

大豆品种或品种混合与玉米间作对间作体系多样性效应的影响

赵建华, 孙建好, 李伟琦, 吴科生, 陈亮之, 杨新强, 何旭刚, 杨 谋, 郑浩飞
(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: 明确不同大豆品种或品种混合与玉米间作对多样性效应的影响, 为河西走廊灌区玉米 || 大豆合理间作配置提供参考。于 2021—2022 年开展田间试验, 设置 6 个间作体系, 即玉米 || 长农 15(M || CN15)、玉米 || 陇中黄 601(M || LZH601)、玉米 || 陇豆 78-1(M || LD78-1)、玉米 || Williams82(M || Williams82)、玉米 || (陇豆 78-1+Williams82, M || 2SM)和玉米 || (长农 15+陇中黄 601+陇豆 78-1+Williams82, M || 4SM), 研究不同间作体系对作物产量、净效应、互补效应和选择效应的影响。结果表明, M || LZH601、M || LD78-1 体系大豆产量显著高于其他间作体系; M || LZH601 体系玉米产量与 M || CN15 体系玉米产量差异不显著, 但显著高于其余间作体系中玉米产量。间作大豆和间作玉米对间作混合产量的平均贡献率分别为 7.33%、92.67%。各间作体系 2 a 平均净效应值均大于 0, 其中 M || LZH601 体系净效应最高, 为 3 768.0 kg/hm²。M/Williams82、M || 2SM、M || 4SM 体系的互补效应值均小于 0, 对多样性效应的贡献率均为 0; M || CN15、M || LD78-1、M || LZH601 体系的互补效应值均大于 0, 选择效应对多样性效应的贡献率分别为 66.9%、65.3%、71.1%。综上, 玉米 || 大豆间作体系产量优势主要来源于玉米产量贡献, 生物多样性效应以选择效应为主, M || LZH601 体系可保证大豆和玉米产量稳定, 大豆品种混合后与玉米间作不利于间作产量优势发挥。

关键词: 玉米 || 大豆; 品种混合; 净效应; 互补效应; 选择效应

中图分类号: S565.1; S513

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)07-0654-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.07.011

Effects of Different Soybean Varieties or Mixture of Varieties Intercropped with Maize on Diversity Effects of Maize || Soybean Intercropping Systems

ZHAO Jianhua, SUN Jianhao, LI Weiqi, WU Kesheng, CHEN Liangzhi, YANG Xinqiang,
HE Xugang, YANG Mou, ZHENG Haofei
(Institute of Soil Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences,
Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: To clarify the effects of different soybean varieties or variety mixtures with maize intercropping on diversity effect of maize/soybean intercropping systems and to provide a reference for rational interspecific configuration of maize/soybean intercropping in irrigated areas of the Hexi Corridor, a field experiment was carried out from 2021 to 2022. 6 intercropping systems were established: maize || Changnong 15(M || CN15), maize || Longzhonghuang 601(M || LZH601), maize || Longdou 78-1(M || LD78-1), maize || Williams 82(M || Williams82), maize || (LD78-1+Williams82, M || 2SM), and maize || (CN15+LZH601+LD78-1+ Williams82, M || 4SM). Effects of different intercropping systems on crop yield, net effect, complementarity effect, and selection effect were investigated. Results showed that soybean yields in M || LZH601 and M || LD78-1 systems were significantly higher than those in other systems. Maize yield in M || LZH601 was not significantly different from M || CN15 but was significantly higher than those in the other intercropping systems. The average contributions to total mixed yield were 7.33% from soybean and 92.67% from maize. The 2-year average net effect was greater than 0 for all systems, with M || LZH601 having the highest net effect of 3 768.0 kg/ha. The complementarity effects in M || Williams82, M || 2SM, and M || 4SM were negative, contributing nothing to diversity effect; by contrast, M || CN15, M || LD78-1, and M || LZH601 had positive complementarity effects, with contribution rates of selection effects to diversity effects listed as 66.9%, 65.3%, and 71.1%, respectively. In conclusion, the yield advantage of maize/soybean intercropping mainly came from maize yield contribution. Diversity effect was primarily driven by selection effect. The M || LZH601 system ensured stable yields for both crops, while variety mixture intercropping with maize was not conducive to yield advantage expression.

Key words: Maize || soybean intercropping; Variety mixture; Net effect; Complementarity effect; Selection effect

收稿日期: 2025-01-13; 修订日期: 2025-06-11

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1900200); 甘肃省农业科学院中青年基金(2023GAAS36)。

作者简介: 赵建华 (1980—), 男, 内蒙古额济纳旗人, 副研究员, 主要从事间套作资源高效利用方面的研究工作。
Email: zhaojianhuatt@163.com。

间作是我国传统农业的精髓, 与传统单一种植相比较, 间作可增加农田生物多样性、提高作物产量、提升作物资源利用效率、控制病虫害等^[1-4]。研究表明, 间作种间配置是影响间作优势的因素之一, 通过调整物种搭配、种植密度、种间距离等因素可改变间作体系物种的时空生态位, 从而对间作物种产量以及间作体系生产力产生重要影响^[5-7]。在间作研究中, 土地当量比已广泛用于评价间作相对于单作的产量优势^[8-9]。2001年, Loreau 等^[10]提出了“Additive Partitioning”计算方法, 将间作产量优势定义为净效应, 且认为净效应包括互补效应和选择效应, 这 3 种效应被称为多样性效应, 也为间作体系产量优势评价提供了新的思路。研究表明, 间作产量优势是互补效应和选择效应共同作用的结果, 互补效应主要反映了间作物种时空生态位差异引起的竞争及竞争后的补偿, 而选择效应主要反映了间作体系中高产作物或低产作物在资源利用或产量增加上获利情况^[11]。因此, 深入地理解多样性效应在间作体系产量优势中的地位, 对于优化间作种间配置, 提高间作产量优势意义重大。

玉米 || 大豆是河西走廊灌区常见的间作种植模式之一。然而, 由于玉米和大豆同种同收, 共生期内玉米长期占据竞争优势, 造成大豆严重减产, 从而降低了体系的生产力^[12-13]。因此, 优选合适的大豆品种对甘肃河西走廊灌区玉米 || 大豆体系的高产至关重要。为此, 本研究选用了河西走廊灌区常见的 4 个大豆品种, 研究不同大豆品种以及不同品种混合与玉米间作对玉米 || 大豆体系生产力、作物产量、间作体系多样性效应的影响, 以期为河西走廊灌区玉米 || 大豆合理种间配置提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究于 2021—2022 年在甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站 (38° 56' N、100° 26' E) 进行, 当地海拔 1 570 m, 年均日照时数 3 085 h, 昼夜温差 13.00~16.07 °C, 年均气温 7 °C, ≥ 0 °C 积温 3 388 °C, ≥ 10 °C 积温 2 896 °C, 无霜期 153 d, 年降水量 130 mm, 年均蒸发量 2 075 mm。土壤类型为砂壤土, 0~200 cm 土壤容重为 1.376 g/cm³,

含有机质 22.6 g/kg、水解氮 100.0 mg/kg、速效磷 53.6 mg/kg、速效钾 111.0 mg/kg, pH 8.33。

1.2 试验材料

供试大豆品种长农 15 由长春市农业科学院大豆研究所选育, 陇中黄 601、陇豆 78-1 由甘肃省农业科学院作物研究所选育, Williams82 为美国大豆品种, 以上大豆品种均由国家作物种质资源库甘肃分库提供。玉米品种先玉 335 购自山东登海先锋种业有限公司。供试氮肥为尿素 ($N \geq 46\%$), 购自甘肃刘化(集团)有限责任公司; 磷肥为重过磷酸钙 ($P_2O_5 \geq 43\%$), 购自云南磷化集团海口磷业有限公司。

1.3 试验设计

试验共设 6 个间作模式, 分别为玉米 || 长农 15 (M || CN15)、玉米 || 陇中黄 601 (M || LZH601)、玉米 || 陇豆 78-1 (M || LD78-1)、玉米 || Williams82 (M || Williams82)、玉米 || (陇豆 78-1+Williams82, M || 2SM)、玉米 || (长农 15+ 陇中黄 601+ 陇豆 78-1+Williams82, M || 4SM)。大豆品种混合时, 每个品种籽粒数量相等。

种植方式包括玉米 || 大豆、大豆单作和玉米单作 3 种, 均等行距种植, 行距 50 cm、株距 20 cm (图 1)。大豆单作和玉米单作种植密度 10 万株/hm²; 玉米 || 大豆种植行比为 2 : 2, 即 2 行大豆, 2 行玉米, 间作带幅 2.0 m, 种植密度 5 万株/hm²。试验随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 24 m² (6 m × 4 m), 小区间隔 50 cm。作物均东西向种植。

各处理施肥量相同, 施用量为 N 300 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm², 其中 50% 氮肥和 100% 磷肥基施, 剩余 50% 氮肥在玉米大喇叭口期追施。灌水方式为传统灌溉, 生育期灌水 4 次, 单次灌水量 1 200 m³/hm²。人工除草, 其他管理措施均保持一致。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 作物产量 作物成熟时, 收获 2 行作物籽粒, 待晾干脱粒后计算产量。

1.4.2 多样性效应 净效应 (Net effect, NE), $NE > 0$ 表示多样性对间作体系生产力产生正效应; $NE < 0$ 表示产生负效应。互补效应 (Complementarity effect, CE), 较高的互补效应表示间作体系中有竞争的补偿, $CE > 0$, 表明间作相对于对应的单作生产力更具优势。选择效应 (Selection effect, SE), $SE >$

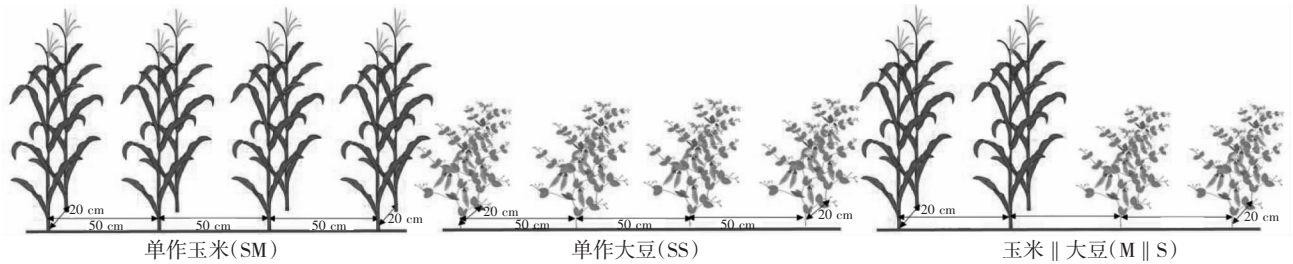


图 1 作物单/间作种植示意图

0 表示高产物种在间作中增产，并高于低产物种的产量增加； $SE < 0$ 表示低产物种在间作中增产^[14]。

$$NE = (Y_{il} + Y_{im}) - (Y_{sl} \times P_l + Y_{sm} \times P_m)$$

$$CE = \left(\left(\frac{Y_{il}}{Y_{sl}} + \frac{Y_{im}}{Y_{sm}} \right) - 1 \right) \times \left(\frac{Y_{sl} + Y_{sm}}{2} \right)$$

$$SE = NE - CE$$

式中， Y_{il} 和 Y_{im} 分别为间作大豆和玉米的产量； Y_{sl} 和 Y_{sm} 分别为单作大豆和玉米的产量。 P_l 和 P_m 分别表示大豆和玉米在间作体系中的面积占比，本研究大豆和玉米的面积占比均为 0.50。

1.4.3 多样性效应贡献率 多样性效应贡献率反映间作体系中互补效应和选择效应对净效应的贡献率，由于互补效应值有正有负，当互补效应值为负时，将贡献率定义为 0，相对应的选择效应贡献率即为 100%^[15]。

1.5 数据分析

使用 Excel 2016 软件进行数据整理，采用 R

4.4.2 软件进行图形绘制和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同间作体系的作物产量

年份和种植体系对大豆产量、玉米产量和体系混合产量均有显著影响(表 1)。整体来看，2022 年各间作体系大豆产量均高于 2021 年，2022 年间作体系大豆平均产量为 1 137.7 kg/hm²，而 2021 年仅为 741.0 kg/hm²。不同间作体系间大豆 2 a 平均产量存在显著差异，其中 M||LZH601 平均产量最高，为 1 286.6 kg/hm²；M||LD78-1 较高，为 1 217.0 kg/hm²，M||LZH601 与 M||LD78-1 差异不显著，均显著高于其他体系($P < 0.05$)。2021 年各间作体系玉米产量均高于 2022 年，2022 年间作体系玉米 2 a 平均产量为 10 486.9 kg/hm²，低于 2021 年的 13 176.4 kg/hm²。其中，M||LZH601 玉米 2 a 平均产量最高，为 13 464.6 kg/hm²，与 M||CN15 差异不显著，显著高于其他间作体系($P < 0.05$)；M||Williams82 最低，

表 1 不同间作体系对作物产量及混合产量的影响

时间	间作体系	产量/(kg/hm ²)			产量贡献率/%	
		大豆	玉米	混合	大豆	玉米
2021年	M 2SM	550.0±12.5 c	11 650.6±1436.3 bc	12 200.6±1444.4 c	4.51±0.47 b	95.49±0.47 a
	M 4SM	675.0±87.5 bc	13 592.3±1347.4 a	14 267.4±1429.4 bc	4.73±0.23 b	95.27±0.23 a
	M CN15	545.9±38.2 c	13 467.4±338.2 ab	14 013.3±321.3 bc	3.90±0.32 b	96.10±0.32 a
	M LD78-1	895.9±118.8 a	13 454.8±517.9 ab	14 350.7±544.5 ab	6.24±0.77 a	93.76±0.77 b
	M LZH601	1 041.7±59.1 a	15 363.3±586.7 a	16 405.0±566.6 a	6.35±0.47 a	93.65±0.47 b
	M Williams82	737.5±135.2 b	11 529.7±1544.7 c	12 267.3±1483.6 bc	6.01±1.61 a	93.99±1.61 b
2022年	M 2SM	919.8±100.8 c	9 788.8±270.9 bc	10 708.6±321.0 b	8.59±0.80 b	91.41±0.80 a
	M 4SM	868.1±152.3 c	10 053.3±996.1 b	10 921.5±937.3 b	7.95±1.66 b	92.05±1.66 a
	M CN15	830.1±120.8 c	11 847.9±927.1 a	12 678.0±857.6 a	6.55±1.21 b	93.45±1.21 a
	M LD78-1	1 538.1±361.4 a	11 046.2±518.5 ab	12 584.3±709.6 a	12.22±2.41 a	87.78±2.41 b
	M LZH601	1 531.5±147.0 ab	11 565.9±987.4 a	13 097.4±940.5 a	11.69±1.51 a	88.31±1.51 b
	M Williams82	1 138.4±316.7 bc	8 619.5±181.3 c	9 757.9±150.6 b	11.67±3.07 a	88.33±3.07 b
2 a 平均	M 2SM	734.9±44.2 c	10 719.7±800.7 c	11 454.6±781.7 c	6.42±0.67 b	93.58±0.67 a
	M 4SM	771.6±86.6 bc	11 822.8±1080.7 b	12 594.4±1126.7 b	6.13±0.57 b	93.87±0.57 a
	M CN15	688.0±41.3 c	12 657.7±298.3 ab	13 345.6±271.6 b	5.16±0.38 b	94.84±0.38 a
	M LD78-1	1 217.0±215.4 a	12 250.5±347.7 b	13 467.5±560.2 b	9.04±1.21 a	90.96±1.21 b
	M LZH601	1 286.6±83.3 a	13 464.6±612.0 a	14 751.2±574.2 a	8.72±0.77 a	91.28±0.77 b
	M Williams82	938.0±140.8 b	10 074.6±804.6 c	11 012.6±679.7 c	8.52±1.70 a	91.48±1.70 b
显著性检验(P-value)						
年(Y)		<0.000 1	<0.000 1	<0.0001	<0.0001	<0.000 1
种植体系(Cs)		<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
Y×Cs		0.301 0	0.267 0	0.252 0	0.290 7	0.290 7

为 10 074.6 kg/hm², 与 M ∥ 2SM 差异不显著, 均显著低于其他体系 ($P<0.05$)。另外, M ∥ 2SM 和 M ∥ 4SM 中大豆和玉米 2 a 平均产量均显著低于 M ∥ LZH601 ($P<0.05$)。2021 年各间作体系混合产量均高于 2022 年, 其中 M ∥ LZH601 2 a 平均混合产量最高, 为 14 751.2 kg/hm², 显著高于其他体系 ($P<0.05$), 分别较 M ∥ Williams82、M ∥ 2SM、M ∥ 4SM、M ∥ CN15、M ∥ LD78-1 提高 33.9%、28.8%、17.1%、10.5%、9.5%。

大豆产量对间作体系混合产量的 2 a 平均贡献率为 7.33%, 其中 M ∥ LD78-1、M ∥ LZH601 和 M ∥ Williams82 大豆产量对体系混合产量的贡献率显著高于 M ∥ 2SM、M ∥ 4SM 和 M ∥ CN15 ($P<0.05$)。玉米产量对间作体系混合产量 2 a 平均贡献率为 92.67%, 其中 M ∥ 2SM、M ∥ 4SM 和 M ∥ CN15 显著高于 M ∥ LD78-1、M ∥ LZH601 和 M ∥ Williams82 ($P<0.05$)。

2.2 不同间作体系对生物多样性效应的影响

2.2.1 净效应 由图 2 可以看出, 年份和间作体系对净效应分别有显著和极显著影响, 各间作体系 2 a 平均净效应值均大于 0。除 M ∥ Williams82 外, 其余间作体系 2021 年净效应均高于 2022 年, 2021 年净效应平均值为 2 402.2 kg/hm², 2022 年为 2 020.6 kg/hm²。2021 年净效应值除 M ∥ Williams82 为 -116.6 kg/hm² 外, 其他体系净效应值均大于 0; 2022 年所有间作体系的净效应值均大于 0。2 a 净效应平均值以 M ∥ LZH601 最高, 为 3 768.0 kg/hm²; M ∥ Williams82 最低, 为 221.7 kg/hm²。M ∥ 2SM 净效应值显著低于 M ∥ LZH601 和 M ∥ CN15。

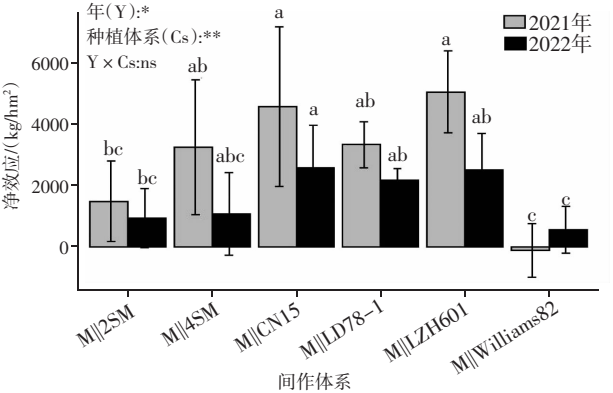


图 2 不同间作体系的净效应

2.2.2 互补效应 由图 3 可以看出, 间作体系对互补效应有极显著影响。M ∥ CN15、M ∥ LD78-1

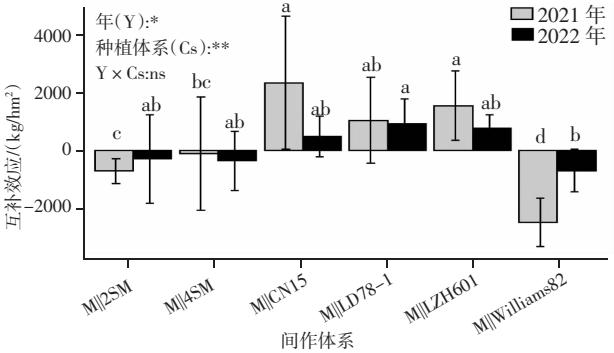


图 3 不同间作体系的互补效应

和 M ∥ LZH601 互补效应值大于 0, 而 M ∥ 2SM、M ∥ 4SM 和 M ∥ Williams82 互补效应值小于 0。2021 年互补效应值以 M ∥ CN15 最高, 为 2 332.8 kg/hm², M ∥ LZH601 次之, 为 1 536.4 kg/hm², 与 M ∥ CN15 无显著性差异。2022 年互补效应以 M ∥ LD78-1 最高, 为 923.7 kg/hm², 与 M ∥ 2SM、M ∥ 4SM、M ∥ CN15、M ∥ LZH601 差异不显著, 显著高于 M ∥ Williams82 ($P<0.05$)。2 a 平均互补效应值以 M ∥ CN15 最高, 为 1 403.6 kg/hm²; M ∥ LD78-1、M ∥ LZH601 较高, 分别为 1 152.5、981.1 kg/hm², 与 M ∥ CN15 差异不显著; M ∥ Williams82 最低, 为 -1 595.5 kg/hm²。

2.2.3 选择效应 由图 4 可以看出, 间作体系对选择效应有极显著影响, 各间作体系选择效应值均大于 0。2021 年选择效应值以 M ∥ LZH601 最高, 为 3 501.4 kg/hm², 与 M ∥ 4SM 差异不显著, 显著高于 M ∥ 2SM、M ∥ CN15、M ∥ LD78-1 和 M ∥ Williams82 ($P<0.05$)。2022 年各间作体系无显著性差异。2 a 平均选择效应值以 M ∥ LZH601 最高, 为 2 615.5 kg/hm²; M ∥ 2SM 最低, 为 1 439.9 kg/hm²。

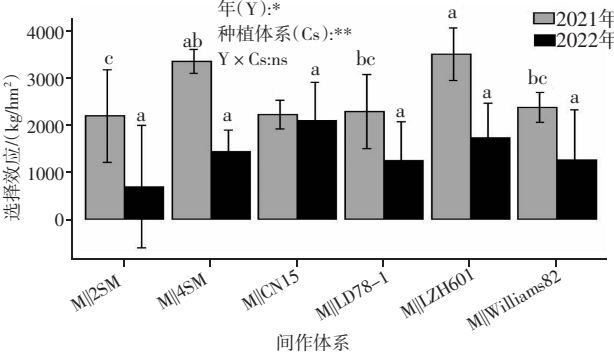


图 4 不同间作体系的选择效应

2.3 互补效应和选择效应对不同间作体系生物多样性效应的贡献率

由图 5 可以看出, M ∥ 2SM、M ∥ 4SM 和 M ∥

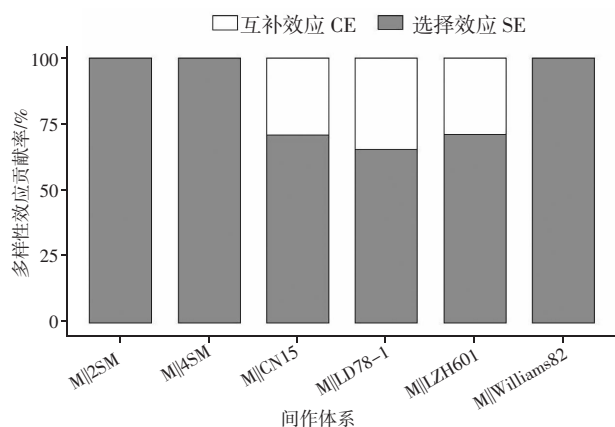


图5 不同间作体系的多样性效应贡献率

Williams82 选择效应对多样性效应的贡献率均为 100%，互补效应对多样性效应的贡献率均为 0；M || CN15、M || LD78-1、M || LZH601 选择效应对多样性效应的贡献率分别为 66.9%、65.3%、71.1%，互补效应对多样性效应的贡献率分别为 33.1%、34.7%、28.9%。

3 讨论与结论

种间配置直接影响间作作物生产力，当玉米与不同作物配置，其生产力表现各异，原因在于不同作物间作玉米后在时间、空间、资源利用等方面形成了生态位分离，导致作物对玉米的资源竞争发生改变，从而导致玉米产量分异^[16-17]。本研究的玉米与不同品种大豆间作体系中，玉米 || 陇中黄 601 体系中玉米产量显著高于玉米 || 陇豆 78-1 和玉米 || Williams82 体系，与玉米 || 长农 15 体系差异不显著，一方面是因为陇中黄 601 相对于玉米的资源竞争力较弱^[18]；另一方面，陇中黄 601 相对其他品种株高较矮（63.5 ~ 86.3 cm），株型紧凑，直立生长^[19]，这些生物学特性可能利于大豆条带对光的有效利用。玉米 || 陇中黄 601、玉米 || 陇豆 78-1 体系中大豆产量显著高于玉米 || Williams82、玉米 || 长农 15 体系。可见，在玉米 || 大豆体系中，大豆生物学特性影响了间作大豆产量形成。研究表明，玉米间作大豆后，大豆产量相对单作会大幅下降，这也是导致玉米 || 大豆体系间作优势不明显的原因之一^[20-23]。本研究中，大豆和玉米对间作体系的平均产量贡献分别为 7.33%、92.67%，表明玉米 || 大豆体系产量优势的主要来源是玉米产量的贡献。

玉米 || 长农 15、玉米 || 陇豆 78-1+Williams82、

玉米 || 长农 15+ 陇中黄 601+ 陇豆 78-1+Williams82 体系中玉米产量的贡献率均高于玉米 || 陇豆 78-1、玉米 || 陇中黄 601、玉米 || Williams82 体系，而大豆产量贡献率则相反。其中，玉米 || Williams82 体系中玉米产量最低，原因可能是 Williams82 是晚熟品种，与玉米共生期长于其他间作体系，共生期较长加剧了对玉米的资源竞争，致使玉米产量降低最严重。玉米与陇豆 78-1+Williams82、玉米 || 长农 15+ 陇中黄 601+ 陇豆 78-1+Williams82 体系生产力均不高，这说明大豆品种混合与玉米间作不利于大豆和玉米产量的提升，原因可能是不同的大豆品种混合播种增加了大豆的种内竞争，也增强了大豆相对于玉米的资源竞争。

多样性效应表征了间作体系的间作优势，其值大于 0 表明间作体系相对于单作体系具有产量优势^[24]。本研究中，各间作体系的 2 a 平均净效应值均大于 0，表明间作体系较单作均增产，其中玉米 || 陇中黄 601 体系净效应最高，为 3 768.0 kg/hm²，玉米 || Williams82 体系净效应最低，玉米 || 陇豆 78-1+Williams82 体系净效应也显著低于玉米 || 陇中黄 601 体系，这种间作优势差异表明陇中黄 601 与玉米间作有利于间作优势发挥。多样性效应的互补效应和选择效应是同时存在并发生的，他们彼此的消长决定了体系的间作优势^[25]，研究表明，玉米 || 大豆主要以选择效应为主，这表明此间作体系的产量优势主要来源于高产作物玉米的贡献^[26]。本研究中，玉米产量对间作体系综合产量的平均贡献率为 92.67%，充分印证了这一点。玉米 || 长农 15、玉米 || 陇豆 78-1、玉米 || 陇中黄 601 体系的互补效应值均大于 0，选择效应对多样性效应的贡献率分别为 66.9%、65.3%、71.1%，互补效应对多样性效应的贡献率分别为 33.1%、34.7%、28.9%，表明这 3 个间作体系较单作具有产量优势，并存在大豆对玉米竞争后的补偿效应。相反，玉米 || 陇豆 78-1+ Williams82、玉米 || 长农 15+ 陇中黄 601+ 陇豆 78-1+Williams82、玉米 || Williams82 体系的互补效应值均小于 0，对多样性效应的贡献率均为 0，说明这 3 个间作体系共生期内均是选择效应占据主导地位，间作大豆相对单作减产，玉米是这 3 个体系的竞争优势物种。

综上所述，相对于玉米间作其他大豆品种，玉

米 || 陇中黄 601 体系的大豆、玉米产量以及体系生产力均最高, 大豆品种混合与玉米间作不能提升间作体系的生产力优势。玉米 || 陇豆 78-1+Williams82、玉米 || 长农 15+ 陇中黄 601+ 陇豆 78-1+Williams 82、玉米 || Williams82 体系间作优势以选择效应主导, 互补效应小于 0; 玉米 || 长农 15、玉米 || 陇豆 78-1、玉米 || 陇中黄 601 体系间作优势来源于选择效应和互补效应共同作用的结果, 以选择效应主导, 互补效应大于 0。

参考文献:

- [1] 汤莹, 杨君林, 崔云玲, 等. 施肥对小麦/玉米带田养分吸收及土壤硝态氮累积的影响[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(1): 83-87.
- [2] 柴强, 胡发龙, 陈桂平. 禾豆间作氮素高效利用机理及农艺调控途径研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(1): 19-26.
- [3] 覃潇敏, 潘浩男, 肖靖秀, 等. 施磷水平对玉米大豆间作系统氮素吸收与分配的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(7): 1173-1184.
- [4] 李欣睿. 氮肥供应水平对玉米/大豆间作体系养分吸收速率和生产力稳定性的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [5] 孙振荣, 王平, 谢成俊, 等. 寒旱区玉米间作南瓜高产模式研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(1): 41-43.
- [6] 林青樵, 程萌, 郝玉波, 等. 玉米大豆间作种植密度对玉米光合特性及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2024(11): 1-6.
- [7] 董韦, 李思梦, 王维, 等. 大豆行距对玉米 || 大豆间作营养品质和土壤养分的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(16): 94-100.
- [8] 赵凤艳, 张勇勇, 冯晨, 等. 不同施氮量下玉米花生间作不同玉米行对土地当量比和产量贡献的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2023(6): 129-137.
- [9] 许波, 许海涛, 冯晓曦, 等. 玉米与大豆间作对干物质累积分配、产量相对竞争及土地当量比的影响[J]. 陕西农业科学, 2024, 70(5): 27-36.
- [10] LOREAU M, HECTOR A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments[J]. Nature, 2001, 412: 72-76.
- [11] ZHANG W P, GAO S N, LI Z X, et al. Shifts from complementarity to selection effects maintain high productivity in maize/legume intercropping systems[J]. Journal of Applied Ecology, 2021, 58(11), 2603-2613.
- [12] 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.
- [13] 赵建华, 孙建好, 陈亮之. 三种豆科作物与玉米间作对玉米生产力和种间竞争的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(1): 86-94.
- [14] 李春杰. 种内/种间互作调控小麦/蚕豆间作体系作物生长与氮磷吸收的机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [15] LI X F, WANG C B, ZHANG W P, et al. The role of complementarity and selection effects in P acquisition of intercropping systems[J]. Plant and Soil, 2018, 422: 479-493.
- [16] 王伟. 玉米与不同作物轮作和间作的意义及应用[J]. 粮油与饲料科技, 2024(8): 105-107.
- [17] 顾健辉, 杨相昆, 张占琴, 等. 不同大豆玉米品种及不同间作模式对群体结构和产量的影响[J]. 新疆农垦科技, 2023, 46(6): 14-20.
- [18] 赵建华, 李春杰, 孙建好, 等. 大豆品种及品种混合与玉米间作对玉米/大豆间作生产力的影响[J]. 大豆科学, 2024, 43(6): 725-734.
- [19] 张彦军, 王兴荣, 苟作旺, 等. 大豆新品种陇中黄 601 选育报告[J]. 甘肃农业科技, 2015(7): 5-7.
- [20] 赵长江, 高菲, 李祯玮, 等. 玉米大豆不同间作行比对大豆光合生理特性及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(5): 820-825; 848.
- [21] 吕越, 吴普特, 陈小莉, 等. 玉米/大豆间作系统的作物资源竞争[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 139-146.
- [22] 姬忠明, 罗万宇, 王小春. 带宽、玉米密度对鲜食玉米鲜食大豆带状间作群体物质积累及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2023, 41(5): 791-800.
- [23] 董楠. 不同作物组合间作优势和时空稳定性的生态机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [24] 李小飞. 长期间套作下作物生产力、稳定性和土壤肥力研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [25] 张润芝. 氮肥调控玉米/大豆间作生产力及养分吸收和土壤微生物作用机理的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [26] 赵建华, 孙建好, 陈亮之, 等. 玉/豆间作产量优势中补偿效应和选择效应的角色[J]. 作物学报, 2022, 48(10): 2588-2596.