优势度指数,对其它群落指标则无显著影响;同时,间作显著降低了标准肥料和减半肥料处理下大豆天敌群落的物种数和均匀度指数,对其它群落指标无显著影响。与标准肥料处理相比,减半肥料处理显著增加了单作和间作条件下玉米天敌群落的优势度指数,而对其它群落指标以及大豆天敌群落各项指标均无显著影响(表3)。

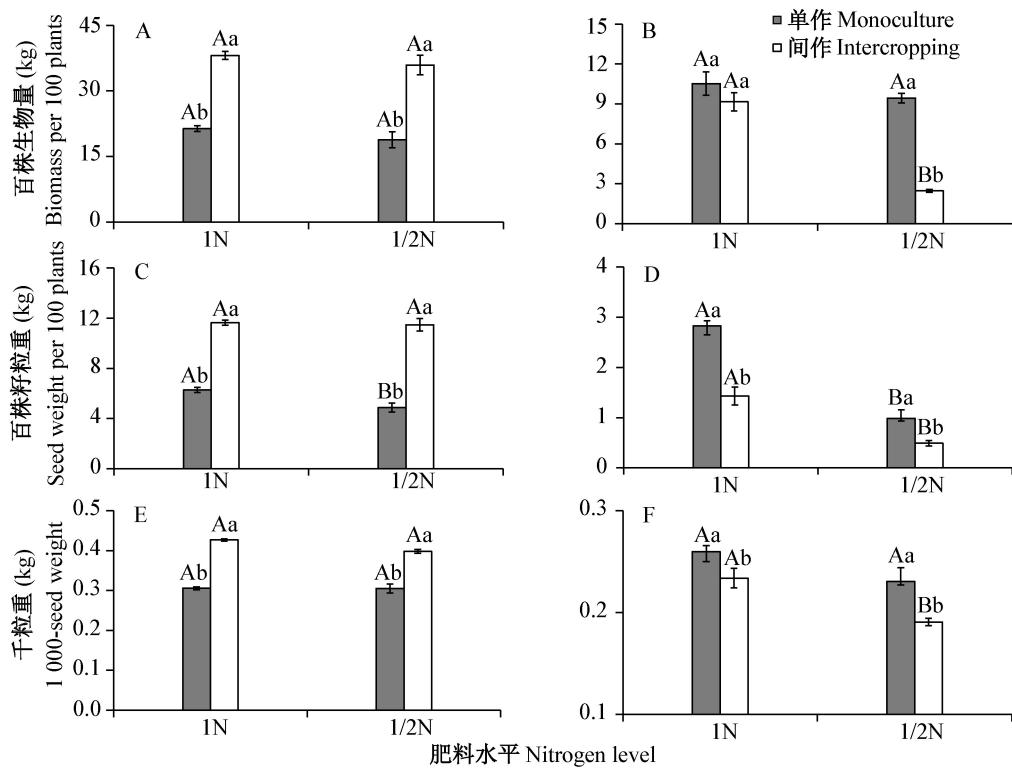


图1 标准肥料和减半肥料下单作及间作玉米(A、C、E)和大豆(B、D、F)的百株生物量、百株籽粒重和千粒重

Fig. 1 The biomass, seed weight per 100 plants and 1 000-seed weight of the monoculture and intercropping cultivation of maize (A, C, E) and soybean (B, D, F) under standard and half application of fertilizer

1N: 标准氮肥; 1/2N: 氮肥减半。图中数据为平均数±标准误。不同大、小写字母分别表示标准肥料与减半肥料处理之间、单作与间作之间经LSD法检验在P<0.05水平差异显著。1N: Standard N fertilizer; 1/2N: N fertilizer halved. Data are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters indicate significant difference between the standard and half application of fertilizer or between the monoculture and intercropping cultivation at P<0.05 level by LSD test, respectively.

表2 不同种植模式与肥料水平对玉米和大豆大田害虫及天敌群落影响的双因子方差分析(F/P值)

Table 2 Two-way ANOVA of the effects of planting patterns and fertilizer levels on the communities of insect pests and natural enemies in the fields of maize and soybean (F/P values)

昆虫群落 Insect community	作物 Crop	影响因子 Influencing factor	物种数 S No. of species	多样性指数 H' Diversity index	均匀度指数 J Uniformity index	优势度指数 D Dominance index
害虫群落 Community of insect pests	玉米 Maize	种植模式 Planting pattern	26.944/<0.001***	22.368/<0.001***	8.317/<0.007**	0.202/0.656
		肥料水平 Fertilizer level	0.078/0.782	0.018/0.893	0.190/0.666	1.388/0.246
		种植模式×肥料水平 Planting pattern×fertilizer level	0.377/0.543	0.006/0.937	0.208/0.651	9.847/<0.004**
	大豆 Soybean	种植模式 Planting pattern	145.189/<0.001***	108.695/<0.001***	17.306/<0.001***	1.670/0.205
		肥料水平 Fertilizer level	1.047/0.313	0.556/0.461	0.583/0.450	2.155/0.151
		种植模式×肥料水平 Planting pattern×fertilizer level	10.867/<0.002**	18.494/<0.001***	9.751/<0.004**	0.106/0.747
天敌群落 Community of natural enemies	玉米 Maize	种植模式 Planting pattern	5.728/0.022*	2.622/0.114	2.773/0.105	17.726/<.001***
		肥料水平 Fertilizer level	1.733/0.196	0.852/0.362	0.230/0.634	12.282/0.001**
		种植模式×肥料水平 Planting pattern×fertilizer level	0.126/0.722	0.841/0.365	0.464/0.500	6.440/0.016*
	大豆 Soybean	种植模式 Planting pattern	9.362/<0.004**	0.392/0.535	5.247/0.028*	1.873/0.180
		肥料水平 Fertilizer level	0.304/0.585	1.921/0.174	0.187/0.668	2.099/0.156
		种植模式×肥料水平 Planting pattern×fertilizer level	0.129/0.728	0.406/0.528	0.035/0.852	0.037/0.848

*: P<0.05; **: P<0.01; ***: P<0.001.

表3 标准肥料和肥料减半处理下玉米和大豆单作或间作对作物害虫及天敌群落多样性的影响

Table 3 Effects of the monoculture and intercropping cultivation of maize and soybean under standard and half application of fertilizer on the community diversity of pests and natural enemies

群落 Community	作物 Crop	种植模式 Planting pattern	肥料水平 Fertilizer level	物种数 S No. of species	多样性指数 H' Diversity index	均匀度指数 J Uniformity index	优势度指数 D Dominance index
害虫群落 Community of insect pests	玉米 Maize	单作	1N	2.22±0.51 Aa	0.59±0.16 Aa	0.55±0.12 Aa	0.50±0.04 Aa
		Monoculture	1/2N	2.28±0.39 Aa	0.60±0.17 Aa	0.55±0.15 Aa	0.59±0.08 Aa
		间作	1N	1.40±0.19 Ab	0.27±0.08 Ab	0.37±0.09 Ab	0.67±0.10 Aa
	大豆 Soybean	Intercropping	1/2N	1.24±0.44 Ab	0.28±0.13 Ab	0.30±0.12 Ab	0.47±0.13 Aa
		单作	1N	3.92±0.33 Aa	0.73±0.04 Aa	0.55±0.03 Aa	0.58±0.01 Aa
		Monoculture	1/2N	4.32±0.69 Aa	0.87±0.14 Aa	0.66±0.06 Aa	0.54±0.06 Aa
	大豆 Soybean	间作	1N	2.38±0.53 Ab	0.49±0.13 Ab	0.51±0.10 Ab	0.65±0.08 Aa
		Intercropping	1/2N	1.62±0.36 Ab	0.30±0.15 Ab	0.34±0.16 Ab	0.58±0.10 Aa
		单作	1N	1.22±0.09 Aa	0.23±0.04 Aa	0.34±0.06 Aa	0.68±0.02 Ba
天敌群落 Community of natural enemies	玉米 Maize	Monoculture	1/2N	1.50±0.07 Aa	0.37±0.02 Aa	0.45±0.03 Aa	1.50±0.07 Aa
		间作	1N	0.88±0.30 Ab	0.18±0.09 Aa	0.24±0.14 Aa	0.45±0.12 Bb
		Intercropping	1/2N	1.04±0.21 Ab	0.18±0.07 Aa	0.22±0.09 Aa	0.58±0.12 Ab
	大豆 Soybean	单作	1N	1.28±0.14 Aa	0.30±0.05 Aa	0.33±0.03 Aa	0.49±0.09 Aa
		Monoculture	1/2N	1.32±0.36 Aa	0.30±0.13 Aa	0.35±0.13 Aa	0.57±0.12 Aa
		间作	1N	0.60±0.19 Ab	0.08±0.05 Aa	0.12±0.08 Ab	0.40±0.09 Aa
	大豆 Soybean	Intercropping	1/2N	0.78±0.12 Ab	0.12±0.01 Aa	0.17±0.01 Ab	0.50±0.12 Aa
		单作	1N	1.22±0.09 Aa	0.23±0.04 Aa	0.34±0.06 Aa	0.68±0.02 Ba
		Monoculture	1/2N	1.50±0.07 Aa	0.37±0.02 Aa	0.45±0.03 Aa	1.50±0.07 Aa

1N: 标准氮肥; 1/2N: 氮肥减半。表中数据为平均数±标准误。不同大、小写字母分别表示标准肥料与减半肥料处理之间、单作与间作之间经 LSD 法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。1N: Standard N fertilizer; 1/2N: N fertilizer halved. Data are mean±SE. Different uppercase or lowercase letters indicate significant difference between the standard and half application of fertilizer or between the monoculture and intercropping cultivation at $P<0.05$ level by LSD test, respectively.

3 讨论

本试验结果表明,将玉米和大豆进行合理间作,能够提高玉米产量,有效增加整体经济效益,这与唐劲驰等(2005)、张向前等(2012)和王晓维等(2014)相关研究结果吻合。无论是标准肥料水平下还是减半肥料水平下,间作玉米的百株生物量、百株籽粒重和千粒重均较单作玉米显著提高,说明间作种植模式能够促进玉米生长、有效提高其产量和籽粒品质,如籽粒的饱满度。而大豆产量与玉米产量则呈相反趋势,间作和减半肥料处理均使大豆的产量降低。综合考虑作物产量与品质,发现标准肥料处理下的玉米-大豆间作对于提高玉米和大豆整体产量来说是最优选择。本试验结果可以为玉米和大豆的田间间作种植提供一定的参考价值,体现在产量、虫害和合理间作模式方面。

对于产量方面可表现在3方面:首先,在肥料水平方面,减施肥量导致玉米、大豆减产,整体来看对大豆的影响更显著,即在肥料减施处理下,大豆减产比玉米更严重,说明在玉米-大豆间作过程中,大豆

可以通过其自生具备的固氮作用为玉米生长提供一定的氮素营养(刘兴艳,2017)。表明在华北地区,玉米-大豆间作有利于提高粮食的整体产量,还能够减轻肥料不足对于玉米产量的影响。因此在玉米-大豆间作模式下,并不是施肥越多越能够提高作物产量,应根据实际情况施加氮肥以实现减肥增效之目的。其次,从数据来看,玉米-大豆间作模式下大豆产量总体呈降低趋势,而玉米产量总体呈升高趋势。该间作种植模式下,玉米为优势作物,相较于单作增产,大豆为劣势作物,相较于单作显著减产,与曹鹏鹏等(2018)和孔玮琳等(2018)的研究结果一致。整体来看充足的肥料对于提高玉米和大豆产量的效果优于间作种植(王晓维等,2014)。最后,本试验中大豆在行比 2:2 间作和肥料减半种植模式中减产严重。建议采取更加优化的种植模式,如杨春杰等(2015)研究发现,玉米大豆按行比 1:3 进行种植时,大豆能够取得最优的产量及产量性状表现。

间作种植除了对作物产量有一定的影响,还能够有效防控害虫发生。大田作物多样性增加,使得昆虫群落物种数增加,害虫间竞争增强,可有效地抑

制单一害虫的暴发；同时天敌种类也会增加，能有效降低害虫为害。本试验结果表明，玉米-大豆间作条件有利于降低害虫发生数量，而且大豆害虫物种数减少更明显，能有效减轻虫害引起的损失；此外，多样性指数的降低使得害虫群落稳定性降低，与祖艳群等(2008)大田间作研究中，辣椒与花生、大豆和玉米间作下烟青虫 *Heliothis assulta* 发生量显著降低的结果相似。本试验中，对于大豆害虫来说，间作导致不同种类害虫分布不均，优势种的生态功能更加突出，有可能使得某一优势种类害虫为害加重，但同时也有助于对其进行专一性防治；肥料减施对玉米害虫和玉米天敌昆虫的物种数有显著影响，但对于大豆害虫和大豆天敌昆虫物种数无显著影响，氮肥减施导致玉米抗虫能力下降，因此玉米害虫种类增多，更易暴发虫害。从本试验结果看，单作减半施肥处理下，大豆和玉米的长势及产量均最低，害虫种类数量相较于其它处理均达最大数量，说明间作对于防虫控害具有一定积极作用。

玉米-大豆间作模式中行比各异，本试验中采用的行比为2:2，行间距为50 cm。不同的行比对作物产量的影响存在差异(郜庆炉等，1999)。玉米-大豆间作模式中，玉米株高远高于大豆植株，这就涉及到大豆采光的问题，采用较小的行比会造成玉米对大豆的遮阴，影响大豆叶绿素的合成，从而降低大豆产量，即玉米和大豆间作模式下玉米产量的提高是建立在牺牲大豆产量的前提下实现的，韦柳佳等(2013)经过试验得出结论，以行比2:2的间作模式最为合理，但该研究并未细致深入地对玉米-大豆间作的不同行比间大豆的光能利用效率进行探究。逢焕成等(1995)设置如2:2、2:4、5:5等不同的玉米-大豆间作行比，在生长期对其光合有效辐射进行统计记录，并结合收获期产量探究不同行比种植下大豆产量因光照时间不同而造成的影响，发现对于整体产量而言，玉米与大豆以2:4行比间作种植可获得最大产量，该行比下大豆受光最好。行比减小有利于大豆光合作用的进行(乐光锐等，1995)，但间作效应势必会降低。因此，需要从间作效应和光能利用率2方面综合考虑，找到一种实现玉米、大豆产量最大化的种植模式。玉米和大豆间作及氮肥处理对玉米和大豆的产量，甚至田间杂草的生长都有一定的影响(叶照春等，2015)。为了更科学合理地对其进行解释，今后需从其生长发育等方面入手，探究玉米和大豆不同种植模式和营养水平下的内在生

长机理，对不同处理的玉米、大豆植株和田块进行具体分析。

本试验由于各种原因只能得到1年的数据，看似略显单薄，但是本试验从试验设计到中期田间调查和后期采样处理获取试验数据均合理全面，并且重复多。当重复量足够多时，能够保证产量和昆虫群落数据的科学合理性。如产量从百株生物量、百株籽粒重和千粒重方面进行分析，昆虫群落从各种作物的害虫和天敌2方面的多个指数进行分析；试验结果具有一定的借鉴意义。

参考文献 (References)

- Cao PP, Tian YX, Gao FJ, Hua FJ, Wang LZ. 2018. Effect of different band and row spacing on growth and yield of intercropping maize and soybean. Shandong Agricultural Sciences, 50(7): 78-81, 87 (in Chinese) [曹鹏鹏, 田艺心, 高凤菊, 华方静, 王乐政. 2018. 玉米-大豆间作不同带距和行距对两作物生长及产量的影响. 山东农业科学, 50(7): 78-81, 87]
- Chen B, He SQ, Zhang LM, Yang JC, Yan NS, Li ZY. 2015. Control efficacy of maize-sugarcane intercropping against the occurrence and the damage of *Ostrinia furnacalis*. Journal of Plant Protection, 42(4): 591-597 (in Chinese) [陈斌, 和淑琪, 张立敏, 杨进成, 严乃胜, 李正跃. 2015. 甘蔗间作玉米对亚洲玉米螟发生为害的控制作用. 植物保护学报, 42(4): 591-597]
- Chen ZZ, Wang SP. 2008. Developing organic livestock products, establishing organic livestock production system. Pratacultural Science, 25(6): 85-88 (in Chinese) [陈佐忠, 汪诗平. 2008. 发展有机畜产品建立有机畜牧业生产体系. 草业科学, 25(6): 85-88]
- Fan YF, Liu QL, Wang R, Jiang XR, Du WW, Yang WY, Yang F. 2017. Effects of shading on growth, photosynthetic fluorescence characteristics and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 31(5): 972-978 (in Chinese) [范元芳, 刘沁林, 王锐, 蒋晓蓉, 杜维维, 杨文钰, 杨峰. 2017. 玉米-大豆带状间作对大豆生长、光和荧光特性及产量的影响. 核农学报, 31(5): 972-978]
- Feng HC, Chen F, Zhang ML. 1995. Study on the photoeffect characteristics of maize and soybean intercropping compound population. Tillage and Cultivation, (4): 4-6 (in Chinese) [逢焕成, 陈阜, 张明亮. 1995. 玉米大豆间作复合群体光效应特征研究. 耕作与栽培, (4): 4-6]
- Feng LX, Du X, Zhang LF. 2009. Analysis on the external economic effects of animal husbandry in the agro-pastoral transition zone of north China. Acta Prataculturae Sinica, 18(2): 155-162 (in Chinese) [冯丽肖, 杜雄, 张立峰. 2009. 华北农牧交错带畜牧业外部经济效应解析. 草业学报, 18(2): 155-162]
- Gao QL, Song LX, Yang HS, Zhang YP. 1996. Effects of different planting patterns on the yield formation of maize-soybean intercropping populations. Journal of Henan Agricultural Sciences,

- (6): 6–9 (in Chinese) [郜庆炉, 宋留轩, 杨怀森, 张艳平. 1996. 不同种植方式对玉米大豆间作群体产量形成的影响. 河南农业科学, (6): 6–9]
- Gao Y, Duan AW, Liu ZG, Sun JS, Chen JP, Wang HZ. 2009. Effects of intercropping patterns on dry matter accumulation and yield composition of maize and soybean. *Chinese Agricultural Sciences Bulletin*, 25(2): 214–221 (in Chinese) [高阳, 段爱旺, 刘祖贵, 孙景生, 陈金平, 王和洲. 2009. 间作种植模式对玉米和大豆干物质积累与产量组成的影响. 中国农学通报, 25(2): 214–221]
- Guo LZ, Zhang HT, He YH, Chai Q, Huang GB. 2012. Effect of rhizobium inoculation on crop growth and nitrogen nutrition of a pea/maize intercropping system. *Acta Prataculturae Sinica*, 21(1): 43–49 (in Chinese) [郭丽琢, 张虎天, 何亚慧, 柴强, 黄高宝. 2012. 根瘤菌接种对豌豆/玉米间作系统作物生长及氮素营养的影响. 草业学报, 21(1): 43–49]
- Kong WL, Xue YH, Li J, Li D, Mei PP, Xia HY. 2018. Effect of intercropping on yield and agronomic traits of summer maize and summer soybean under different nitrogen levels. *Shandong Agricultural Sciences*, 50(7): 116–120 (in Chinese) [孔玮琳, 薛燕慧, 李进, 李冬, 梅沛沛, 夏海勇. 2018. 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. 山东农业科学, 50(7): 116–120]
- Le GR, Wang EM, Xu YG. 1995. A study on row-space ratio of corn and soybean in intercropping system and its photosynthetic quantum. *Guizhou Agricultural Sciences*, (3): 18–22 (in Chinese) [乐光锐, 王尔明, 徐元刚. 1995. 玉米大豆间作行比的评价与光合份额研究. 贵州农业科学, (3): 18–22]
- Li L, Tilman D, Lambers H, Zhang FS. 2014. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist*, 203(1): 63–69
- Li YJ, Chen YX, Tang L, Li SM, Zheng Y, Zhang FS. 2007. Effects of root separation on nutrient uptake of wheat and occurrence of powdery mildew under wheat-fababean intercropping. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 13(5): 929–934 (in Chinese) [李勇杰, 陈远学, 汤利, 李少明, 郑毅, 张福锁. 2007. 地下部分隔对间作小麦养分吸收和白粉病发生的影响. 植物营养与肥料学报, 13(5): 929–934]
- Li YK, Li B, Guo WZ, Wu XP. 2015. Effects of nitrogen application on soil nitrification and denitrification rates and N₂O emissions in greenhouse. *Journal of Agricultural Science & Technology*, 17(2): 519–530
- Liu JX, Lu YG, Yuan HW, Cui BW. 2007. Studies on the efficient use of nutrient in maize/soybean intercropping. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 26(2): 105–109 (in Chinese) [刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 崔保伟. 2007. 玉米/大豆间作条件下养分的高效利用机理. 山地农业生物学报, 26(2): 105–109]
- Liu TX, Li CH, Ma XM, Zhao X, Liu SY. 2008. Effects of maize intercropping with different genotypes on leaf senescence and grain and quality. *Journal of Plant Ecology*, 32(4): 914–921 (in Chinese) [刘天学, 李潮海, 马新明, 赵霞, 刘士英. 2008. 不同基因型玉米间作对叶片衰老、籽粒产量和品质的影响. 植物生态学报, 32(4): 914–921]
- Liu XY. 2017. Effects on maize yield and agronomic characters of maize-soybean intercropping and nitrogen application. *Agricultural Development & Equipments*, (11): 96 (in Chinese) [刘兴艳. 2017. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响. 农业开发与装备, (11): 96]
- Meng WW, Wang XQ, Liu J, Dai HY, Yin QL, Zhang Z. 2013. Research advances on resource utilization, yield and economic benefit in maize-soybean intercropping system. *Shandong Agricultural Science*, 45(3): 132–135 (in Chinese) [孟维伟, 王旭清, 刘佳, 戴海英, 尹庆良, 张正. 2013. 玉米大豆间作对资源利用及产量、效益影响的研究进展. 山东农业科学, 45(3): 132–135]
- Nan QX, Chen GR, Fan YL, Wang LM, Yang RP, Dong B, Zhang GH, Yang GF, Wen J, Niu JB. 2017. Benefit analysis of corn intercropping soybean model in Lanzhou area. *Gansu Agricultural Science and Technology*, (7): 31–36 (in Chinese) [南琴霞, 陈光荣, 樊延录, 王立明, 杨如萍, 董博, 张国宏, 杨桂芳, 温健, 牛建彪. 2017. 兰州地区玉米/大豆间作模式效益分析. 甘肃农业科技, (7): 31–36]
- Pappa VA, Rees RM, Walker RL, Baddeley JA, Watson CA. 2011. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1/2): 153–161
- Tang JC, Ismael AM, She LN, Liao H, Chen HZ, Sun ZD, Yan XL. 2005. Nutrition effect of soybean root configuration in maize/soybean intercropping system. *Chinese Agricultural Science*, 38(6): 1196–1203 (in Chinese) [唐劲驰, Ismael AM, 余丽娜, 廖红, 陈怀珠, 孙祖东, 严小龙. 2005. 大豆根构型在玉米/大豆间作系统中的营养作用. 中国农业科学, 38(6): 1196–1203]
- Tian YJ, Liang GW, Zeng L, Lu YY. 2012. Influence of intercropping on dynamics of insect pests, natural enemies and the damage of *Ostrinia furnacalis* in sweet corn fields. *Journal of Plant Protection*, 39(1): 1–6 (in Chinese) [田耀加, 梁广文, 曾玲, 陆永跃. 2012. 间作对甜玉米田主要害虫与天敌动态的影响. 植物保护学报, 39(1): 1–6]
- Wang XW, Yang WT, Miao JQ, Xu JC, Wan JR, Nie YP, Huang GQ. 2014. Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilization on yield and agronomic traits of maize. *Acta Ecologica Sinica*, 34(18): 5275–5282 (in Chinese) [王晓维, 杨文亭, 缪建群, 徐健程, 万进荣, 聂亚平, 黄国勤. 2014. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响. 生态学报, 34(18): 5275–5282]
- Wang YZ, Yue YH. 1998. Efficacy of interplant and mixture sowing of maize and soybean on pest and disease management in soybean. *Plant Protection*, 24(1): 13–15 (in Chinese) [王玉正, 岳跃海. 1998. 大豆玉米间作和同穴混播对大豆病虫发生的综合效应研究. 植物保护, 24(1): 13–15]

- Wei LJ, Huang L, Zhang YQ, Jia YY, Xu WT, Yin YP, Dong WH, Xie SQ, Liang Q. 2013. Analysis on intercropping patterns and effect in maize/soybean intercropping system. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 26(1): 67–72 (in Chinese) [韦柳佳, 黄莉, 张雅琼, 贾阳映, 徐文婷, 尹元萍, 董文汉, 谢世清, 梁泉. 2013. 玉米/大豆间作模式及效应分析. 西南农业学报, 26(1): 67–72]
- Wu CH. 1996. China's agricultural history. Beijing: Police Officer Education Press, pp. 544 (in Chinese) [吴存浩. 1996. 中国农业史. 北京: 警官教育出版社, pp. 554]
- Yang CJ, Chen JQ, Tan CY, Zhu XT, Gong LN, Liu ZY. 2015. Effects of different rows ratio of maize and soybean in intercropping system on the yield traits of Qiandou 7 during seed filling period. Guizhou Agricultural Sciences, 43(12): 39–41 (in Chinese) [杨春杰, 陈佳琴, 谭春燕, 朱星陶, 龚丽娜, 刘作易. 2015. 不同行比间作玉米对黔豆7号鼓粒期产量性状的影响. 贵州农业科学, 43(12): 39–41]
- Yang SG. 2014. Economic of soybean industry in China from industry chain perspective. Ph. D Thesis. Beijing: China Agricultural University (in Chinese) [杨树果. 2014. 产业链视角下的中国大豆产业经济研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学]
- Ye ZC, He YF, Lu DQ, Li HB, Zhu F. 2015. Inhibitory effects and influence on yield of intercropping maize at different density with soybean. Weed Science, 33(4): 1–4 (in Chinese) [叶照春, 何永福, 陆德清, 李鸿波, 朱峰. 2015. 玉米不同密度下间作大豆控草效果及对产量的影响. 杂草科学, 33(4): 1–4]
- Zhang FS, Wang JQ, Zhang WF, Cui ZL, Ma WQ, Chen XP, Jiang RF. 2008. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. Acta Pedologica Sinica, 45(5): 915–924 (in Chinese) [张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 2008. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 45(5): 915–924]
- Zhang XQ, Huang GQ, Bian XM, Jiang XH, Zhao QG. 2012. Effects of intercropping on quality and yield of maize grain, microorganism quantity, and enzyme activities in soils. Acta Ecologica Sinica, 32(22): 7082–7090 (in Chinese) [张向前, 黄国勤, 卞新民, 江学海, 赵其国. 2012. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响. 生态学报, 32(22): 7082–7090]
- Zhou XY, Tang YL, Wang ZG, Wang JW. 2017. Effects of reduced nitrogen application and intercropping on sweet corn AMF colonization, soybean nodulation and nitrogen and phosphorus absorption. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 25(8): 1139–1146 (in Chinese) [周贤玉, 唐艺玲, 王志国, 王建武. 2017. 减量施氮与间作模式对甜玉米AMF侵染和大豆结瘤及作物氮磷吸收的影响. 中国生态农业学报, 25(8): 1139–1146]
- Zu YQ, Hu WY, Wu BZ, Zhan FD, Li Y. 2008. Effect of chilli pepper intercropping system on nutrient utilization, main diseases and pests and yield of chilli pepper. Journal of Wuhan Botanical Research, 26(4): 412–416 (in Chinese) [祖艳群, 胡文友, 吴伯志, 湛方栋, 李元. 2008. 不同间作模式对辣椒养分利用、主要病虫害及产量的影响. 武汉植物学研究, 26(4): 412–416]

(责任编辑:李美娟)