

玉米行距对大豆/玉米间作产量及 种间竞争力的影响

赵建华^{1,2}, 孙建好¹, 樊廷录³, 李伟琦¹, 唐晓东⁴

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;
3. 甘肃省农业科学院科研管理处, 甘肃 兰州 730070; 4. 重庆市长寿区农业委员会, 重庆 401220)

摘 要: 为明确大豆/玉米间作体系中玉米最佳种植行距, 通过设置 5 个间作玉米种植行距 (D10: 10 cm、D20: 20 cm、D45: 45 cm、D60: 60 cm、D70: 70 cm), 研究不同玉米种植行距对作物产量、体系生产力、种间相对竞争力的影响。结果表明: 玉米行距改变不影响间作产量优势, 土地当量比 (land equivalent ratio, LER) 均大于 1; 随玉米行距的增加, 间作大豆产量随之下降, 间作玉米产量随之升高, 系统生产力 (system production, SP) 随之提升; 间作玉米行距改变显著影响了间作大豆的结荚数和单株粒数, 单株结荚数从 D10 处理的 38.5 荚·株⁻¹下降为 D70 处理的 15.8 荚·株⁻¹, 单株粒数从 D10 处理的 66.6 粒·株⁻¹下降为 D70 处理的 26.4 粒·株⁻¹; 随玉米行距的增加, 间作玉米穗粒数呈现先增加后减小的趋势, D60 处理穗粒数最大, 达 606 粒; 间作玉米行距改变显著影响了种间相对竞争力, 随间作玉米种植行距的增加, 大豆相对于玉米的竞争力 A_{sm} 逐渐弱化, 竞争力平衡点出现在 D45 处理, 采样期平均 A_{sm} 为 0.01。因此, 综合考虑间作体系产量, 作物产量和种间竞争力, D45 处理为大豆/玉米间作体系间作玉米的最佳行距配置。

关键词: 玉米行距; 大豆/玉米间作; 产量; 种间相对竞争力

中图分类号: S513; S344.2 **文献标志码:** A

Effect of row spacing of maize on yield and interspecific competition of crops in soybean/maize intercropping system

ZHAO Jian-hua^{1,2}, SUN Jian-hao¹, FAN Ting-lu³, LI Wei-qi¹, TANG Xiao-dong⁴

(1. Institute of Soil Fertilizer and Water-saving Agriculture Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, 730070, China;
2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;
3. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, 730070, China;
4. Agriculture Commission of Chongqing City, Changshou, 401220, China)

Abstract: In order to propose a reasonable row spacing of maize in the soybean/maize intercropping system, a field experiment was conducted to investigate the effect of row spacing of maize on system productivity and interspecific competition, by performing five maize row spacing treatments (D10: 10 cm, D20: 20 cm, D45: 45 cm, D60: 60 cm, D70: 70 cm). The results showed that the intercropping advantage was not affected by maize row spacing, for that the land equivalent ratio (LER) was more than 1. As row spacing increased, the yield of intercropped soybean decreased, whereas that of maize increased, resulting in higher the system productivity. The pod numbers and grain numbers per plant of intercropped soybean were significantly affected by row spacing, pod numbers per plant decreased from 38.5 pods·plant⁻¹ under D10 to 15.8 pods·plant⁻¹ under D70, grain numbers per plant of soybean decreased from 66.6 grains·plant⁻¹ to 26.4 grains·plant⁻¹. As row spacing increased, the grain numbers per spike of intercropped maize increased firstly and then decreased. It was highest when maize row spacing was 60 cm, having 606 grains per spike. Maize row spacing also significantly affected interspecific competition. D45 was more reasonable for maize row spacing in soybean/maize intercropping system, considering system productivity and interspecific competition.

Keywords: maize row space; soybean/maize intercropping system; yield; interspecific competition

收稿日期: 2014-04-25

基金项目: 公益性行业科研专项“甘肃间套作最佳养分管理技术模式与示范”(201103003)

作者简介: 赵建华(1980—), 男, 内蒙古额济纳旗人, 助理研究员, 在读博士, 主要从事间套作养分管理方面研究。E-mail: zhaojianhuatt@163.com。

间作是在同一田地上于同一生长期内,分行或分带相间种植两种或两种以上作物的种植方式^[1]。豆科/禾本科间作是中国北方地区普遍实施的一种间作模式。比较常见的有蚕豆/玉米^[2],豌豆/玉米^[3],蚕豆/小麦^[4]等。

当两种作物种植在一起时,作物种间的相互作用必然发生,种间相互作用的结果决定了间作是否具有产量优势,这种相互作用主要有两方面,一种是种间促进作用,另一种是种间竞争作用。基本的生物学原理认为,当两个作物生长在一起时,种间竞争作用和促进作用总是相伴存在的^[5]。以往有很多研究集中在间作作物种间相互作用方面,如齐万海^[6]通过根系分隔试验分析了小麦/玉米间作中竞争力与产量的关系,认为提升小麦的竞争优势是提高小麦/玉米间作群体整体产量的关键。李淑敏^[7]研究玉米/鹰嘴豆间作,发现间作作物产量高于单作的主要原因在于种间促进作用大于竞争作用。对于大豆/玉米间作体系,不少学者也进行了大量的研究,多集中在大豆/玉米间作作物根系互作^[8]、大豆/玉米不同间作模式下产量生物量^[9]等方面。而对于体系中作物行距变化对间作体系作物产量的影响研究较少,为此,本研究通过在大豆/玉米间作体系中设置不同玉米种植行距,研究在此改变下作物的产量响应和对体系产量的影响,以及对作物种间相互关系的影响,以期为大豆/玉米间作体系合理设置作物行距而提升体系生产力提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014 年在甘肃省农科院张掖节水农业

试验站进行,试验站地处甘肃省河西走廊中部的张掖市,位于东经 100°26',北纬 38°56',海拔 1 570 m,平均年日照时数 3 085 h,昼夜温差 13.00℃ ~ 16.07℃,年平均气温 7℃,≥ 0℃ 积温 3 388℃,≥ 10℃ 积温 2 896℃,无霜期 153 d。0 ~ 200 cm 平均土壤容重为 1.376 g·cm⁻³,年平均蒸发量 2 075 mm,年降水量不足 130 mm,干旱指数达 10.3,属于典型的无灌溉就无农业的干旱灌溉地区,具有西北绿洲灌溉农业区的典型特征;地下水埋深 68 ~ 73 m,地下水位年变幅 1.0 m 左右;试验地属灌漠土,有机质 17.9 g·kg⁻¹,速效氮 128.8 mg·kg⁻¹,速效磷 24.7 mg·kg⁻¹,速效钾 82.0 mg·kg⁻¹,pH 值 8.2。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,主处理为种植方式,包括大豆/玉米间作和玉米单作、大豆单作,副处理为玉米种植行距(D),间作玉米设置 5 个行距水平,分别为 10、20、45、60、70 cm,此时,大豆与玉米的种间距离分别为 60、50、25、10、0 cm;试验处理分别用 D10、D20、D45、D60、D70 代表,3 次重复,完全随机区组排列。种植时采用点播器点播控制行距,出苗后间苗以保证 1 穴 1 株。施肥量为 N 240 kg·hm⁻²,其中 50% 基施,50% 在玉米大喇叭口期追施,P₂O₅ 90 kg·hm⁻²,一次性基施。

大豆供试品种为“中黄 30”,单间作均行距 25 cm,株距 20 cm,穴播;玉米供试品种为“郑单 958”,单间作均株距 22 cm。间作采用 4:3 行比(4 行大豆,3 行玉米)种植,带幅 215 cm,每小区种植 3 个组合带。单作玉米等行距种植,行距 60 cm,大豆与玉米同期播种,同期收获,播种时间为 2013 年 4 月 24 日,收获时间为 10 月 18 日。试验处理种植示意图 1。

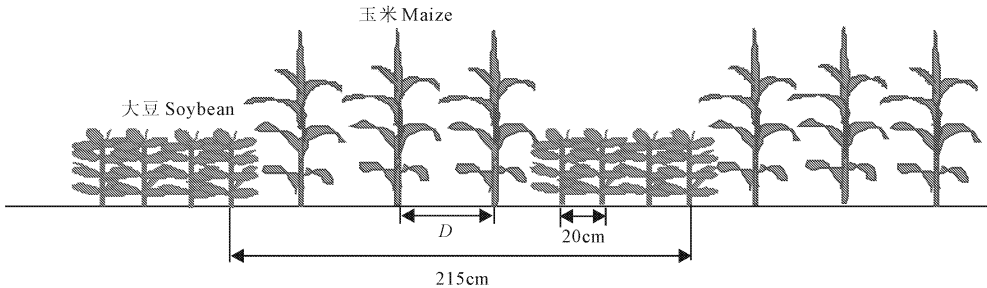


图 1 大豆/玉米间作试验种植示意图

Fig.1 The sketch of crops plant in the field experiment

1.3 样品采集及方法

收获时以每小区中间种植带为计产带(避免边行优势)进行实收测产,同时在大豆、玉米计产带以

外随机取 10 株进行产量构成因素的考察;自 6 月 13 日起每隔约 20 d 进行地上部生物量的测定,测定时大豆和玉米各取 5 株作为样本,采集的鲜样本先在

105℃下杀青 1 h,然后在 80℃条件下烘干至恒重后称重。

1.4 数据处理与统计分析

1.4.1 数据计算 土地当量比(land equivalent ratio)常用于衡量间作优势^[10]:

$$LER = (Y_{is}/Y_{ss}) + (Y_{im}/Y_{sm}) \tag{1}$$

式中, Y_{is} 和 Y_{im} 分别代表间作总面积上大豆和玉米的产量; Y_{ss} 和 Y_{sm} 分别为单作大豆和单作玉米的产量。当 $LER > 1$,表明间作有优势,当 $LER < 1$ 为间作劣势。

间作系统生产力(system productivity,SP,kg · hm⁻²)^[11] 为单位面积两种间作作物籽粒产量的加权平均值。

$$SP = Y_{is} \times Z_s + Y_{im} \times Z_m \tag{2}$$

式中, Y_{is} 、 Y_{im} 分别为间作大豆和玉米的籽粒产量(kg · hm⁻²); Z_s 、 Z_m 分别为大豆和玉米在间作系统中所占的面积比例,本试验种 $Z_s = 0.47$, $Z_m = 0.53$ 。

作物竞争力(aggressivity)^[12] 指间作体系中一种作物相对于另一种作物对水分、养分等与产量形成有关资源的竞争力:

$$A_{sm} = Y_{is}/(Y_{ss} \cdot Z_s) - Y_{im}/(Y_{sm} \cdot Z_m) \tag{3}$$

式中, A_{sm} 为大豆相对于玉米的资源竞争力; Z_s 和 Z_m 分别为间作中大豆和玉米的占地比例,本试验中大豆的占地比例为 0.47;玉米的占地比例为 0.53,其余符号意义同式(1),当 $A_{sm} > 0$,表明大豆竞争力强于玉米; $A_{sm} < 0$,玉米强于大豆。

1.4.2 统计分析 采用 Microsoft Excel 2003 进行绘图,用 SAS8.0 统计分析软件进行方差分析,并用 LSD 法对各处理间的差异显著性在 5% 水平上进行检验。

2 结果与分析

2.1 改变玉米行距对作物产量的影响

在大豆/玉米间作体系中,改变玉米种植行距对间作体系作物产量的影响总体表现为:随玉米种植行距的增大,间作大豆的产量逐渐下降,间作玉米的产量逐渐增加,间作体系的混合产量随之增加,见表 1。就大豆产量而言,当间作玉米种植行距为 10 cm 时,此时豆 - 玉间距为 60 cm,大豆的产量为 764.9 kg · hm⁻²,占单作大豆产量的 57%,而当间作玉米种植行距增加到 70 cm 时,此时豆 - 玉间距变为 0 cm,产量随之也下降为 299.7 kg · hm⁻²,仅占单作大豆产量的 22%。对比 5 个行距处理,当间作玉米种植行距增加到 45 cm 之后,大豆的产量随之迅速下降;反之,对比间作玉米产量,当间作玉米种植行距增加到 45 cm 之后,间作玉米的产量随之迅速增加,当 D45 时,豆 - 玉间距为 35 cm,这成为间作作物产量变化的转折点,当玉米种植行距比较小时,如本试验中的 D10,种内竞争比较强烈,种间竞争弱化,此时,间作大豆的产量在 5 个处理中最高,间作玉米产量在 5 个处理中最低,而当 D 为 70 cm 时,间作大豆产量成为 5 个处理中最低,间作玉米产量为 5 个处理中最高。由于玉米在间作体系混合产量中占有较大的比重,所以整体来看,体系的混合产量仍然是随玉米种植行距的增加而增加。

统计分析可以看出,各处理对应间作体系间的土地当量比无显著差异,且均大于 1,说明在大豆/玉米间作体系中,无论玉米种植行距怎么改变,相对于单作体系,仍表现出间作产量优势。间作系统生产力变化规律与间作体系混合产量变化规律相同,总体也是表现为随间作玉米种植行距增加,间作体系生产力提高。

表 1 不同处理作物产量及体系产量表现
Table 1 The yield of crops and system between different treatments

处理 Treatment	大豆 Soybean		玉米 maize		混合产量 Total yield soybean + maize /(kg · hm ⁻²)	间作系统生产力 System productivity /(kg · hm ⁻²)	土地当量比 Land equivalent ratio
	间作	单作	间作	单作			
	Intercropped /(kg · hm ⁻²)	Monocropped /(kg · hm ⁻²)	Intercropped /(kg · hm ⁻²)	Monocropped /(kg · hm ⁻²)			
D10	764.9 ± 206.5a	1333.4 ± 328.3	9039.2 ± 1495.2c	14741.5 ± 1135.0	9804.1 ± 1621.5c	5150.28 ± 851.38c	1.19 ± 0.42a
D20	625.4 ± 69.9ab	1333.4 ± 328.3	8729.1 ± 1135.8c	14741.5 ± 1135.0	9354.3 ± 1189.9c	4920.35 ± 627.34c	1.06 ± 0.13a
D45	556.8 ± 95.3abc	1333.4 ± 328.3	10899.8 ± 2286.9bc	14741.5 ± 1135.0	11456.6 ± 2198.7bc	6038.61 ± 1170.6bc	1.16 ± 0.09a
D60	392.8 ± 8.9bc	1333.4 ± 328.3	12372.7 ± 290.5ab	14741.5 ± 1135.0	12765.5 ± 296.8ab	6742.15 ± 156.90ab	1.13 ± 0.15a
D70	299.7 ± 148.9c	1333.4 ± 328.3	13907.7 ± 1179.5a	14741.5 ± 1135.0	14207.4 ± 1054.1a	7511.95 ± 566.05a	1.17 ± 0.06a

注:表中数据为平均值 ± 标准差,同列数据中不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著,下同。
Note: Means of three replicates ± standard error, values in the same column followed by different small letters are significantly different at 0.05 levels in LSD test. The same as below.

2.2 改变玉米行距对作物产量构成因素的影响

对比间作大豆的产量构成因子,间作玉米种植行距的改变会显著影响间作大豆的结荚数和单株豆粒数,见表 2。总体表现为,随间作玉米种植行距的逐渐增大,间作大豆的结荚数和豆粒数均表现为逐渐减小。类似的,也表现出当 D 增加到 45 cm 以后,单株结荚数和单株粒数均迅速减少,对比 D10 和 D60、D70 处理差异达显著水平。在百粒重和收获指

数均未达显著差异的情况下,说明种间距离改变对大豆籽粒的重量没有影响,影响的是大豆的地上部生物产量。由于间作玉米行距的变化,种间种内竞争发生着变化,D10 时种间行距最大,种间竞争较弱,所以大豆结荚数和单株粒数均较其它处理高,分别达 38.5 荚·株⁻¹和 66.6 粒·株⁻¹;D70 时种间距离最小,种间强烈的竞争致使单株荚数下降为 15.8 荚·株⁻¹,单株粒数下降为 26.4 粒·株⁻¹。

表 2 不同处理对大豆产量构成因素的影响
Table 2 Effect of different treatments on yield components of soybean

处理 Treatment	株高/cm Plant height	荚位/cm Pod height	单株荚数 Pod number per plant	单株粒数/粒 Seed number per plant	百粒重/g 100-seed weight	收获指数/% Harvest index
D10	114.3a	34.2a	38.5a	66.6a	22.6a	0.26a
D20	106.4a	33.0a	23.6ab	38.7ab	21.8a	0.26a
D45	113.4a	32.1a	29.1ab	51.4ab	22.0a	0.27a
D60	113.6a	34.9a	17.5b	30.8ab	21.2a	0.27a
D70	115.8a	39.8a	15.8b	26.4b	22.3a	0.24a

如表 3 所示,通过对比间作玉米产量构成因子发现,间作玉米种植行距变化显著改变了间作玉米的穗粒数,总体趋势为随间作玉米种植行距增大,穗粒数先增加后减小;D10 时穗粒数最小,为 497 粒·穗⁻¹,随行距的增大,穗粒数也增加,D60 时穗粒数最大,达 606 粒·穗⁻¹,但当行距增大到 D60 之后,穗

粒数开始下降。总体来看,当玉米靠大豆越近,玉米的穗粒数越大,但当玉米与大豆间的距离靠近到一定程度时,穗粒数开始下滑,在大豆/玉米体系中,豆科作物大豆与玉米除存在种间的竞争以外还存在互惠机制,当玉米靠大豆越近,大豆对玉米的促进作用强过竞争,从而促进了玉米的结实。

表 3 不同处理对玉米产量构成因素的影响
Table 3 Effect of different treatments on yield components of maize

处理 Treatment	株高/cm Plant height	穗位/cm Ear height	穗粒数/粒 Grains per ear	百粒重/g 100-grains weight	收获指数/% Harvest index
D10	257.9a	116.3a	497ab	36.1a	0.41a
D20	259.6a	113.7a	530c	34.7a	0.43a
D45	261.2a	114.2a	577bc	37.2a	0.41a
D60	268.1a	119.5a	606ab	36.8a	0.41a
D70	261.2a	116.8a	562a	36.7a	0.41a

2.3 改变玉米行距对作物竞争力的影响

基于以上分析,造成大豆/玉米间作体系产量及作物产量构成因素变化的内在因素为作物竞争力的差异,表 4 显示了各处理不同时期作物竞争力变化。对比各处理的竞争力动态变化发现,D10 和 D20 在整个采样期内竞争力均大于零,说明大豆对于资源的竞争力 A_{sm} 是强于玉米的,而 D45、D60、D70 处理在整个采样时期内竞争力呈现波动性变化,甚至 D70 处理在采样期内 A_{sm} 基本都是小于零,表明在玉米行距为 70 cm 情况下玉米的竞争力始终强于大豆。就整个采样时期看,采样前期作物竞争力没有

显著差异,但随着采样的持续,各处理种间相对竞争力于 8 月 15 日采样后出现显著差异。除 D10、D20 处理的 A_{sm} 大于零以外,其它处理 A_{sm} 均小于零。此时玉米处于灌浆期,大豆处于鼓粒期,两作物对于周边环境资源都有较多的获取需求,种间距离成为两作物竞争力强弱的关键;当行距大于 D45 后,种间距离随之缩小,玉米的竞争力强过大豆,而对 D10 和 D20 来说,因为种间距离较大,受玉米的资源竞争相对其它处理较弱,并且此时玉米种内竞争强烈,所以大豆的资源获取强于玉米。

表 4 各处理作物竞争力变化

Table 4 The dynamic of interspecific competition between different treatments

处理 Treatment	采样日期 Sampling dates						平均 Mean
	06 - 13	07 - 03	07 - 26	08 - 15	09 - 05	10 - 18	
D10	1.17a	0.37a	0.16b	1.22a	0.15b	1.48a	0.76
D20	0.28a	0.09ab	1.55a	0.47ab	1.32a	0.13b	0.64
D45	1.12a	-0.60b	0.37ab	-0.11ab	0.07b	-0.77c	0.01
D60	0.20a	-0.14ab	0.01b	0.16ab	-1.05c	-0.86c	-0.28
D70	-0.39a	-0.23ab	0.94ab	-0.49b	-0.89c	-0.62bc	-0.28
平均 Mean	0.47	-0.10	0.61	0.25	-0.08	-0.13	

2.4 玉米种植行距与产量和竞争力的关系

对各行距处理在采样期内的种间竞争力进行平均,结合体系产量和间作作物产量,绘制关系图,见图 2。由图 2 看出,随着间作玉米种植行距的增大,间作体系混合产量随之增高,大豆产量随之降低,玉米产量随之增加,大豆相对于玉米的种间竞争力逐渐减弱。对于种间竞争力,当行距为 10 cm 和 20 cm 时均大于零,当行距增加到 45 cm 时, A_{sm} 约等于 0,而行距再增加, A_{sm} 均小于零。间作大豆的产量随着间作玉米种植行距的增大而下降,但是间作玉米在大豆/玉米体系中产量的贡献比率较大,所以对于间作整体产量而言,玉米种植行距增加,产量随之增加。但是间作想要得到的是两作物的最优化产量组合,所以综合考虑各作物产量和整体产量的关系,玉米种植行距为 45 cm 时,大豆/玉米间作体系中作物产量达到最佳组合。玉米行距过小,种内竞争强过种间竞争,占体系混合产量比重较大的玉米受种内竞争的影响,产量提升不了,体系产量也很难有大的提升;玉米行距过大,玉米对大豆的资源竞争力又过于强烈,致使间作大豆产量下降太厉害,虽然体系产量有提升,但大豆产量不能达到理想水平。

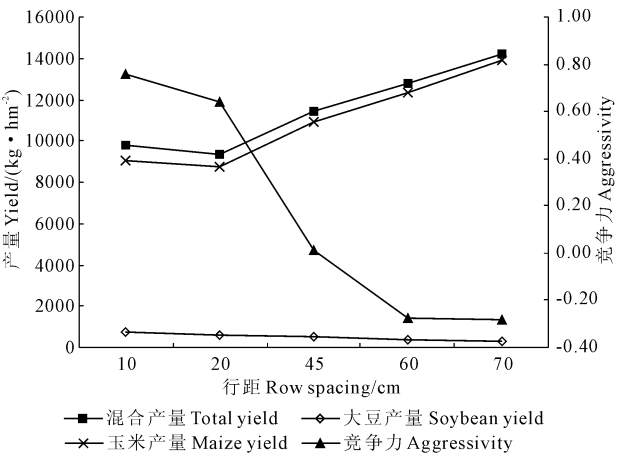


图 2 不同玉米行距种植与产量的相关关系

Fig.2 Correlation between row spacing of maize and yield of crops

3 结论和讨论

1) 与单作种植相比,大豆/玉米间作群体内玉米的产量增加,而大豆的产量降低或不变^[13]。本研究中随间作玉米种植行距增大,种间距离缩小,间作玉米产量逐渐增加,间作大豆产量逐渐下降,间作体系的综合产量增加,系统生产力增加。此结论与吕越^[14]等研究的在大豆/玉米间作体系中,玉米增产,大豆减产,体系总产明显增加的结果相一致。各处理对应体系的土地当量比均大于 1,表明了无论玉米行距怎样改变体系均表现间作产量优势。

2) 大豆/玉米间作群体内作物高矮相间分布,相对单作,群体内的光环境发生了明显的改变,而光环境的改变对间作作物产量和产量构成会产生较大的影响^[15]。同时,在作物种间的相互竞争方面,矮位作物大豆总是处于劣势^[16]。而玉米种植行距的改变实质上也是改变了大豆/玉米群体中作物的受光环境和资源竞争生态位,从而导致作物产量和产量构成的变化。本研究中随玉米种植行距的增加,玉米的竞争优势逐渐显现,从而导致大豆结荚数和单株粒数显著下降,结荚数从 D10 的 38.5 荚·株⁻¹下降为 D70 的 15.8 荚·株⁻¹,单株粒数从 D10 的 66.6 粒·株⁻¹降为 D70 的 16.4 粒·株⁻¹;玉米穗粒数在 D60 时最高,为 606 粒·穗⁻¹。

3) 合理的玉米/大豆间作,由于株型及生理生态方面的差异,从而有时空与水肥利用的互补作用。改变间作体系中作物种植行距本质上是改变了间作作物的空间配置,从而改变间作作物对于资源的竞争能力。在本研究中,随玉米种植行距增加,大豆相对于玉米的种间相对竞争力随之下降,而当玉米种植行距为 45 cm 时,相对竞争力接近零,再增加行距,大豆相对于玉米的种间竞争力开始小于零而不占优势。

(下转第 183 页)

利用率平均由 37.1%→17.8%降低;当施磷量由 45.0→135.0 kg·hm⁻²、60.0→180.0 kg·hm⁻²增加,磷肥利用率平均由 25.6%→13.2%降低;当施钾量由 30.0→90.0 kg·hm⁻²增加,钾肥利用率平均由 31.1%→11.8%降低,呈明显降低趋势。

5) 随施肥水平增加,全膜覆土穴播小麦氮、磷、钾肥料利用效率呈明显降低趋势。施氮量由 60.0→180.0 kg·hm⁻²、90.0→270.0 kg·hm⁻²增加,全膜覆土穴播小麦氮肥料利用效率平均由 12.4→5.9 kg·kg⁻¹降低;当施磷量由 45.0→135.0 kg·hm⁻²、60.0→180.0 kg·hm⁻²增加,小麦磷肥利用效率平均由 25.9→13.4 kg·kg⁻¹降低;当施钾量由 30.0→90.0 kg·hm⁻²增加,小麦钾肥利用效率平均由 10.7→4.1 kg·kg⁻¹降低。

参 考 文 献:

[1] 李 福,李城德,刘广才,等.甘肃发展旱地全膜覆土穴播技术

的重要意义[J].农业科技与信息,2010,(23):3-4,27.

[2] 李 福,李城德,刘广才,等.旱地全膜覆土穴播免耕多茬种植技术[J].中国农技推广,2011,27(1):24-25,19.
[3] 李 福,刘广才.甘肃省小麦全膜覆土穴播技术的增产效果[J].农业科技与信息,2011,(23):3-4.
[4] 何春雨,周祥椿,杜久元,等.全膜覆土免耕穴播栽培技术对冬小麦产量效应的研究[J].农业现代化研究,2010,31(6):746-749.
[5] 侯慧芝,吕军峰,张绪成,等.陇中半干旱区全膜覆土穴播小麦的土壤水分及产量效应[J].作物杂志,2010,(1):21-25.
[6] 刘晓伟,何宝林,康恩祥,等.播种方式对旱区冬小麦产量及土壤水分、土壤温度的影响[J].作物杂志,2011,(5):77-81.
[7] 李 福,刘广才,李城德,等.旱地小麦全膜覆土穴播技术的土壤水分效应[J].干旱地区农业研究,2013,31(4):73-78,98.
[8] 袁 伟,薛福元.泾川县旱塬区全膜覆土穴播冬小麦“3414”施肥试验[J].甘肃农业科技,2013,(2):27-29.
[9] 张平良,郭天文,侯慧芝,等.半干旱区全膜覆土穴播小麦高产施肥技术研究[J].作物杂志,2011,(6):99-101.
[10] 许 婷,张平良,郭天文,等.全膜覆土穴播小麦养分积累规律及其水分利用效率研究[J].甘肃农业大学学报,2011,46(3):22-27.

(上接第 163 页)

因此,综合考虑间作体系作物产量优化和种间竞争互补等因素,在本试验中,玉米种植行距在 45 cm 左右时是大豆/玉米体系产量优化的最佳配置。这也与赵建华等^[17]在豌豆/玉米间作体系玉米行距试验中玉米最佳行距为 40 cm 的结果相印证。

本研究仅从大豆/玉米间作体系中玉米行距变化对于间作体系产量的影响进行了初步的分析,而对于玉米种植行距变化对作物对于地上部、地下部空间资源利用的影响机理有待于在今后的工作中开展。

参 考 文 献:

[1] 刘巽浩.耕作学[M].北京:中国农业出版社,1994:154-155.
[2] 李 隆.间作作物种间促进与竞争作用研究[D].北京:中国农业大学,1999.
[3] Mao L L, Zhang L Z, Li W Q, et al. Yield advantage and water saving in pea/maize intercrop[J]. Field Crop Research, 2012,138(3):11-20.
[4] 张恩和,李玲玲,黄高宝,等.供肥对小麦间作蚕豆群体产量及根系的调控[J].应用生态学报,2002,13(8):939-942.
[5] Vandermeer J. The Ecology of Intercropping[M]. New York: Cambridge University Press, 1989.
[6] 齐万海,柴 强.不同隔根方式下间作小麦玉米的竞争能力及产量响应[J].中国生态农业学报,2010,18(1):31-34.

[7] 李淑敏,李 隆,张福锁.玉米/鹰嘴豆间作对有机磷利用差异的研究[J].中国科技导报,2004,6(3):45-49.
[8] 宋 日,牟 瑛,王玉兰,等.玉米、大豆间作对两种作物根系形态特征的影响[J].东北师大学报,2002,34(3):83-86.
[9] 高 阳,段爱旺,刘祖贵,等.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[J].中国农学通报,2009,25(2):214-221.
[10] Willey R W. Intercropping its importance and research needs, Part I. Competition and yield advantage[J]. Field Crops Research, 1979, 32:1-10.
[11] Trenbath B R. Resource Use by Intercrops: In Multiple Cropping Systems[M]. New York: Macmillan Publishing Co., 1986:57-81.
[12] Willey R W, Rao M R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops[J]. Experimental Agriculture, 1980,16:117-125.
[13] Lesoing G W, Francis C A. Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean[J]. Agronomy Journal, 1999,91:807-813.
[14] 吕 越,吴普特,陈小莉,等.地上部与地下部作用对玉米/大豆间作优势的影响[J].农业机械学报,2014,45(1):129-136.
[15] 高 阳,段爱旺,刘祖贵,等.玉米和大豆条带间作模式下的光环境特性[J].应用生态学报,2008,19(6):1248-1254.
[16] Davis J H C, Woolley J N. Genotypic requirement for intercropping[J].Field Crops Research, 1993,34:407-430.
[17] 赵建华,孙建好,李 隆,等.改变玉米行距种植对豌豆/玉米间作体系产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(11):1451-1456.