

崔爱花,胡启星,王淑彬,等. 玉米大豆带状间作对资源利用效率及土壤养分含量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(10):236-242.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.10.032

玉米大豆带状间作对资源利用效率 及土壤养分含量的影响

崔爱花^{1,2}, 胡启星¹, 王淑彬², 刘 帅¹, 孙巨龙¹, 白志刚¹, 黄国勤²

(1. 江西省棉花研究所,江西九江 332105; 2. 江西农业大学农学院,江西南昌 330045)

摘要:为了探究南方红壤旱地玉米大豆带状间作适宜的带宽与行比种植配置,以处理 S 玉米单作(行距 70 cm,等行种植)和处理 T 大豆单作(行距 50 cm,等行种植)为对照,设置 5 个不同的玉米大豆间作处理,分别是处理 M:2.0 m 带宽,2:2 行比;处理 N:2.4 m 带宽,2:3 行比;处理 Q:2.8 m 带宽,2:3 行比;处理 P:2.4 m 带宽,2:4 行比;处理 R:2.8 m 带宽,2:4 行比,每个处理种 2 带,3 次重复,研究玉米大豆带状间作在光、热、水、养分的资源利用效率和土壤养分含量的变化情况。结果表明,玉米大豆带状间作的季节利用率及被利用辐射量、有效积温和降水量比玉米、大豆单作的均值分别高 30.6%、37.2%、41.0% 和 60.6%;玉米大豆间作组合光、水和热量利用效率均高于大豆单作,增幅分别为 100.0%~137.5%、159.5%~207.9% 和 157.8%~204.7%,差异达到显著水平($P < 0.05$),氮素利用效率分别比玉米、大豆单作高 6.2~10.4 倍和 84.0~133.3 倍,磷素和钾素的利用效率分别较大豆单作高 44.5%~102.6% 和 102.4%~285.3%。玉米大豆带状间作的 pH 值增量最高值比玉米单作高 128.6%,碱解氮增量较大豆单作高 110.2%~440.5%,有机质和有效磷的增量均超过 2 个单作处理。玉米大豆带状间作较玉米、大豆单作可促进全氮和全钾含量增加,全氮含量增幅分别为 183.3% 和 750.0%,全钾含量增量分别为 4.35、2.05 g/kg,而全磷增加量仅高于大豆单作,增幅为 200.0%。R 处理系统生产力指数和经济效益最高,分别为 11 156.2、6 315.27 元/hm²。综合分析认为,玉米大豆带状间作较单作在增加土壤养分含量、提高光热水及养分资源利用效率以及经济效益方面均有优势,其中玉米大豆间作(带宽 2.8 m,行比 2:4)的间作优势较为明显,是比较适于在红壤旱地推广的较好模式。

关键词:玉米大豆间作;带宽;行比;资源利用效率;土壤养分含量

中图分类号:S344.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)10-0236-07

间作作为农田系统重要的类型之一,其在经济及生态效益上都表现出了一定的优势^[1]。豆科与禾本科间作历史悠久^[2],主要是由于豆科作物的固

氮作用,促进了禾本科作物对氮的吸收^[1-3],进而提高氮素利用效率^[4]。玉米大豆带状间作模式种间优势主要体现在生物学特性、时空搭配以及资源利用等方面^[5]。玉米大豆间作种植当前亟需解决的问题是如何通过调整作物布局,最大限度地利用光、温、水、肥等资源,从而提高间作物群体产值和效益^[6-7]。罗万宇等认为,增加带宽、行比,鲜食玉米产量、穗粒数以及百粒质量会呈现降低的趋势^[8]。汤复跃等的研究表明,玉米不同株型和行比配置可使玉米大豆间作模式的群体总产量显著高于单作,但间作模式内玉米、大豆产量均低于相应单作^[9]。田咏梅等认为,合理的行距配置可以

收稿日期:2022-06-10

基金项目:棉花生物学国家重点实验室开放课题基金(编号:CB2022A19、CB2021A23)。

作者简介:崔爱花(1983—),女,河南新乡人,博士,副研究员,主要从事作物耕作栽培及生理生态研究工作,E-mail:49856861@qq.com;共同第一作者:胡启星(1992—),男,江西九江人,硕士,助理研究员,主要从事作物耕作栽培及生理生态研究工作,E-mail:18720978984@163.com。

通信作者:黄国勤,博士,教授,主要从事作物栽培、耕作制度及农田生态环境等方面的研究。E-mail:hqjxes@sina.com。

[19]王光华,刘俊杰,于镇华,等. 土壤酸杆菌门细菌生态学研究进展[J]. 生物技术通报,2016,32(2):14-20.

[20]张 鹏. 油茶林地土壤微生物群落特征[D]. 广州:华南农业大学,2019.

[21]吴泽龙. 油茶林地土壤微生物多样性研究[D]. 长沙:中南林

业科技大学,2016.

[22]代 鹏,陈海琴,顾震南,等. 高山被孢霉生产多不饱和脂肪酸发酵条件的研究进展[J]. 食品工业科技,2014,35(5):354-359.

[23]曹良元,蒋先军,张 磊,等. 麦角固醇与不同粒级团聚体土壤的相关性[J]. 土壤学报,2008,45(6):1184-1188.

改善通风、透光条件进而提高作物的光能利用率^[10]。宁硕瀛等发现,合理的株行距配置不仅可以促进作物干物质的累积和养分的吸收,同时还可以提高经济效益^[11-13]。针对我国南方地区特别是丘陵红壤地区玉米大豆间作栽培研究已有诸多文献报道^[14-18],但内容主要集中在间作作物的农艺性状、干物质积累、产量和种间关系上,而对不同带宽、行比配置下玉米大豆带状间作模式的资源利用效率及土壤养分含量变化方面的研究较少。本研究通过调整带宽、行比,探究红壤旱地玉米大豆带状间作系统的光、热、水等资源分布特点、利用效率以及土壤养分含量的变化特点,以期为促进红壤旱地农业的绿色、高效和可持续发展提供理论参考与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

在江西省红壤研究所科研基地(116°20'E, 28°15'N)开展试验,试验地为典型的低丘红壤区,属中亚热带季风气候,年均气温 17.7~18.5℃,最热月(7月)的平均气温为 28.0~29.8℃,最冷月(1月)的平均气温为 4.6℃,年均降水量和年蒸发量分别为 1 537 mm 和 1 100~1 200 mm,试验开始前土壤 pH 值为 5.00,有机质含量为 20.70 g/kg,碱解氮含量为 80.79 mg/kg,有效磷含量为

14.90 mg/kg,速效钾含量为 114.00 mg/kg,全氮含量为 0.93 g/kg,全磷含量为 0.42 g/kg,全钾含量为 27.60 g/kg。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,共设 7 个处理,每个处理种植 2 带(带长均为 5.0 m),3 次重复,共 21 个小区,窄行玉米、大豆行距均为 40 cm,玉米种植密度为 60 000 株/hm²,大豆种植密度为 150 000 株/hm²,单株定植。具体试验设计详见表 1。

表 1 玉米大豆带状间作试验设计

处理	种植模式
S	玉米单作(等行距,70 cm)
T	大豆单作(等行距,50 cm)
M	玉米大豆间作(带宽 2.0 m,行比 2:2)
N	玉米大豆间作(带宽 2.4 m,行比 2:3)
P	玉米大豆间作(带宽 2.4 m,行比 2:4)
Q	玉米大豆间作(带宽 2.8 m,行比 2:3)
R	玉米大豆间作(带宽 2.8 m,行比 2:4)

1.3 田间管理

玉米和大豆所用品种分别为吉祥 1 号和旱豆 1 号,播种时间均为 2017 年 4 月 1 日,玉米收获期为 7 月 29 日,大豆收获期为 7 月 12 日。玉米和大豆施肥情况详见表 2,玉米全生育期共施纯氮 180 kg/hm²,按基肥、穗肥各 50% 施入,其他田间管理措施与当地一致。

表 2 各作物施肥情况

作物	钙镁磷肥		氯化钾		尿素	
	配施量(kg/hm ²)	配施方法	配施量(kg/hm ²)	配施方法	配施量(kg/hm ²)	配施方法
玉米	600	全作基肥	150	全作基肥	390	基肥 50%,穗肥 50%
大豆	600	全作基肥	60	全作基肥	150	基肥 50%,追肥 50%

1.4 测定项目与方法

1.4.1 收集作物生长期逐日的气象数据 本试验气象数据均来自江西省气象台。

1.4.2 记载玉米大豆生育时期和生育期 分别记录玉米和大豆的生育时期与生育期,统计不同作物季光热水资源量和周年光热水资源量,分析不同处理与光热水资源的匹配机制。

1.4.3 土壤养分含量测定 在玉米、大豆播种前和收获期,采集 0~20 cm 耕层作物株间、行间多点土壤样品,充分混匀。测定项目如下:pH 值采用 pH 计测定法;有机质含量采用重铬酸钾-浓硫酸外加热法测定^[19];分别采用半自动凯氏定氮蒸馏法^[19]、

酸溶-钼锑抗比色法^[19]和 NaOH 熔融-火焰光度法^[19]测定全氮、全磷以及全钾含量;碱解氮含量采用碱解蒸馏法测定;有效磷和速效钾含量分别采用氟化铵-盐酸浸提钼锑抗比色法和 NH₄AC 浸提火焰光度法测定。

1.4.4 产量 玉米和大豆的产量均以实际收获产量来计算。

1.4.5 光、热、水等指标的计算方法

(1)土地当量比、系统生产力指数

土地当量比(LE_R)计算公式如下:

$$LE_R = Y_{im}/Y_{sm} + Y_{ip}/Y_{sp}^{[17]}$$

式中:LE_R>1 表示间作比单作效率高,LE_R<1 表示

间作比单作效率低; Y_{im} 和 Y_{sm} 分别代表间作模式中玉米的产量和单作玉米的产量; Y_{ip} 和 Y_{sp} 分别代表间作模式中大豆的产量和单作大豆的产量^[17]。

系统生产力指数 (SPI) 计算公式如下:

$$SPI = (\bar{Y}_m / \bar{Y}_s) \times \bar{Y}_{is} + \bar{Y}_{im}^{[20]}$$

式中: \bar{Y}_m 和 \bar{Y}_{im} 分别代表单作玉米和间作模式中玉米的平均产量; \bar{Y}_s 和 \bar{Y}_{is} 分别代表单作大豆和间作模式中大豆的平均产量^[20]。

(2) 光能利用效率 (SUE), 热量利用效率 (HUE), 降水量利用效率 (WUE), 养分利用效率 (NUE)

光能利用效率 $SUE = H \times Y / \sum Q \times 100\%$;

热量利用效率 $HUE = Y / \sum T$;

水分利用效率 $WUE = Y / ET, ET = P + \Delta SWS$;

养分利用效率 $NUE = Y / U$ 。

其中, Y 为单位面积产量, kg/hm^2 ; H 为每克干物质燃烧时释放出的热量, J/g , 取 $1\ 779 \times 10^4 \text{ J}/\text{kg}$; $\sum Q$ 为生长期间的太阳总辐射量, MJ/m^2 ; $\sum T$ 为日平均气温稳定通过 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 期间的积温, $^\circ\text{C} \cdot \text{d}$; ET 为耗水量, mm ; P 为降水量, mm ; ΔSWS 为灌水量, mm ; U 为作物中氮(磷或钾)的积累量, kg 。

1.5 数据处理

数据处理采用 Microsoft Excel 2010, 数据分析采用 SPSS 17.0 系统软件, 样本平均数差异比较采

用最小显著差数法 (LSD)。

2 结果与分析

2.1 玉米大豆间作的产量及经济效益

由表 3 可知, 间作处理的玉米产量均显著低于单作 ($P < 0.05$), 降幅为 $22.1\% \sim 39.2\%$, 间作处理中处理 M 玉米产量最高, 比其余处理高 $10.5\% \sim 28.1\%$, 差异显著 ($P < 0.05$); 处理 T (单作) 大豆产量显著高于各间作处理大豆产量 ($P < 0.05$), 增幅为 $30.5\% \sim 118.4\%$; 根据玉米和大豆的价格比例, 将大豆产量折成玉米产量, 然后再加上间作中玉米产量可得出间作总产量, 除处理 Q 外, 其余各间作处理的折产均高于玉米单作和大豆单作, 增幅分别为 $7.7\% \sim 15.3\%$ 和 $262.5\% \sim 287.8\%$ 。

各间作处理的土地当量比均达到了 1.0 以上, 其中处理 P 和 R 的 LER 较高, 高于 1.4。间作系统生产力指数排名为处理 R > 处理 P > 处理 N > 处理 Q > 处理 M。各处理经济效益排名为处理 R > 处理 S (玉米单作) > 处理 P > 处理 N > 处理 Q > 处理 M > 处理 T (大豆单作), 处理 R 的经济效益比玉米单作高 15.2% , 比大豆单作高 226.1% , 其余间作处理均未超过玉米单作, 但均超过大豆单作, 增幅为 $110.8\% \sim 162.0\%$ 。综合看来, 处理 R 即玉米大豆间作(带宽 2.8 m, 行比 2:4) 优势最明显。

表 3 不同处理玉米和大豆产量、土地当量比及经济效益比较

处理	玉米 (kg/hm^2)	大豆 (kg/hm^2)	折产 (kg/hm^2)	土地当量比	系统生产力 指数	经济效益 ($\text{元}/\text{hm}^2$)	排名
S	6 317.2a	—	—	—	—	5 483.29	2
T	—	1 878.2a	—	—	—	1 936.37	7
M	4 918.3b	860.0d	6 808.4	1.23	9 209.8	4 080.95	6
N	4 452.8c	1 100.0cd	6 870.4	1.29	10 017.0	4 321.70	4
P	4 316.7c	1 350.0bc	7 283.7	1.44	10 857.8	5 073.98	3
Q	3 838.1d	1 033.3d	6 109.1	1.16	9 792.6	4 217.13	5
R	4 100.0cd	1 438.7b	7 261.9	1.42	11 156.2	6 315.27	1

注: 玉米单价按 1.82 元/kg 计, 大豆单价按 4.00 元/kg 计, 均为作物收获时的当地市场交易价, 经济效益 = 产值 - 成本, 按玉米大豆价格比进行折产。同列数据后不同小写字母表示处理间在 5% 水平上差异显著。下表同。

2.2 玉米大豆间作的周年光热水资源匹配和利用效率

2.2.1 玉米大豆间作的光热水资源匹配 由表 4 可以看出, 间作种植的资源匹配量明显高于单作种植, 和玉米单作相比, 间作可以有效提高季节利用率 28.2% 、被利用辐射量 32.4% 、被利用有效积温 36.7% 、被利用降水量 60.6% , 与大豆单作相比, 间

作可以有效提高季节利用率 32.9% 、被利用辐射量 41.9% 、被利用有效积温 45.2% 、被利用降水量 60.6% ; 无论间作或单作玉米的资源利用率除降水量外均高于大豆, 玉米在季节利用率、被利用辐射量、被利用有效积温等方面, 分别比大豆高 4.7% 、 9.5% 、 8.5% , 玉米大豆带状间作的季节利用率、被利用辐射量、被利用有效积温和被利用降水量比玉

表 4 不同处理的光、热水资源匹配特点

处理	作物	季节		辐射量		有效积温		降水量	
		生育期(d)	占全年(%)	被利用(MJ/m ²)	占全年(%)	被利用(°C)	占全年(%)	被利用(mm)	占全年(%)
间作	玉米	120	32.9	1 795.54	41.9	2 959.79	45.2	827.1	60.6
	大豆	103	28.2	1 387.92	32.4	2 405.89	36.7	827.1	60.6
	合计	120	61.1	3 183.46	74.3	5 365.68	81.9	1 654.2	121.2
单作	玉米	120	32.9	1 795.54	41.9	2 959.79	45.2	827.1	60.6
	大豆	103	28.2	1 387.92	32.4	2 405.89	36.7	827.1	60.6

米、大豆单作均值分别高 30.6%、37.2%、41.0% 和 60.6%。从以上分析可知,玉米大豆间作种植均可以提高季节、光、热和水资源利用率。

2.2.2 玉米大豆间作的光能、热量和水利用效率

由表 5 可知,无论间作或单作玉米的光能、水分和热量利用效率均高于大豆。间作处理中玉米、大豆的光能、水分和热量利用效率均低于相应单作,差异均显著($P < 0.05$)。玉米大豆间作组合光能利用效

率、水分和热量利用效率均低于处理 S(玉米单作),降幅分别为 8.1% ~ 22.6%、8.5% ~ 22.9% 和 8.5% ~ 22.5%,差异均显著($P < 0.05$),但均高于处理 T(大豆单作),增幅分别为 100.0% ~ 137.5%、159.5% ~ 207.9% 和 157.8% ~ 204.7%,差异显著($P < 0.05$);处理 M、N、P、R 差异不显著,但均显著高于 Q 处理。

表 5 不同处理光、水和热利用效率比较

处理	光能利用效率(%)			水分利用效率[kg/(hm ² ·mm)]			热量利用效率[kg/(hm ² ·°C·d)]		
	玉米	大豆	组合	玉米	大豆	组合	玉米	大豆	组合
S	0.62a	—	0.62a	7.64a	—	7.64a	2.13a	—	2.13a
T	—	0.24a	0.24d	—	2.27a	2.27d	—	0.78a	0.64d
M	0.49b	0.11d	0.57b	5.95b	1.04d	6.99b	1.66b	0.36d	1.95b
N	0.44c	0.14cd	0.55b	5.38c	1.33cd	6.71b	1.51c	0.46cd	1.88b
P	0.43c	0.17bc	0.56b	5.22c	1.63bc	6.85b	1.46c	0.56bc	1.91b
Q	0.38d	0.13d	0.48c	4.64d	1.25d	5.89c	1.30d	0.43d	1.65c
R	0.41cd	0.18b	0.55b	4.96cd	1.74b	6.70b	1.38cd	0.60b	1.87b

2.2.3 玉米大豆间作的养分利用效率 由表 6 可知,间作各处理中玉米的氮素利用效率除处理 Q 显著低于玉米单作外($P < 0.05$),其余处理均与单作差异不显著;间作处理 P 中大豆的氮素利用率最高,比单作处理 T 作高 42.6%,差异显著,处理 R 与大豆单作差异不显著,M、N、Q 处理均显著低于大豆

单作($P < 0.05$),降幅为 23.2% ~ 37.5%。玉米大豆间作组合的氮素利用效率均高于玉米单作和大豆单作,分别比玉米、大豆单作高 6.2 ~ 10.4 倍和 84.0 ~ 133.3 倍,差异达到显著水平($P < 0.05$),处理 N、Q 和 R 之间差异不显著,三者均显著高于处理 M 和 P,处理 P 显著低于处理 M。

表 6 不同处理氮素、磷素和钾素利用效率比较

处理	氮素利用效率			磷素利用效率			钾素利用效率		
	玉米	大豆	组合	玉米	大豆	组合	玉米	大豆	组合
S	43.88ab	—	43.88d	59.47a	—	59.47ab	17.48ab	—	17.48a
T	—	3.71b	3.71e	—	32.53d	32.53d	—	4.16c	4.16d
M	38.62abc	2.85cd	346.89b	52.52ab	29.44d	47.02bc	11.60c	3.90c	8.93bc
N	38.15abc	2.55cd	480.79a	45.53ab	58.60b	47.15bc	13.38bc	8.34b	11.86b
P	45.89a	5.29a	315.31c	59.25a	111.46a	65.91a	18.15a	12.59a	16.03a
Q	28.54c	2.32d	498.21a	38.04b	49.65bc	39.71cd	10.21c	5.41c	8.42c
R	32.60bc	3.17bc	497.81a	41.82b	43.5cd	42.13cd	12.20c	4.72c	8.60c

kg/kg

间作各处理中玉米的磷素利用效率除处理 Q 和 R 显著低于玉米单作外 ($P < 0.05$), 其余处理均与其差异不显著; 间作处理 P、N、Q 中大豆的磷素利用率高于处理 T (大豆单作), 增幅分别为 242.6%、80.1% 和 52.6%, 差异显著 ($P < 0.05$)。玉米大豆间作组合磷素利用效率以处理 M、N、P 均与玉米单作差异不显著, 处理 Q 和 R 小于玉米单作; 处理 M、N、P 比处理 T 高 44.5% ~ 102.6%, 差异显著 ($P < 0.05$), 处理 Q 和 R 均与处理 T 之间差异不显著。

间作各处理中玉米的钾素利用效率以处理 N、P 分别与单作差异不显著, 其余处理均显著低于单作; 间作处理中大豆的钾素利用率以处理 P 最高, 处理 N 次之, 分别比处理 T (单作) 高 202.6% 和 100.5%, 差异显著 ($P < 0.05$), 其余间作处理与大豆单作之间差异不显著。玉米大豆间作组合的钾素利用效率以处理 P 最高, 与处理 S 差异不显著; 各间作组合均显著高于处理 T, 增幅为 102.4% ~ 285.3%。

由以上分析可知, 玉米大豆间作较单作可提高玉米的氮素利用效率, 可提高大豆的氮素、磷素和钾素利用效率; 玉米大豆间作组合较玉米单作在增加氮素利用效率方面, 较大豆单作在增加氮素、磷素和钾素利用效率方面具有明显优势。

2.2.4 玉米大豆间作的土壤养分含量变化特点

2.2.4.1 pH 值和有机质 由表 7 可知, 种植前, 除了 N 处理的土壤 pH 值显著低于处理 T 即大豆单作外, 其余处理均与玉米单作和大豆单作差异不显著。收获后, 除了 R 处理的土壤 pH 值与玉米单作差异不显著以外, 其余间作处理均低于玉米单作, 降幅为 2.7% ~ 6.0%, 差异显著 ($P < 0.05$); 除了处理 R 和 M 的土壤 pH 值与大豆单作无显著差异外, 处理 N、P、Q 均低于大豆单作, 降幅为 2.8% ~ 4.5%, 差异显著 ($P < 0.05$)。从 pH 值增加量来看,

仅 S 和 N 处理增量为正值, 且处理 N 比 S 高 128.6%, 处理 N 在改善土壤酸度方面优于玉米和大豆单作。

表 7 不同处理土壤 pH 值和有机质含量变化

处理	pH 值			有机质含量 (g/kg)		
	种植前	收获后	增加量	种植前	收获后	增加量
S	5.69ab	5.83a	0.14	19.10c	20.50a	1.40
T	5.97a	5.74ab	-0.23	19.6abc	20.90a	1.30
M	5.68ab	5.67bc	-0.01	21.57a	20.17a	-1.40
N	5.21b	5.53d	0.32	21.20ab	21.40a	0.20
P	5.88a	5.48d	-0.40	19.33bc	21.07a	1.74
Q	5.82a	5.58cd	-0.24	19.13c	23.37a	4.24
R	5.91a	5.79ab	-0.12	19.8abc	21.70a	1.90

由表 7 还可知, 种植前间作处理 M 和 N 的土壤有机质含量分别比玉米单作高 12.9% 和 11.0%, 差异显著 ($P < 0.05$), 其余处理与玉米单作处理差异不显著。收获后, 间作处理与玉米、大豆单作处理的土壤有机质含量差异均不显著。从种植前和收获后的增加量来看, 除处理 M 无增加外, 其余处理均有不同程度的增加, 增加量表现为处理 Q > 处理 R > 处理 P > 处理 S > 处理 T > 处理 N。间作 P、Q、R 处理较单作可促进土壤有机质含量的增加。

2.2.4.2 速效养分含量 从表 8 可知, 种植前各处理土壤中的碱解氮含量差异不显著, 收获后, 间作各处理与大豆单作差异均不显著, 除了 R 处理与玉米单作无显著差异外, 其余处理均高于玉米单作, 增幅为 14.3% ~ 19.1%, 差异显著 ($P < 0.05$); 种植前与收获后相比, 除了玉米单作 (处理 S) 土壤碱解氮减少了 10.67 mg/kg 外, 其余各处理均有不同程度的增加, 处理 N、P、R 增加量高于大豆单作 (处理 T), 分别高 440.5%、110.2% 和 180.2%。

各处理种植前的土壤速效钾含量差异不显著, 收获后, 除了处理 M 显著低于 2 个单作外, 其余各

表 8 不同处理土壤速效养分含量变化

mg/kg

处理	碱解氮含量			速效钾含量			有效磷含量		
	种植前	收获后	增加量	种植前	收获后	增加量	种植前	收获后	增加量
S	108.67a	98.00b	-10.67	244.67a	216.00a	-28.67	21.50a	15.40a	-6.10
T	108.67a	112.00a	3.33	239.00a	227.00a	-12.00	18.70ab	17.50a	-1.20
M	109.67a	112.00a	2.33	252.67a	146.67b	-106.00	16.90abc	18.97a	2.07
N	98.00a	116.67a	18.00	237.00a	217.33a	-19.67	13.80c	13.40a	-0.40
P	105.00a	112.00a	7.00	267.00a	174.00ab	-93.00	14.80bc	16.40a	1.60
Q	112.00a	114.33a	2.33	255.67a	170.67ab	-85.00	12.40c	20.17a	7.77
R	98.00a	107.33ab	9.33	284.33a	225.33a	-59.00	14.80bc	15.63a	0.83

处理与单作无显著差异。收获后较种植前,间作与单作处理的土壤速效钾含量均减少,处理 M、P、Q、R 减少量均高于玉米和大豆单作。说明间作处理较单作需要消耗较多的速效钾,以供作物的生长发育。

种植前处理 N 和 Q 的有效磷含量显著低于其他各处理,收获后,各处理之间差异均不显著。除了 N 和 2 个单作处理的土壤有效磷含量减少外,其余各处理均有不同程度的增加,增加量表现为处理 Q > 处理 M > 处理 P > 处理 R,各间作处理对土壤中有效磷的增加量优于玉米单作。

2.2.4.3 全量养分含量 由表 9 可知,种植前土壤全氮含量以处理 M 最高,显著高于其他各处理;收获后,间作各处理均与玉米单作差异不显著,而处

理 N 和处理 Q 显著高于大豆单作,处理 M、P、R 与大豆单作差异不显著,从全氮增加量来看,处理 N 和处理 Q 的间作优势更为明显,两者平均值分别较 S、T 处理高 183.3% 和 750.0%。种植前土壤全磷含量仅处理 P 显著低于 2 个单作处理,其余间作处理均与单作差异不显著,收获后各处理之间差异均不显著,从土壤全磷增加量来看,处理 P 和处理 Q 较单作具有明显优势,两者平均值较大豆单作处理高 200.0%。种植前全钾含量除了处理 R,其余间作处理均与玉米、大豆单作之间无显著差异,收获后各处理之间差异均不显著,处理 R 和 N 的全钾增加量均值分别较 S 和 T 高 4.35、2.05 g/kg。

表 9 不同处理土壤全量养分含量变化

g/kg

处理	全氮含量			全磷含量			全钾含量		
	种植前	收获后	增加量	种植前	收获后	增加量	种植前	收获后	增加量
S	1.29b	1.38ab	0.09	0.53ab	0.49a	-0.04	25.10abc	21.70a	-3.40
T	1.29b	1.32b	0.03	0.53ab	0.56a	0.03	26.90ab	25.80a	-1.10
M	1.47a	1.42ab	-0.05	0.60a	0.51a	-0.09	23.50bc	20.03a	-3.47
N	1.21b	1.48a	0.27	0.50bc	0.48a	-0.02	22.17bc	23.03a	0.86
P	1.24b	1.43ab	0.09	0.44c	0.52a	0.08	23.20bc	23.20a	0.00
Q	1.25b	1.49a	0.24	0.48bc	0.58a	0.10	29.23a	22.70a	-6.53
R	1.29b	1.32b	0.03	0.55ab	0.48a	-0.07	20.67c	21.70a	1.03

综合以上分析认为,间作处理较单作在增加土壤 pH 值及有机质含量、碱解氮、有效磷、全氮、全磷、全钾等养分含量方面具有一定优势。

3 讨论

大量研究表明,间作模式比单作模式的产量优势明显^[21-26]。张晓娜等认为,玉米间作大豆模式较玉米、大豆单作分别减产 10.4% 和 8.4%,但间作群体产量优势较为明显,且 LER > 1^[27]。高阳等在研究中指出,玉米间作大豆模式的群体总产量较高,比大豆、玉米单作产量分别高 320.0% 和 6.0%^[28]。本研究也有类似结论,玉米、大豆单作产量均高于玉米大豆带状间作处理中玉米、大豆的产量,但玉米大豆带状间作模式的总产量均高于单作,较玉米单作高 7.7% ~ 15.3%,较大豆单作高 262.5% ~ 287.8%,且土地当量比在 1.2 ~ 1.5 之间,间作优势明显。经济效益的好坏是评价一个模式优劣的重要指标之一,株行距改变,影响了作物种子、用工量、产量等,造成经济效益有所不同,经计算可知,

处理 R 的经济效益最高,其余间作处理均低于玉米单作但高于大豆单作模式。由于玉米、大豆籽粒产量减产,光、热和水资源利用效率均低于相应单作,但间作系统的利用效率均高于大豆单作,但低于玉米单作。

间作体系中,玉米和大豆间存在促进和竞争的关系,间作是否具有优势是由这 2 种作用共同决定的,当促进作用 > 竞争作用时为间作优势,反之为间作劣势。研究表明,玉米大豆间作体系可促进玉米对氮的积累和吸收^[29],主要是因为大豆的固氮作用增加了土壤含氮量^[30-31]。李少明等的研究表明,玉米大豆间作较玉米单作可提高氮素吸收量 57.53%,而大豆则比单作低 1.21%^[31]。刘均霞等研究认为,玉米大豆间作可增加玉米的吸磷量,降低大豆的吸磷量^[32-33]。本研究认为,各间作处理对土壤中碱解氮、有效磷的增加量优于玉米单作,而对速效钾的吸收量高于玉米单作,主要是因为间作玉米大豆减产,造成生物量低,影响了氮磷钾的积累。

4 结论

玉米大豆带状间作较单作在增加土壤 pH 值、有机质、碱解氮、有效磷及全量养分含量方面具有优势,可提高季节利用率和光热水及养分资源利用率。玉米大豆间作较单作可提高单位面积土地生产力、土地当量比和经济效益,综合分析认为,玉米大豆带状间作(带宽 2.8 m,行比 2:4)优势较明显,是比较适于在红壤旱地推广的较好模式。

参考文献:

- [1] 刘小明, 雍太文, 廖敦平, 等. 不同种植模式下根系分泌物对玉米生长及产量的影响[J]. 作物杂志, 2012(2): 84-88.
- [2] Hauggaard - Nielsen H, Gooding M, Ambus P, et al. Pea - barley intercropping for efficient symbiotic N₂ - fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems[J]. Field Crops Research, 2009, 113(1): 64-71.
- [3] Li C J, Li Y Y, Yu C B, et al. Crop nitrogen use and soil mineral nitrogen accumulation under different crop combinations and patterns of strip intercropping in northwest China[J]. Plant and Soil, 2011, 342(1): 221-231.
- [4] 肖靖秀, 汤利, 郑毅, 等. 大麦/蚕豆间作条件下供氮水平对作物产量和大麦氮吸收累积的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 499-503.
- [5] 杨文钰, 杨峰. 发展玉豆带状复合种植, 保障国家粮食安全[J]. 中国农业科学, 2019, 52(21): 3748-3750.
- [6] 程玉柱, 李龙, 周琴, 等. 玉米/大豆不同配置下的玉米生长和产量形成研究[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(1): 34-39.
- [7] 封亮, 王淑彬, 杨文亭, 等. 带宽、行比配置对玉米农艺性状及干物质积累影响[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(3): 429-437.
- [8] 罗万宇, 唐庄峻, 任永福, 等. 带宽、行比对鲜食玉米间作鲜食大豆群体产量效益的影响[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(4): 442-451.
- [9] 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作产量及效益影响[J]. 大豆科学, 2019, 38(5): 726-732.
- [10] 田咏梅, 许可, 周浩亮, 等. 不同种植方式玉米冠层光利用情况的比较研究[J]. 山东农业科学, 2013, 45(5): 68-70.
- [11] 宁硕瀛. 种植密度和行距配置对夏玉米群体光合特性及产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [12] 魏珊珊, 王祥宇, 董树亭. 株行距配置对高产夏玉米冠层结构及籽粒灌浆特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(2): 441-450.
- [13] Zhang Y T, Liu J, Zhang J Z, et al. Row ratios of intercropping maize and soybean can affect agronomic efficiency of the system and subsequent wheat[J]. PLoS One, 2015, 10(6): e0129245.
- [14] Zhang X Q, Huang G Q, Zhao Q G. Differences in maize physiological characteristics, nitrogen accumulation, and yield under different cropping patterns and nitrogen levels[J]. Chilean Journal of Agricultural Research, 2014, 74(3): 326-332.
- [15] 徐健程, 王晓维, 聂亚平, 等. 不同铜浓度下玉米间作豌豆对土壤铜的吸收效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(8): 1508-1514.
- [16] 崔爱花, 周丽华, 杨滨娟, 等. 红壤旱地不同复种方式的生态功能评价[J]. 应用生态学报, 2017, 28(2): 456-464.
- [17] 封亮, 黄国勤, 杨文亭, 等. 江西红壤旱地玉米||大豆间作模式对作物产量及种间关系的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(7): 1127-1137.
- [18] 封亮, 王淑彬, 杨文亭, 等. 红壤旱地玉米大豆间作模式对大豆农艺性状和产量的影响[J]. 大豆科学, 2020, 39(6): 882-890.
- [19] 徐仲楠, 王冲, 朱遑, 等. 蚯蚓粪与土壤复配比例对基质微生物性状及韭菜生长和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(3): 519-524.
- [20] 王晓维. 施氮与间作对红壤旱地作物生产力、氮素利用及土壤生态环境的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- [21] Zhang L, van der Werf W, Zhang S, et al. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems[J]. Field Crops Research, 2007, 103(3): 178-188.
- [22] Tsubo M, Walker S. A model of radiation interception and use by a maize - bean intercrop canopy [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 110(3): 203-215.
- [23] 张海军. 不同行株距配置对夏玉米生长发育及产量影响的研究[J]. 农业科技通讯, 2018(3): 76-79.
- [24] 李立坤, 左传宝, 于福兰, 等. 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[J]. 植物保护学报, 2019, 46(5): 980-988.
- [25] 曹鹏鹏, 田艺心, 高凤菊, 等. 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[J]. 山东农业科学, 2018, 50(7): 78-81, 87.
- [26] 王旭, 曾昭海, 朱波, 等. 箭筈豌豆与燕麦不同间作混播模式对产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(11): 1892-1895.
- [27] 张晓娜, 陈平, 庞婷, 等. 玉米/豆科间作种植模式对作物干物质积累、分配及产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(4): 484-490.
- [28] 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.
- [29] 刘亚男. 黄土旱塬区冬小麦/紫花苜蓿间作系统作物生长动态、产量与水分利用效率研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [30] 余常兵, 孙建好, 李隆. 种间相互作用对作物生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 1-8.
- [31] 李少明, 赵平, 范茂攀, 等. 玉米大豆间作条件下氮素养分吸收利用研究[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(5): 572-574.
- [32] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 等. 玉米大豆间作条件下磷素的吸收利用[J]. 山地农业生物学报, 2007, 26(4): 288-291.
- [33] 刘均霞. 玉米大豆间作条件下钾素吸收利用研究[J]. 宁夏农林科技, 2011, 52(6): 4-5.