

覆膜对玉米 || 豌豆作物生产力及 种间互作的影响

赵建华, 孙建好, 李伟绮

(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)

摘要:于2012年和2013年在甘肃河西走廊灌区设置8种植方式:单作豌豆不覆膜(P)、单作豌豆覆全膜(FP)、单作玉米不覆膜(M)、单作玉米覆全膜(FM)、玉米||豌豆不覆膜(M/P)、覆条膜玉米||不覆膜豌豆(FM/P)、不覆膜玉米||覆条膜豌豆(M/FP)、玉米||豌豆覆全膜(FM/FP),通过测定作物产量和产量构成因子,分析种间互作效应指标,以明确覆膜对玉米||豌豆作物产量、体系生产力及种间互作效应的影响。结果表明:试验期间,各间作模式土地当量比(Land equivalent ratio, *LER*)值均大于1.00, M/FP和FM/FP模式 LER 显著高于M/P和FM/P模式;覆膜对单作豌豆产量无显著影响, M/FP和FM/FP模式中豌豆产量较M/P平均分别提高24.1%和32.5%, FM模式较M模式平均增产24.2%。覆膜对间作玉米产量无显著影响, FM/P和FM/FP模式加权产量较M/P模式平均分别提高35.2%和35.1%, 较M/FP模式提高16.3%和16.2%。FM/FP模式中豌豆单株粒数和单株粒重较M/P模式平均增加43.7%和60.3%, 覆膜对间作玉米穗粒数无显著影响, FM/P和FM/FP模式间作玉米百粒重较M/P模式平均增幅分别为5.2%和10.3%。各模式相对产量(Relative Yield of Mixtures, *RYM*)均大于1.0, 间作物相对竞争强度(Relative competition intensity, *RCI*)均为负值, FM/P和FM/FP模式中玉米相对竞争强度(RCI_m)均显著高于M/P和M/FP模式。间作物间以种间促进为主, 豌豆相对于玉米的资源竞争力 A_{pm} 均为负值, 玉米是竞争优势作物。因此, 甘肃河西走廊灌区玉米||豌豆覆全膜或玉米覆条膜可有效提高间作玉米产量和资源竞争力。

关键词:覆膜; 玉米||豌豆; 产量; 土地当量比; 种间竞争

中图分类号:S344.2 文献标志码:A

Effect of film mulching on productivity and interspecific interaction in maize-pea intercropping system

ZHAO Jianhua, SUN Jianhao, LI Weiqi

(Institute of Soil Fertilizer and Water-Saving Agriculture, Gansu Academy of
Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A field experiment was conducted in Hexi Corridor irrigation area of Gansu in 2012 and 2013, with 8 planting patterns including sole pea without mulching (P), sole pea with mulching (FP), sole maize without mulching (M), sole pea with mulching (FM), maize intercropped with pea without mulching (M/P), maize with mulching intercropped with pea without mulching (FM/P), maize without mulching intercropped with pea with mulching (M/FP), and maize with mulching intercropped with pea with mulching (FM/FP). The productivity and interspecific interaction in maize-pea intercropping system were evaluated based on grain yield, yield component factor, *LER* and indexes of interspecific interaction, such as relative yield of mixtures (*RYM*), relative competition intensity (*RCI*), aggressivity (*A*) to clarify the effects of film-mulching planting in intercropping system on productivity and interspecific interaction. The results showed that the land equivalent ratio (*LER*) values in all intercropping patterns were greater than 1.00, and the *LER* values of M/FP and FM/FP were significantly higher than those of M/P and FM/P. There was no significant effect on yield of sole pea. Compared to M/P, the yields of inter-

cropped pea in M/FP and FM/FP were increased by 24.1% and 32.5%, respectively, but the yield of intercropped maize was not significantly affected by film mulching. Compared to M/P, two years' average weight of FM/P and FM/FP were increased by 35.2% and 35.1%, respectively. Compared to M/FP, they increased by 16.3% and 16.2%, respectively. Compared to M/P, the grain per plant and grain weight per plant of intercropped pea in FM/FP were increased by 43.7% and 60.3%, respectively, and the grain numbers per spike of intercropped maize was not affected by film mulching. Compared to M/P, two years' average of 100-seeds weight of intercropped maize in FM/P and FM/FP increased by 5.2% and 10.3%, respectively. The relative yield of mixtures (RYM) of all intercropping patterns were greater than 1.0, and the relative competition intensity (RCI) were negative, the relative competition intensity of maize (RCI_m) in FM/P and FM/FP were significantly higher than those of M/P and M/FP, the interspecific interaction mainly was intraspecific competition, the aggressivity of pea relative to maize (A_{pm}) were negative, indicating that maize was the greater competitor in maize-pea intercropping system. Therefore, both intercropped crops with mulching or intercropped maize with mulching in maize-pea intercropping system efficiently improved yield of intercropped maize and strengthen the competition ability of maize to resource, and increased the intercropping system productivity in Hexi Corridor in Gansu Province.

Keywords: mulching; intercropping maize with pea; yield; land equivalent ratio; interspecific competition

甘肃河西走廊灌区光热资源丰富,适宜发展间套作种植,该区域间套作种植模式多样,其中玉米 (*Zea mays* L.) || 豌豆 (*Pisum sativum* L.) 是当地农户较为普遍采用的禾本科 || 豆科间作模式。基本的生态学理论认为,间作作物种植在一起,种间相互作用(种间竞争与互补)必然同时发生,由于间作物种存在生物学特性差异,因此对资源需求会产生时间和空间上的生态位分离,从而促成间作物种种间相互作用对资源的高效利用^[1-4],这正是间作种植体系发挥间作优势的內因。据此,若间作物种植环境变化将直接导致间作物种对其环境资源利用的变化,从而影响间作体系作物生产力及间作物种间相互作用。有大量研究关注间作体系作物种间配置、空间布局、水氮资源的供应水平等对间作体系作物产量和种间相互作用的影响^[5-7];也有众多学者针对玉米 || 豌豆体系做了此类研究,如刘淑梅等^[6]研究发现在玉米 || 豌豆体系中,玉米种植行距变化对间作作物产量和种间竞争力影响显著;滕园园等^[7]发现在玉米 || 豌豆体系中适当氮肥后移可提升体系经济产量和作物水分利用效率;不同的根系分隔方式^[8]、不同的供氮水平^[9-10]亦会影响玉米 || 豌豆体系种间互作效应。

在水资源匮乏的河西走廊灌区,地膜覆盖成为当地农户普遍采用的保水保温种植方式。研究表明,地膜覆盖可有效提高作物产量,减少地面水分散失,保持土壤温度,提高水分利用效率^[11-13]。以往对于作物覆膜的研究多关注单作种植体系,对于间作体系中作物覆膜后产量产生怎样的变化,种间互作效应又产生怎样的变化关注较少,本研究以玉

米间作豌豆体系为研究对象,针对间作体系作物覆膜效应对间作作物产量、产量构成因子、种间互作的影响开展研究,旨在探明间作作物覆膜对玉米 || 豌豆体系作物产量和种间互作效应的影响;以期为河西走廊灌区玉米 || 豌豆合理采用覆膜方式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2012年和2013年在甘肃省农科院张掖节水农业试验站进行(100°26'E, 38°56'N),海拔1570 m,平均年日照时数3085 h,昼夜温差13.00~16.07℃,年平均气温7℃,≥0℃积温3388℃,≥10℃积温2896℃,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2075 mm,年降水量不足130 mm,干旱指数达10.3,属于典型的干旱灌溉农业区。2012年降水量105.2 mm,2013年降水量125.7 mm,地下水埋深68~73 m,地下水位年变幅1.0 m左右。土壤有机质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

试验包括8种植植模式,分别为单作豌豆不覆膜(P)、单作豌豆覆全膜(FP)、单作玉米不覆膜(M)、单作玉米覆全膜(FM)、玉米 || 豌豆间作不覆膜(M/P)、覆条膜玉米 || 不覆膜豌豆(FM/P)、不覆膜玉米 || 覆条膜豌豆(M/FP)、玉米 || 豌豆覆全膜(FM/FP)。采用完全随机区组设计,小区面积7.2 m×4.5 m=32.4 m²,重复3次。间作带幅1.2 m,4:

2 种植,即 4 行豌豆,2 行玉米,豌豆行距 0.2 m,株距 0.2 m,玉米行距 0.2 m,株距 0.2 m;单作豌豆种植规格同间作豌豆;单作玉米等行距种植,行距 0.3 m,株距 0.4 m。豌豆播种时间 2012 年为 3 月 25 日,2013 年为 3 月 23 日,收获时间 2012 年为 7 月 7 日,2013 年为 7 月 5 日;玉米播种时间 2012 年为 4 月 19 日,2013 年为 4 月 20 日,收获时间 2012 年为 10 月 10 日,2013 年为 10 月 8 日。

施肥量为 N 300 kg · hm⁻², P₂O₅ 120 kg · hm⁻², 将 1/3 氮肥与全部磷肥作为基肥,剩余氮肥分别按玉米大喇叭口期 1/3、抽雄期 1/3 追施于玉米种植带。豌豆供试品种为“MZ-1”,玉米品种为“郑单 958”。播种时采用点播器点播,出苗后间苗以保证 1 穴 1 株。采用水表定量灌溉,单次灌水量 1 050 m³ · hm⁻²,全生育期灌水 5 次。

1.3 样品采集

作物收获期,间作选取小区中间种植带,按作物种植带整带幅收获测产,测产面积豌豆 0.8 m×4.5 m=3.6 m²,玉米 0.4 m×4.5 m=1.8 m²,单作收获与间作同等面积的作物籽粒进行计产。在作物测产区域以外随机取样株 10 株进行作物生物学性状及产量构成的考察,豌豆调查豆荚数、豆粒数、百粒重等;玉米调查株高、穗位、穗粒数、百粒重等。

1.4 数据计算

1.4.1 土地当量比 土地当量比(Land equivalent ratio, *LER*)常用于衡量间作优势,其意义在于单作要获得与间作相同的产量所需要的耕地面积^[14]。

$$LER = (Y_{ip} / Y_{sp}) + (Y_{im} / Y_{sm}) \quad (1)$$

式中, Y_{ip} 和 Y_{im} 分别代表间作总面积上豌豆和玉米的产量; Y_{sp} 和 Y_{sm} 分别为单作豌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。其中 Y_{ip}/Y_{sp} 和 Y_{im}/Y_{sm} 分别为豌豆和玉米的偏土地当量比(Partial land equivalent ratio, *PLER*),其意义在于要获得与间作组分作物同等产量所需要的单作物面积。

1.4.2 加权产量(Weighted mean) 采用加权平均方法,将间作体系中两种作物单作时的产量以间作时所占有的面积比例为权重加权平均。

$$\text{加权产量} = Y_{sp} \times Z_p + Y_{sm} \times Z_m \quad (2)$$

式中, Y_{sp} 和 Y_{sm} 意义同式(1)。 Z_p 和 Z_m 表示豌豆和玉米在间作体系中所占的面积比例,在本研究中, Z_p 和 Z_m 分别为 0.67 和 0.33。

1.4.3 相对产量 相对产量(Relative Yield of Mixtures, *RYM*)^[15] 表明间作与单作相比的产量贡献大小。

$$RYM = (Y_{ip} + Y_{im}) / (Y_{sp} \times Z_p + Y_{sm} \times Z_m) \quad (3)$$

式中, Y_{ip} 和 Y_{im} , Y_{sp} 和 Y_{sm} 意义同式(1)。 Z_p 和 Z_m 意义同式(2)。 *RYM* 表示复合群体产量占各作物单作产量的比例, $RYM > 1$ 表示复合群体存在种间促进作用,间作具有产量优势, $RYM < 1$ 表示存在种间竞争,具有产量劣势, $RYM = 1$ 表示没有种间相互作用。

1.4.4 相对竞争强度 相对竞争强度(Relative Competition Intensity, *RCI*)^[16] 表示特定作物组合的竞争能力,根据作物产量和生物量计算得出,计算公式如下:

$$RCI_p = [(Y_{sp} \times Z_p) - Y_{ip}] / (Y_{sp} \times Z_p) \quad (4)$$

$$RCI_m = [(Y_{sm} \times Z_m) - Y_{im}] / (Y_{sm} \times Z_m)$$

当 $RCI = 0$,表示种间竞争等于种内竞争;当 $RCI > 0$ 时,表示种间竞争更高;当 $RCI < 0$ 时,表示种内竞争更高。

1.4.5 资源竞争力 资源竞争力(Aggressivity, *A*)^[17] 指间作体系中一种作物相对于另一种作物对水分、养分等产量形成相关资源的竞争力。

$$A_{pm} = Y_{ip} / (Y_{sp} \times Z_p) - Y_{im} / (Y_{sm} \times Z_m) \quad (5)$$

式中,当 $A_{pm} > 0$,表明豌豆竞争力强于玉米; $A_{pm} < 0$,玉米竞争力强于豌豆。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2013 进行数据处理和绘图,采用 SAS 8.0 统计分析软件用 LSD 法对各处理间在 5% 水平上的差异显著性进行检验。

2 结果与分析

2.1 覆膜对玉米 || 豌豆 *LER* 的影响

2 a 试验结果显示,各间作模式土地当量比值介于 1.26~1.89 之间,均大于 1(表 1)。2 a 中均是以 FM/P 模式的土地当量比最低,分别为 1.26(2012 年)和 1.57(2013 年);M/FP 和 FM/FP 模式土地当量比 2 a 平均分别为 1.72 和 1.66;对于豌豆偏土地当量比, M/FP 和 FM/FP 模式均显著高于 M/P 和 FM/P 模式;玉米偏土地当量比 2 a 均为 FM/FP 模式最低,且显著低于 M/P。

2.2 覆膜对玉米 || 豌豆作物产量和相对产量的影响

覆膜对单作豌豆产量无显著影响,覆膜条件下的间作豌豆产量显著高于不覆膜(表 2),2 a 对比来看, M/FP 和 FM/FP 模式间作豌豆产量较 M/P 平均提高 24.1% 和 32.5%,较 FM/P 模式平均提高了 18.7% 和 26.8%;单作玉米覆膜显著增产, FM 较 M 产量 2 a 平均提高 24.2%,但覆膜对间作玉米产量

无显著影响。各间作系统加权产量对比,2 a 平均,FM/P 和 FM/FP 加权产量较 M/P 提高 35.2% 和 35.1%,较 M/FP 提高 16.3% 和 16.2%。

2 a 中,各间作模式相对产量 RYM 均大于 1(图 1),2012 年,M/FP 模式相对产量显著高于 FM/P 和 FM/FP 模式,2013 年各模式相对产量无显著差异;2 a 中相对产量最大值均出现在 M/FP 模式,分别为 1.79(2012 年)和 2.22(2013 年)。

2.3 覆膜对作物产量构成因子的影响

覆膜对单作豌豆单株粒数和单株粒重无显著影响(表 3),间作模式中,FM/FP 豌豆产量构成因子

表 1 覆膜对玉米 || 豌豆土地当量比的影响

Table 1 The effect of film mulching on land equivalent ratio in maize-pea intercropping system

年份 Year	种植方式 Planting pattern	豌豆偏土地当量比 PLER of pea	玉米偏土地当量比 PLER of maize	土地当量比 Land equivalent ratio
2012	M/P	0.69±0.07b	0.66±0.04a	1.35±0.10ab
	FM/P	0.71±0.04b	0.55±0.05b	1.26±0.09b
	M/FP	0.87±0.06a	0.68±0.02a	1.56±0.05a
	FM/FP	0.90±0.08a	0.53±0.04b	1.43±0.12ab
2013	M/P	0.69±0.02b	0.88±0.08a	1.57±0.06b
	FM/P	0.82±0.08b	0.75±0.07ab	1.57±0.09b
	M/FP	1.04±0.09a	0.83±0.07ab	1.87±0.10a
	FM/FP	1.16±0.05a	0.73±0.03b	1.89±0.03a

注:表中数据为平均值±标准差($n=3$),同列数据中不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: The data were means ± S.E. ($n=3$). Values in the same column followed by different lowercase letters were significantly different among different treatments ($P<0.05$), the same below.

表 2 覆膜对玉米 || 豌豆作物产量的影响/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 2 The effect of film mulching on yield in maize-pea intercropping system

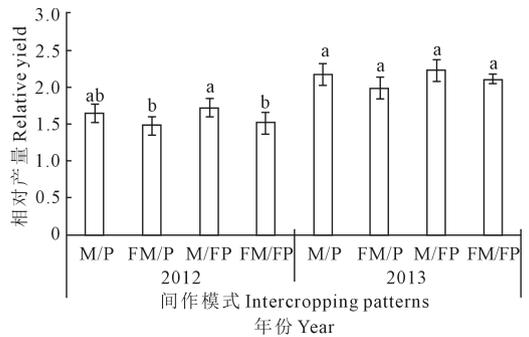
年份 Year	种植模式 Planting pattern	豌豆 Pea	玉米 Maize	加权产量 Weighted mean
2012	P	4537.3±325.5b		
	FP	4611.4±338.0b		
	M		16074.9±412.4c	
	FM		20482.5±538.0b	
	M/P	5111.4±441.0b	32409.0±669.8a	8383.1±343.7b
	FM/P	4833.6±588.0b	33742.4±2630.3a	9852.3±265.7a
	M/FP	6037.3±195.1a	32964.6±1722.6a	8432.5±117.8b
	FM/FP	6241.4±224.5a	30334.9±4572.0a	9901.7±392.2a
2013	P	3259.4±169.7b		
	FP	3370.5±115.7b		
	M		15877.3±1680.0c	
	FM		19210.8±452.6c	
	M/P	3500.2±55.6b	41705.8±1032.4ab	5292.4±560.0c
	FM/P	4166.9±433.9ab	43113.3±4018.7a	8650.6±137.7a
	M/FP	4648.4±1051.7ab	39298.3±390.2b	7465.4±499.0b
	FM/FP	5166.9±822.2a	42002.1±1127.7ab	8576.6±62.1a

显著高于其他模式。相比 M/P、FM/P 和 M/FP 模式,FM/FP 模式单株粒数 2 a 平均分别高出 6.8、4.6 粒·株⁻¹和 5.6 粒·株⁻¹;单株粒重 2 a 平均分别高出 18.5、6.9 g·株⁻¹和 9.4 g·株⁻¹。

覆膜对单作玉米穗粒数和百粒重无显著影响,对间作玉米穗粒数和百粒重影响显著(表 4)。2012 年,FM/P 中玉米的穗粒数显著低于其他间作模式,2013 年各间作模式玉米穗粒数无显著差异;然而,2012 年 FM/P 和 FM/FP 模式的玉米百粒重显著高于 M/P 和 M/FP,2013 年 FM/FP 模式玉米百粒重显著高于其他间作模式。对比来看,FM/FP 玉米的百粒重分别较 M/P 模式高 3.8 g(2012 年)和 2.9 g(2013 年)。

2.4 覆膜对玉米 || 豌豆种间互作的影响

2 a 中,各间作模式中豌豆相对竞争强度 RCI_p 、玉米相对竞争强度 RCI_m 和豌豆相对于玉米的竞争力 A_{pm} 均小于 0,且存在显著差异(表 5)。2 a 中,豌豆相对竞争强度 RCI_p 均是 M/P 和 FM/P 显著高于



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the figure indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$).

图 1 覆膜对间作模式相对产量的影响

Fig.1 The effect of film mulching on relative yield of intercropping pattern

表 3 覆膜对各处理中豌豆产量性状的影响

Table 3 Effects of film mulching on yield component of pea in different treatments

年份 Year	种植模式 Planting pattern	单株粒数 Grain number per plant	单株粒重/g Grain weight per plant
2012	P	14.8±3.3d	25.2±3.4d
	FP	17.3±0.7cd	26.2±3.5d
	M/P	19.5±2.0bc	36.3±4.2c
	FM/P	21.7±2.7b	50.8±7.3ab
2013	M/FP	18.9±0.7bcd	41.5±5.3bc
	FM/FP	27.3±3.4a	55.2±8.2a
	P	11.2±2.7b	19.4±3.6c
	FP	11.4±1.2b	24.9±2.7c
2013	M/P	11.4±1.4b	24.9±3.5c
	FM/P	13.6±1.4ab	33.6±1.2b
	M/FP	14.3±3.0ab	37.8±5.8ab
	FM/FP	17.1±4.3a	42.9±2.5a

表 4 覆膜对各处理中玉米产量性状的影响

Table 4 Effect of film mulching on yield component of maize in different treatments

年份 Year	种植模式 Planting pattern	穗粒数 Grain number per pike	百粒重/g 100-seed weight
2012	M	607.2±12.8a	33.3±0.1a
	FM	624.1±39.7a	34.7±0.6a
	M/P	473.8±20.6b	29.9±1.8b
	FM/P	408.0±8.7c	33.1±1.2a
	M/FP	480.8±21.8b	29.6±0.1b
	FM/FP	451.0±23.1b	33.7±0.9a
2013	M	579.2±15.3a	36.9±0.7abc
	FM	569.5±26.3ab	37.4±0.5ab
	M/P	537.2±28.9abc	35.3±1.2c
	FM/P	503.5±25.1c	35.5±1.3c
	M/FP	498.1±23.3c	36.0±0.9bc
	FM/FP	525.6±33.6bc	38.2±1.3a

表 5 覆膜对玉米 || 豌豆作物竞争的影响

Table 5 The effect of film mulching on competition ability between pea and maize in maize-pea intercropping system

年份 Year	种植模式 Planting pattern	豌豆相对竞争强度 RCI_p	玉米相对竞争强度 RCI_m	豌豆相对于玉米的竞争能力 A_{pm}
2012	M/P	-0.04±0.12a	-1.00±0.13b	-0.96±0.10c
	FM/P	-0.06±0.08a	-0.66±0.17a	-0.60±0.09b
	M/FP	-0.30±0.11b	-1.07±0.08b	-0.77±0.17bc
	FM/FP	-0.31±0.09b	-0.59±0.14a	-0.25±0.04a
2013	M/P	-0.03±0.04a	-1.83±0.03b	-1.62±0.34b
	FM/P	-0.23±0.15a	-1.27±0.24ab	-1.04±0.31a
	M/FP	-0.55±0.16b	-1.67±0.07ab	-0.95±0.34a
	FM/FP	-0.73±0.09b	-1.21±0.10a	-0.48±0.19a

M/FP 和 FM/FP; 2012 年, 玉米相对竞争强度 RCI_m 表现为 FM/P 和 FM/FP 显著高于 M/P 和 M/FP, 而 2013 年表现为 FM/FP 显著高于 M/P; 豌豆相对于玉米的竞争能力 A_{pm} 表现为 2012 年 FM/FP 模式显著高于其他模式, 2013 年 M/P 模式显著低于其他模式, 而 FM/P、M/FP 和 FM/FP 模式间无显著差异。

3 讨论

3.1 覆膜对玉米 || 豌豆作物生产力的影响

单作种植体系中, 覆膜提高作物产量的效应已被大量证实, 同样地, 覆膜在间作体系中也具有明显的增产效应; 李伟琦等^[18]研究表明, 玉米 || 豌豆覆膜较不覆膜可有效提高作物产量。方旭飞等^[19]研究玉米 || 大豆覆盖表明, 间作玉米地膜覆盖较单作覆膜可增产 10.15%。在本研究中, M/FP 和 FM/FP 相对 M/P 模式间作豌豆产量分别提高了 24.1% 和 32.5%, 覆膜对间作玉米产量有所提高, 但差异未达显著水平(表 2), 说明玉米 || 豌豆中豌豆覆膜可显著提高其产量, 玉米覆膜产量提高不显著(表 2)。间作作物覆膜, 直接改变了间作作物生长的微环境^[20], 进而改变作物产量, 整个间作体系生产力也

必然产生变化。本研究中, 玉米覆膜的间作体系 (FM/P 和 FM/FP) 加权产量显著高于玉米不覆膜间作体系 (M/P 和 M/FP), 这表明间作玉米覆膜是提高玉米 || 豌豆生产力的关键(表 2)。Mao 等^[21]研究玉米间作豌豆不同行比种植和覆膜方式对作物产量的影响发现, 覆膜对间作体系土地当量比无显著影响。本研究中, 各间作模式土地当量比均大于 1.00(表 1), 豌豆覆膜后偏土地当量比显著提升, 而玉米覆膜后偏土地当量比反而下降, 就体系而言, FM/P 土地当量比最小, 而其体系产量反而显著提高, 这些均表明, 玉米 || 豌豆无论覆膜与否, 相对单作均具有间作优势; 于爱忠等^[22]研究供水和覆膜对玉米产量的影响发现全膜覆盖结合高供水可有效提高玉米穗粒数和粒重等产量构成因子。本研究发间作覆全膜 FM/FP 中豌豆单株粒数和单株粒重均显著高于不覆膜, 其玉米百粒重也显著高于不覆膜(表 3, 表 4), 表明玉米 || 豌豆覆全膜可显著提升间作作物产量性状, 这归因于覆膜后作物水热环境的改善。

3.2 覆膜对玉米 || 豌豆作物种间关系的影响

大量研究表明, 间作物种配置、空间布局、种植环境等的变化均能引起间作物种间竞争力的变化^[23-26]。间作物由于不同的生长特性会形成对环境资源(水分、养分等)利用的时空生态位差异^[27]。本研究中, 间作体系中作物覆膜改变了间作物生长环境, 进而改变了间作物对周边资源的获取能力, 形成作物间的时空生态位差异。竞争和互补是间作体系中同一种间关系的两个方面, 且种内、种间的竞争和互补作用同时存在^[28-30]。在本研究中, 各间作模式豌豆相对竞争强度 RCI_p 和玉米相对竞争强度 RCI_m 均为负值, 相对产量 RYM 均大于 1.0, 这充分表明玉米 || 豌豆是互惠的体系, 间作物种的种内竞争占据主导地位, 种间竞争相对较弱。多项研究发现种间竞争作用驱动间作体系中作物产量优势发挥, 使间作体系生产力提升^[31-33]。在本研究中, 各间作模式的豌豆相对于玉米的资源竞争能力 A_{pm} 均为负值(表 5), 这表明在玉米和豌豆共同生长期, 豌豆处于竞争劣势, 玉米是竞争优势作物, FM/FP 的 A_{pm} 显著高于其他间作模式, 表明间作覆全膜能显著提高间作豌豆的资源竞争能力, 而 2 a 中 M/P 的 A_{pm} 均最小, M/FP 和 FM/P 次之, 这表明玉米 || 豌豆体系中对豌豆或者玉米覆膜均可提升豌豆的资源竞争能力, 但玉米仍然在竞争中占主导地位。Zhang 等^[34]研究玉米与小麦和大麦间作后资源竞争能力差异, 发现玉米在被覆膜的情况下资源竞

争能力增强,强于小麦和大麦。本研究中,FM/P 和 FM/FP 模式玉米相对竞争强度 RCI_m 均高于 M/P 和 M/FP,说明玉米覆膜后资源竞争力增强。

4 结 论

本研究条件下,各模式土地当量比均大于 1,间作优势明显;间作豌豆覆膜可有效提高产量,而间作玉米覆膜产量提升不显著,但间作玉米覆膜的系统加权产量优势明显;覆膜显著增加间作豌豆的单株粒数和单株粒重,覆膜对间作玉米穗粒数影响不显著,显著提升间作玉米百粒重;各模式作物相对竞争强度小于 0.00,间作作物主要以种内竞争为主,豌豆相对于玉米的资源竞争力 A_{pm} 小于 0.00,玉米是竞争优势作物,因此,间作系统覆全膜或玉米覆条膜均可显著提升间作玉米的产量和资源竞争力。

参 考 文 献:

[1] 李隆. 间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望 [J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(4): 403-415.

[2] 赵建华,孙建好,李伟琦. 玉米播期对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11):1634-1642.

[3] Zhang F S, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency [J]. Plant and Soil, 2003, 248:305-312.

[4] Xiao Y B, Li L, Zhang F S. Effect of root contact on interspecific competition and N transfer between wheat and faba bean using direct and indirect ^{15}N techniques [J]. Plant Soil, 2004, 262:45-54.

[5] Liu X, Rahman T, Song C, et al. Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping [J]. Field Crops Research, 2018, 224: 91-101.

[6] 刘淑梅,黄鹏,柴强,等. 空间布局对玉米/豌豆种间竞争力及产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(2): 61-65.

[7] 滕园园,赵财,柴强,等. 氮肥后移对玉米间作豌豆耗水特性的调控效应[J]. 作物学报, 2016, 42(3): 446-455.

[8] 齐万海,柴强. 不同隔根方式下间作小麦玉米的竞争力及产量响应[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 31-34.

[9] Hu F L, Gan Y T, Chai Q, et al. Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize/pea strip intercropping [J]. Field Crops Research, 2016, 198:50-60.

[10] Zhao C, Chai Q, Zhao Y H, et al. Interspecific competition and complementation is a function of N management in maize-pea intercropping systems [J]. Crop Science, 2016, 56(6):3286-3294.

[11] 张德奇,廖允成,贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005,23(1):208-213.

[12] 张礼军,鲁清林,白斌,等. 施肥和地膜覆盖对黄土高原旱地冬小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 草业学报, 2019,28(4):70-80.

[13] 孙仕军,姜浩,陈志君,等. 不同颜色地膜覆盖下春玉米主要生长性状对耕层积温的响应[J]. 草业学报,2019,28(2):61-72.

[14] Willey, R W. Intercropping its importance and research needs, Part I: Competition and yield advantage [J]. Field Crops Research, 1979, 32:1-10.

[15] Williams A C, McCarthy B C. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs [J]. Ecological Research, 2001, 16(1):29-40.

[16] Dhima K V, Lithourgidis A S, Vasilakoglou I B, et al. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio [J]. Field Crops Research, 2007, 100(2-3):249-256.

[17] Willy R W, Rao M R. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops [J]. Experimental Agriculture, 1980, 16(2): 117-125.

[18] 李伟琦,孙建好,赵建华. 覆膜对玉米间作豌豆干物质积累与分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016,(5):118-123.

[19] 方旭飞,张钟莉,王丽学,等. 不同覆盖方式和种植模式对土壤水热与玉米产量的影响[J]. 节水灌溉, 2017,(12):39-43.

[20] Liakatas A, Clark J A, Monteith J L. Measurements of the heat balance under plastic mulches. Part 1. Radiation balance and soil heat flux [J]. Agricultural and Forest Meteorology. 1986, 36:227-239.

[21] Mao L L, Zhang L Z, Li W Q, et al. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop [J]. Field Crops Research, 2012, 138: 11-20.

[22] 于爱忠,柴强. 供水与地膜覆盖对干旱灌区玉米产量的影响[J]. 作物学报, 2015,41(5):778-786.

[23] Dong N, Tang M M, Zhang W P, et al. Temporal differentiation of crop growth as one of the drivers of intercropping yield advantage [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):3110.

[24] 赵建华,孙建好,陈伟,等. 不同作物与玉米间套作对玉米产量和生物量累积的影响[J]. 作物杂志, 2013, (4): 120-125.

[25] 张桂国,董树亭,杨在宾. 苜蓿+玉米间作系统产量表现及其种间竞争力的评定[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 22-30.

[26] 赵建华,孙建好,樊廷录,等. 玉米行距对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015,33(3):159-163, 183.

[27] Li L, Tilman D, Lambers H, et al. Plant diversity and over yield: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture [J]. New Phytologist, 2014, 203(1):63-69.

[28] Zhang G G, Yang Z B, Dong S T. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system [J]. Field Crops Research, 2011, 124(1):66-73.

[29] Li C, Dong Y, Li H, et al. The dynamic process of interspecific interactions of competitive nitrogen capture between intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) [J]. PLoS ONE, 2014, 9(12):1-17.

[30] Brooker R W. Plant-plant interactions and environmental change [J]. New Phytologist, 2006, 171(2):271-284.

[31] Willey R W. Intercropping: its importance and research needs. Part 2, Agronomy and research approaches [J]. Field Crop Abstracts, 1979, 32:73-85.

[32] Li L, Sun J H, Zhang F S, et al. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients [J]. Field Crops Research, 2001, 71(2):123-137.

[33] Li L, Sun J H, Zhang F S, et al. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping: II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting [J]. Field Crops Research, 2001, 71(3):173-181.

[34] Zhang W P, Liu G C, Sun J H, et al. Growth trajectories and interspecific competitive dynamics in wheat/maize and barley/maize intercropping [J]. Plant and Soil, 2015, 397(1-2):227-238.