

施用乙烯利和磷肥对玉米//花生间作氮吸收分配及间作优势的影响

焦念元, 汪江涛, 尹飞, 马超, 齐付国, 刘领, 付国占, 李友军

(河南科技大学农学院, 河南洛阳 471003)

摘要:【目的】在玉米//花生间作体系中, 喷施乙烯利明显降低玉米株高, 提高花生和间作体系的产量, 研究施用乙烯利和磷肥对玉米花生间作氮吸收分配和间作优势的影响, 明确其调控机理, 对实现玉米、花生间作高产高效具有重要指导意义。【方法】本试验于 2012~2013 年在河南科技大学农场进行, 设玉米单作、花生单作、玉米//花生间作和玉米//花生间作 + 喷施乙烯利 4 种植方式, 分别施磷和不施磷, 共 8 个处理, 分析了不同处理玉米、花生不同器官氮含量及氮积累量, 讨论了喷施乙烯利和施磷对间作体系氮吸收间作优势的影响。

【结果】与单作相比, 玉米花生间作显著提高了玉米茎、叶、籽粒的氮含量和氮积累量, 促进了氮向籽粒的分配; 提高了花生茎、叶、果仁的氮含量, 但明显降低了花生氮积累量, 不利于氮向果仁分配; 与单作体系相比, 间作体系的氮吸收间作优势为 $N\ 26.88\sim42.21\text{ kg/hm}^2$ 。喷施乙烯利减少了玉米对花生的氮竞争比率, 降低了间作玉米茎、叶、籽粒的氮含量和氮积累量, 促进氮向籽粒的分配, 并且还提高了间作花生茎、叶、果仁的氮含量和氮积累量, 促进氮向果仁的分配, 间作花生的氮吸收量提高 $23.67\%\sim49.54\%$ ($P < 0.05$), 间作体系氮吸收间作优势提高 $4.95\%\sim54.65\%$ 。与不施磷相比, 施磷提高了喷施乙烯利间作体系中玉米和花生吸氮量, 分别提高 $19.49\%\sim27.71\%$ 和 $34.26\%\sim43.24\%$ ($P < 0.05$), 氮吸收间作优势提高 $69.97\%\sim162.57\%$ ($P < 0.05$)。

【结论】施用磷肥可进一步提升喷施乙烯利在降低玉米对花生的氮竞争比率, 促进玉米花生间作体系氮吸收及氮向籽粒中分配, 提高氮吸收间作优势的作用, 促进氮素的高效利用。

关键词: 玉米//花生间作; 乙烯利; 磷肥; 氮吸收; 间作优势

中图分类号: S344.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2016)06-1477-08

Effects of ethephon and phosphate fertilizer on N absorption and intercropped advantages of maize and peanut intercropping system

JIAO Nian-yuan, WANG Jiang-tao, YIN Fei, MA Chao, QI Fu-guo, LIU Ling, FU Guo-zhan, LI You-jun
(College of Agronomy, Henan University of Science & Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: 【Objectives】 In maize and peanut intercropping system, foliar spray of ethephon will reduce the plant height of maize, enhance the yield of peanut and the intercropping system. In this paper, the effect of phosphorous application on the goodness of chemical regulation was further studied. 【Methods】 A field experiment was conducted from 2012 to 2013 in the farm of Henan University of Science and Technology. The experiment included 4 planting models: monocultured maize, monocultured peanut, maize and peanut intercropping with ethephon foliar spray, and maize and peanut intercropping without ethephon foliar spray, with or without the application of P fertilizer. The N content, accumulation and distribution in different organs of intercropped maize and peanut were determined, and the yield were investigated. 【Results】 Compared with monoculture, maize and peanut intercropping significantly enhanced the N content in stems, leaves and seeds of intercropped maize and peanut, increased the N accumulation of intercropped maize, and promoted N allocation

收稿日期: 2015-12-18 接受日期: 2016-03-30

基金项目: 国家自然科学基金 (U1404315, 31200332); 河南科技大学创新能力培育基金 (2012ZCX020) 资助。

作者简介: 焦念元 (1974—), 男, 山东平邑人, 博士, 副教授, 主要从事间套作资源高效利用及生理生态方面的研究。

Tel: 0379-64282340, E-mail: jiaony1@163.com. 汪江涛与第一作者同等贡献 Email: wangjiangtao0713@163.com

to grain of intercropped maize, but reduced N accumulation and allocation to nuts of intercropped peanut. N absorption of maize and peanut intercropping system was higher than that of monocultured maize or peanut, N intercropped advantage was N 26.88–42.21 kg/hm². Compared with no ethephon foliar spray, spraying ethephon decreased N competition ratio of maize to peanut, reduced the N content and accumulation in stems, leaves and seeds of intercropped maize, enhanced N allocation in grain of intercropped maize, and increased the N content and accumulation in stems, leaves and nuts of intercropped peanut, N distribution to nuts of intercropped peanut was promoted. N absorption of intercropped peanut and N absorption intercropped advantage were enhanced by 23.67%–49.54% ($P < 0.05$) and 4.95%–54.65%, respectively. Compared with no P fertilizer application, P fertilizer promoted the absorption of N in maize and peanut in the intercropping system with spraying ethephon to maize, with the N absorption enhanced by 19.49%–27.71% and 34.26%–43.24% ($P < 0.05$), respectively, and intercropping advantage in N absorption was increased by 69.97%–162.57% ($P < 0.05$). 【Conclusions】Foliar spraying ethephon could decrease N competition ratio of maize to peanut, promote the N absorption of maize and peanut intercropping system and N distribution to seed, improve N absorption intercropping advantage, and promote the efficient utilization of nitrogen. P fertilizer application further strengthen the good effects of spraying ethephon.

Key words: maize and peanut intercropping; ethephon; phosphate fertilizer; N accumulation; intercropping advantage

合理的间套作集约利用养分、水分、光和热等自然资源,实现作物高产高效,在我国农业生产中占有重要地位^[1]。玉米//花生间作是一种常见豆科作物与禾本科作物的间作模式,石灰性土壤上,玉米不仅改善花生铁营养,竞争吸收花生根区氮,提高花生根瘤共生固氮活性^[2-4],还改善群体冠层光照分布,提高玉米对强光、花生对弱光的利用能力^[5-6],实现光能的分层、立体利用,具有明显的氮、磷营养间作优势^[7];但在其共处后期,花生受到玉米遮荫的影响,光合速率降低,产量不高^[6,8],成为间作玉米、花生进一步高产高效的瓶颈。针对如何提高间作花生光合速率和产量,依据喷施乙烯利能降低玉米株高,改善玉米株型^[9],焦念元等^[10]在黄潮土壤上的研究表明,喷施乙烯利显著降低间作玉米株高和叶面积,减少单株干物质积累,产量降低1.20%~3.92%,却显著提高间作花生的单株干物质,间作花生产量由3074.7 kg/hm²提高到3838.5 kg/hm²,提高了24.84%,喷施乙烯利间作体系的总产量提高162~382 kg/hm²;喷施乙烯利并施磷肥显著增加间作玉米和花生植株的磷含量和磷积累量,促进磷素向玉米籽粒和花生果仁中的分配,进一步提高磷吸收间作优势^[11]。然而,喷施乙烯利对间作玉米和间作花生的氮素吸收、分配会产生哪些影响?施磷后其氮素吸收、分配又将发生哪些变化?为了弄清上述问题,本试验以玉米//花生间作2:4(2行玉米4行花生)间作模式为研究对象,在施磷和不施磷条件

下,分别对间作玉米采用不喷施乙烯利和喷施乙烯利两种措施,研究玉米和花生的植株不同器官氮含量、氮积累分配以及间作体系氮吸收间作优势,为进一步发挥氮营养间作优势,实现玉米、花生间作高产高效提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

于2012~2013年在河南科技大学开元校区农场(33°35'~35°05'N, 111°8'~112°59'E)进行田间试验。供试玉米品种为郑单958,花生品种为花育16,土壤为黄潮土,质地为中壤,0—20 cm耕层土壤容重1.31 cm³,碱解氮33.86 mg/kg,速效磷3.46 mg/kg,有效铁5.98 mg/kg,有机质10.72 g/kg, pH值7.56。试验地处于温带,属于半湿润、半干旱的大陆性季风气候,年平均气温在12.1~14.6℃,年平均降雨量600 mm,年平均蒸发量2113.7 mm,年平均辐射量491.5 kJ/cm²,年日照时2300~2600 h,无霜期215~219 d。

1.2 试验设计

本试验设玉米单作、花生单作、玉米花生间作、间作玉米喷施乙烯利4种植植方式,每个种植模式下设不施磷(P0)和施P₂O₅ 180 kg/hm² (P1)2个处理,共8个处理,重复3次,共24个小区。小区面积60 m²(10 m × 6 m),完全随机区组设计。玉米单

作行距 60 cm, 株距 25 cm, 密度 66670 plant/hm²; 花生单作行距 30 cm, 株距 20 cm; 玉米花生间作为 2:4 模式, 即 2 行玉米间作 4 行花生 (图 1), 玉米宽窄行种植, 宽行行距 160 cm, 窄行行距 40 cm, 株距 20 cm, 花生播于宽行中, 行距 30 cm, 株距 20 cm, 玉米、花生间距 35 cm。磷肥一次性基施, 花生单作、间作施氮量均为 90 kg/hm², 基施; 玉米单作、间作施氮量均为 180 kg/hm², 按基追比 1:1 两

次施用, 追肥在玉米大喇叭口期开沟追施。玉米小口期喷施乙烯利剂 (玉米超大棒由南京绿源生物科技有限公司生产, 主要成分为乙烯利), 30 支超大棒 (600 mL) 兑水 450 kg/hm², 混匀并均匀喷雾到玉米顶部新叶, 不喷施乙烯利剂的间作玉米, 均匀喷相同量的清水。其他管理同大田生产。2012 年 6 月 6 日播种, 10 月 5 日收获; 2013 年 6 月 1 日播种, 9 月 26 日收获。玉米、花生同时播种, 同时收获。

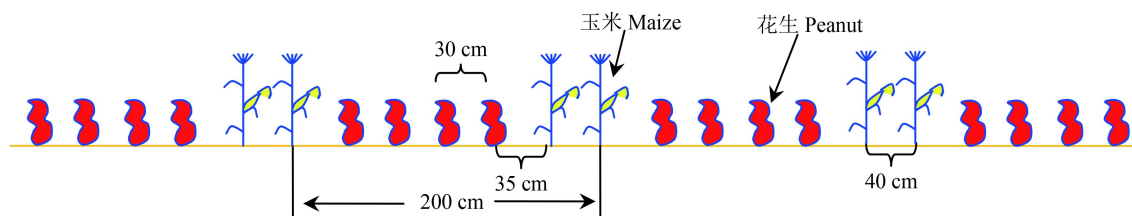


图 1 玉米/花生间作模式田间种植示意图

Fig. 1 Schematic illustration of field planting of maize and peanut intercropping

1.3 取样与分析、计算

在玉米拔节期、小喇叭口期、大喇叭口期、开花期、花后 10 d、花后 20 d、成熟期各重复分别取长势均匀有代表性的玉米、花生 2 株, 玉米按叶片、茎、鞘、苞叶、籽粒分成 5 部分, 花生按叶片、茎、果壳、果仁分成 4 部分, 105℃ 杀青 30 min, 75℃ 烘至恒重称重。样品粉碎后, 采用 H₂O₂-H₂SO₄ 法消煮, 凯氏定氮法测定氮 (N) 含量。在测定时, 玉米穗轴归在茎中; 花生果壳归在茎中。

作物氮吸收量 = 各器官质量与各器官氮含量之积的总和

氮吸收间作优势 (kg/hm²) = 间作体系氮吸收量 - (单作玉米氮吸收量 × F_m + 单作花生氮吸收量 × F_p)

式中, F_m 和 F_p 分别为间作体系中玉米和花生所占面积比例, 分别是 0.40 和 0.60, 下同。

氮吸收土地当量 $LER_N = Y_{im}/Y_{sm} + Y_{ip}/Y_{sp}$

式中, Y_{im} 和 Y_{ip} 分别表示间作玉米和间作花生氮吸收量; Y_{sm} 和 Y_{sp} 分别表示单作玉米和单作花生氮吸收量, 下同。LER_N > 1 为氮吸收间作优势, LER_N < 1 为氮吸收间作劣势。

营养竞争比率是度量作物养分吸收竞争强弱的一种指标。本文用玉米相对花生对氮的竞争比率来衡量氮营养竞争能力 (competition ratio of maize to peanut, CR_{mp})。营养竞争比率根据 Morris (1993) 法^[12] 计算:

$$CR_{mp} = (Y_{im}/Y_{sm} \times F_m)/(Y_{ip}/Y_{sp} \times F_p)$$

当 CR_{mp} > 1 时, 表明玉米比花生氮营养竞争能

力强; 当 CR_{mp} < 1 时, 表明玉米比花生氮营养竞争能力弱。

1.4 数据分析

试验数据采用 DPS 7.05 软件分析方差和 Duncan' 新复极差法多重比较。

2 结果与分析

2.1 施用乙烯利和磷肥对间作玉米不同器官氮含量的影响

由表 1 可以看出, 与单作玉米相比, 间作降低了玉米苞叶氮含量, 但对茎、叶、鞘和籽粒中氮含量影响不显著; 与不喷施乙烯利相比, 喷施乙烯利间作玉米苞叶氮含量增加, 但对茎、叶、鞘和籽粒中氮含量影响不显著; 与不施磷肥相比, 施磷肥后, 喷施乙烯利间作玉米茎、叶、鞘、苞叶和籽粒氮含量增加, 其中茎、叶和籽粒氮含量分别提高 9.85%~18.64%、3.88%~4.32% 和 5.16%~13.25% (P < 0.05)。这表明喷施乙烯利不利于间作玉米茎、叶和籽粒氮含量的提高, 施磷能提高喷施乙烯利间作玉米植株氮含量。

2.2 施用乙烯利和磷肥对间作花生不同器官氮含量的影响

由表 2 表明, 与单作花生相比, 间作有利于提高花生茎、叶和果仁氮含量, 其中叶部氮含量提高了 5.63%~9.77% (P < 0.05); 对间作玉米喷施乙烯利后, 间作花生茎、叶和果仁氮含量均略有升高, 与

表 1 施用乙烯利和磷肥玉米不同器官氮含量 (g/kg)

Table 1 N contents in different organs of maize affected by ethephon and P application

处理 Treatment		开花期 Anthesis period				成熟期 Maturity period				
		茎 Stem	叶 Leaf	鞘 Sheath	苞叶 Bract	茎 Stem	叶 Leaf	鞘 Sheath	苞叶 Bract	籽粒 Grain
P0	SM	16.97 b	33.54 b	13.52 b	20.38 a	7.88 b	15.83 c	9.27 c	7.88 bc	13.42 b
	IM	17.51 b	33.96 b	14.16 ab	18.06 c	8.41 ab	17.11 b	10.30 ab	7.09 d	14.01 b
	IME	17.36 b	33.59 b	13.69 b	19.48 abc	7.90 b	16.20 bc	9.54 c	7.44 cd	13.59 b
P1	SM	18.68 a	34.93 a	14.05 ab	20.55 a	8.68 ab	19.30 a	9.79 bc	8.70 a	15.19 a
	IM	19.26 a	35.73 a	14.64 a	18.57 bc	9.16 a	19.79 a	10.52 a	7.22 d	15.91 a
	IME	19.07 a	35.04 a	14.34 a	19.86 ab	8.83 ab	19.22 a	9.91 abc	8.35 ab	15.39 a

注 (Note): P0—不施磷 No P application; P1—P₂O₅ 180 kg/hm²; SM—单作玉米 Single cropped maize; IM—间作玉米 Intercropped maize; IME—间作玉米喷施乙烯利 Intercropped maize with spraying ethephon before trumpet period; 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Values followed by different lowercase letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

表 2 施用乙烯利和磷肥花生不同器官氮含量 (g/kg)

Table 2 N contents in different organs of peanut affected by ethephon and P application

处理 Treatment		结荚期 Podding period		成熟期 Maturity period		
		茎 Stem	叶 Leaf	茎 Stem	叶 Leaf	果仁 Nut
P0	SP	19.33 a	43.55 c	10.12 c	20.70 c	45.09 d
	IP	19.72 a	46.05 b	10.25 c	21.96 bc	45.55 cd
	IPE	20.00 a	47.82 a	11.32 bc	22.41 ab	46.29 bc
P1	SP	19.59 a	45.27 b	12.30 ab	20.78 c	46.80 b
	IP	21.28 a	47.82 a	12.95 a	22.81 ab	47.92 a
	IPE	21.63 a	48.37 a	13.17 a	23.54 a	48.53 a

注 (Note): P0—不施磷 No P application; P1—P₂O₅ 180 kg/hm²; SP—单作花生 Single cropped peanut; IP—间作花生 Intercropped peanut; IPE—间作花生喷施乙烯利 Intercropped peanut with spraying ethephon on intercropped maize before trumpet period; 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Values followed by different lowercase letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

不施磷相比, 施磷间作花生的茎、叶和果仁氮含量增加, 在收获期分别增加了 15.34% ($P < 0.05$)、5.04% 和 4.83% ($P < 0.05$)。表明间作有利于提高花生氮含量, 喷施乙烯利和施磷促进间作花生茎、叶和果仁氮含量的提高。

2.3 施用乙烯利和磷肥对间作玉米、花生氮积累量的影响

由玉米氮素积累图 (图 2) 可知, 小喇叭口期 (7 月 20 日) 以前, 间作玉米单株氮积累量略低于单作, 随后间作玉米单株氮积累量逐渐高于单作玉米, 到大喇叭口期 (7 月 31 日) 比单作玉米高 7.82%~7.92%, 成熟期比单作玉米高 8.47%~12.31% ($P < 0.05$)。与不喷施乙烯利相比, 喷施乙烯利明显降低了间作玉米单株氮积累量, 尤其在灌浆期至成熟期降低 13.93%~19.84% ($P < 0.05$); 与不施磷相比, 施磷有利于提高喷施乙烯利间作玉米单株氮积累量,

开花期 (8 月 09 日) 和成熟期 (9 月 26 日) 分别提高 13.25% 和 27.71% ($P < 0.05$)。这表明间作提高了玉米氮素积累量, 喷施乙烯利不利于间作玉米氮积累提高, 施磷促进喷施乙烯利间作玉米氮素积累。

由花生氮素积累图 (图 2) 可知, 花生开花下针期 (7 月 10 日) 前, 间作花生单株氮积累量与单作花生差异不明显; 开花下针期以后, 间作花生氮积累量逐渐低于单作花生, 在结荚期 (7 月 31 日) 降低 28.03%~40.64% ($P < 0.05$), 收获期 (9 月 27 日) 降低 43.42%~51.31% ($P < 0.05$)。在玉米小口期对间作玉米喷施喷施乙烯利剂后, 间作花生单株氮积累量明显提高, 结荚期、收获期分别比不喷施乙烯利间作体系花生单株氮积累量提高 25.83%~47.04% 和 23.72%~49.53% ($P < 0.05$); 与不施磷肥相比, 施磷提高喷施乙烯利间作体系中花生单株氮积累量, 结荚期膨大期 (9 月 05 日) 和收获期 (9 月 26 日) 分别提

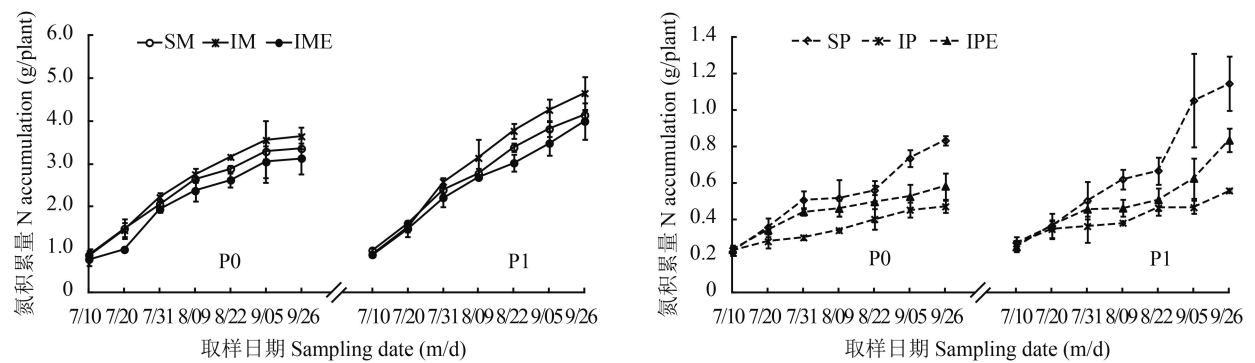


图 2 施用乙烯利和磷肥对间作物单株氮素积累量的影响

Fig. 2 Effect of ethephon and P application on N accumulation of intercropped maize and peanut

[注 (Note) : P0—不施磷 No P application; P1—P₂O₅ 180 kg/hm²; SM—单作玉米 Single cropped maize; IM—间作玉米 Intercropped maize; IME—间作玉米喷施乙烯利 Intercropped maize with spraying ethephon before trumpet period; SP—单作花生 Single cropped peanut; IP—间作花生 Intercropped peanut; IPE—间作花生喷施乙烯利 Intercropped peanut with spraying ethephon on intercropped maize before trumpet period.]

高 19.00% 和 43.21% ($P < 0.05$)。这表明玉米花生间作降低了花生氮素积累量, 在玉米小口期对间作玉米喷施乙烯利促进间作花生氮积累, 施磷能进一步提高间作花生单株氮积累量。

2.4 施用乙烯利和磷肥对间作玉米成熟期氮素分配比例的影响

由表 3 可知, 不施磷肥和施磷条件下, 与单作玉米相比, 间作提高了玉米茎、叶和籽粒氮积累量, 降低了在叶和鞘中的氮素分配比例, 促进氮在籽粒中的分配, 其中籽粒氮分配比例提高 1.58%~3.00%; 与不喷施乙烯利相比, 喷施乙烯利间作玉米茎、叶和籽粒氮积累量减小, 茎、叶、鞘中分配比例下降, 籽粒氮分配比例升高, 增加 3.32%~5.93%; 与不施磷肥相比, 施磷明显提高了喷施乙烯利间作玉米茎、叶和籽粒氮积累量, 分别提高 16.91%、48.80% 和 27.52% ($P < 0.05$), 叶中氮分配比例提高

17.7% ($P < 0.05$)。这表明间作可以提高玉米籽粒氮积累量, 促进氮向籽粒分配, 喷施乙烯利降低了间作玉米籽粒氮积累量, 有利于氮素向籽粒分配, 施磷促进喷施乙烯利间作玉米籽粒氮积累。

2.5 施用乙烯利和磷肥对间作花生成熟期氮素分配比例的影响

由表 4 可以看出, 不论施磷与否, 与单作花生相比, 间作降低了花生茎、叶和果仁氮积累量和果仁中分配比例, 分别降低 28.57%~40.00%、42.85%~43.47%、53.06%~58.33% 和 13.37%~14.22% ($P < 0.05$), 却提高了茎和叶中的分配比例, 分别提高 27.09% 和 33.63% ($P < 0.05$)。与不喷施乙烯利相比喷施乙烯利间作体系花生茎和果仁氮积累量分别增加 10.00%~33.33% 和 56.52%~60.00% ($P < 0.05$), 果仁中氮分配比例提高 8.12%~20.39% ($P < 0.05$); 与不施磷肥相比, 施磷提高了喷施乙烯

表 3 施用乙烯利和磷肥对间作玉米氮积累和分配比例的影响

Table 3 Effect of ethephon and P application on N accumulation and distribution of intercropped maize

处理 Treatment	氮积累量 N accumulation (g/plant)					氮分配比例 N distribution (%)				
	茎 Stem	叶 Leaf	鞘 Sheath	苞叶 Bract	籽粒 Grain	茎 Stem	叶 Leaf	鞘 Sheath	苞叶 Bract	籽粒 Grain
P0	SM	0.65 bc	0.50 d	0.16 bc	0.09 b	1.81 d	20.31 a	15.49 a	5.11 a	2.77 a
	IM	0.74 ab	0.54 cd	0.17 abc	0.10 ab	2.09 cd	20.41 a	14.86 ab	4.70 ab	2.69 a
	IME	0.59 d	0.41 e	0.14 c	0.10 ab	1.89 d	18.56 a	13.08 b	4.45 ab	3.17 a
P1	SM	0.83 ab	0.64 ab	0.19 ab	0.13 a	2.35 bc	20.06 a	15.48 a	4.53 ab	3.13 a
	IM	0.91 a	0.71 a	0.21 a	0.13 a	2.75 a	19.05 a	15.04 ab	4.57 ab	2.83 a
	IME	0.69 bc	0.61 bc	0.15 bc	0.13 a	2.41 b	17.20 a	15.39 a	3.76 b	3.23 a

注 (Note) : P0—不施磷 No P application; P1—P₂O₅ 180 kg/hm²; SM—单作玉米 Single cropped maize; IM—间作玉米 Intercropped maize; IME—间作玉米喷施乙烯利 Intercropped maize spraying ethephon before trumpet period; 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Values followed by different lowercase letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

表 4 施用乙烯利和磷肥对间作花生氮素积累和分配比例的影响

Table 4 Effect of ethephon and P application on N accumulation and distribution of intercropped peanut

处理 Treatment		氮积累量 N accumulation (g/plant)			氮分配比例 N distribution (%)		
		茎 Stem	叶 Leaf	果仁 Nut	茎 Stem	叶 Leaf	果仁 Nut
P0	SP	0.14 bc	0.21 a	0.49 b	16.86 c	24.72 a	58.42 a
	IP	0.10 c	0.12 bc	0.23 c	22.53 a	26.85 a	50.61 b
	IPE	0.11 c	0.11 c	0.36 bc	19.70 abc	19.37 b	60.93 a
P1	SP	0.20 a	0.23 a	0.72 a	17.35 c	19.94 b	62.71 a
	IP	0.12 bc	0.13 bc	0.30 c	22.05 ab	24.15 a	53.79 b
	IPE	0.16 ab	0.19 ab	0.48 b	19.87 abc	21.97 a	58.16 a

注 (Note): P0—不施磷 No P application; P1— P_2O_5 180 kg/hm²; SP—单作花生 Single cropped peanut; IP—间作花生 Intercropped peanut; IPE—间作花生喷施乙烯利 Intercropped peanut with spraying ethephon on intercropped maize before trumpet period; 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Values followed by different lowercase letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$).

利润作体系花生茎、叶和果仁的氮积累量, 分别提高 45.52%、72.72% 和 33.33% ($P < 0.05$)。这表明间作降低了茎、叶和果仁氮积累量, 不利于氮向果仁分配, 在玉米小喇叭口期对间作玉米喷施乙烯利提高了间作花生茎、叶和果仁氮积累量, 有利于氮向果仁分配, 施磷后进一步促进喷施乙烯利间作体系花生茎、叶和果仁的氮积累。

2.6 施用乙烯利和磷肥对玉米花生间作氮素吸收量及氮吸收间作优势的影响

由表 5 可知, 不施磷肥和施磷条件下, 在可比面积上, 间作玉米吸氮量比单作提高了 107.06%~122.97% ($P < 0.05$), 而间作花生吸氮比单作花生降

低了 33.26%~42.58% ($P < 0.05$); 与单作体系相比, 玉米花生间作体系氮吸收间作优势为 $N\ 26.88 \sim 42.21\ kg/hm^2$; 与不喷施乙烯利相比, 喷施乙烯利降低间作玉米吸氮量 14.06%~23.31%, 却提高间作花生吸氮量 23.67%~49.54% ($P < 0.05$), 间作体系的氮吸收间作优势 $N\ 23.57 \sim 63.98\ kg/hm^2$, 比不喷施乙烯利间作体系的提高 4.95%~54.65%; 与不施磷相比, 施磷提高了喷施乙烯利间作体系中玉米和花生吸氮量, 分别提高 19.49%~27.71% 和 34.26%~43.24% ($P < 0.05$), 氮吸收间作优势提高 69.97%~162.57% ($P < 0.05$)。不施磷肥时, 喷施乙烯利间作体系氮吸收土地当量比 (LER_N) 小于不喷施乙烯利, 施磷肥后与其相反, 但是 LER_N 均大于 1。

表 5 施用乙烯利和磷肥对玉米花生间作体系氮吸收量及间作优势的影响

Table 5 Effect of ethephon and P application on N absorption and intercropping advantages of maize and peanut intercropping system

年份 Year	处理 Treatment		玉米氮积累量 (kg/hm ²) Maize N accumulation		花生氮积累量 (kg/hm ²) Peanut N accumulation		IA (kg/hm ²)	LER_N	CR_{mp}
			SC	IC	SC	IC			
2012	P0	不喷乙烯利 No ethephon	202.13 b	450.70 b	265.98 a	160.04 c	35.86 b	1.25 a	2.47 a
		喷乙烯利 with ethephon	202.13 b	345.60 c	265.98 a	233.07 b	37.64 b	1.21 a	1.30 b
	P1	不喷乙烯利 No ethephon	244.93 a	507.16 a	318.34 a	212.45 bc	41.37 b	1.23 a	2.07 a
		喷乙烯利 with ethephon	244.93 a	412.97 b	318.34 a	312.93 a	63.98 a	1.26 a	1.14 b
2013	P0	不喷乙烯利 No ethephon	214.09 b	455.10 bc	272.84 b	156.98 c	26.88 c	1.20 a	2.46 a
		喷乙烯利 with ethephon	214.09 b	391.07 c	272.84 b	194.14 b	23.57 c	1.16 a	1.71 b
	P1	不喷乙烯利 No ethephon	276.05 a	588.47 a	323.90 a	185.97 b	42.21 b	1.20 a	2.48 a
		喷乙烯利 with ethephon	276.05 a	499.46 ab	323.90 a	278.11 a	61.89 a	1.24 a	1.40 c

注 (Note): SC—单作 Single cropping; IC—间作 Intercropping; IA—间作优势 intercropping advantage; CR_{mp} —营养竞争比率 Relative nutrient competition; 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Values followed by different lowercase letters in the same column are significantly different ($P < 0.05$)

营养竞争比率 (CR_{mp}) 是衡量作物竞争吸收养分强弱的指标。由表 5 可得, 玉米相对花生氮营养竞争比率 $CR_{mp} > 1$, 说明玉米比花生竞争氮营养的能力强。与不喷施乙烯利相比, 喷施乙烯利间作体系 CR_{mp} 降低 30.51%~47.34% ($P < 0.05$), 施磷后, 喷施乙烯利体系 CR_{mp} 又降低 12.09%~17.91% ($P < 0.05$), 这表明喷施乙烯利和施磷能显著缓解玉米、花生对氮的竞争。

3 讨论

3.1 施用乙烯利和磷肥对玉米花生间作氮含量、积累与分配的影响

大量研究表明, 在豆科和非豆科间作系统中, 大部分存在氮营养间作优势^[13-17]。本研究表明, 玉米花生间作提高了玉米和花生茎、叶、籽粒氮含量, 这与其他禾本科与豆科作物间作效果相一致^[18]。玉米氮竞争力强, 花生氮竞争力弱, 间作后, 玉米可吸收更多的氮素, 使得玉米茎、叶、籽粒全氮含量增高, 当土壤中的氮含量降低时, 会促进花生自身固氮能力, 促进花生茎、叶、果仁氮含量升高; 在玉米小喇叭口期喷施乙烯利不利于间作玉米茎、叶、籽粒等器官氮含量提高, 有利于间作花生茎、叶、果仁氮含量提高; 当花生缺磷时, 花生茎和果仁氮含量降低^[19], 王月福等^[23]研究表明, 施磷能提高根瘤数和根瘤鲜重, 促进花生固氮, 提高花生植株氮素含量, 在本研究中发现施磷提高间作花生的茎、叶和果仁氮素含量, 这可能与施磷提高花生固氮能力有关, 固定的氮能被与其间作的玉米吸收, 因此, 间作玉米的茎、叶和籽粒氮素含量也随之提高。

王小春等^[20]发现与大豆间套作的玉米氮素积累量、氮收获指数和氮吸收效率增加, 籽粒氮素分配比例增加, 茎和鞘氮素分配比例减小; 玉米是一种对磷肥比较敏感的作物^[21], 增施磷肥可显著增加玉米干物质量, 提高玉米产量, 增加玉米植株氮素积累量显著, 降低叶和穗轴中氮素分配比例, 显著增加籽粒氮素分配比例^[22], 促进了氮素向玉米籽粒转运。本研究结果表明, 玉米、花生间作提高了玉米氮素积累量, 降低了花生氮素积累量, 提高了玉米茎、叶、籽粒氮素积累量, 促进了氮素向籽粒分配, 却降低了花生茎、叶和果仁氮素积累量, 不利于氮素向果仁分配, 提高了间作体系的氮吸收量, 具有明显的氮吸收间作优势, 这可能是与玉米间作后, 花生受到遮阴的影响, 光合速率降低, 生长受到抑制, 单株生物量降低有关; 在玉米小喇叭口期喷施乙烯利, 间作玉米氮积累量有所降低, 而间作花生

氮积累量明显增加, 这可能与喷施乙烯利, 降低了间作玉米株高和生物量, 改善了花生光照条件, 促进花生生长有关^[10]; 喷施乙烯利并施磷肥提高了玉米茎、叶和籽粒氮素积累量以及花生茎、叶和果仁氮素积累量和花生果仁氮素分配比例, 促进间作玉米、间作花生对氮素的吸收, 可能在于施磷促进玉米生长和氮吸收^[22], 提高花生共生固氮活性^[23], 并且喷施乙烯利和施磷均能缓解玉米、花生对氮营养竞争吸收比率 (表 5)。

3.2 施用乙烯利和磷肥对玉米和花生间作体系氮吸收间作优势的影响

在玉米和花生间作共处后期, 玉米对花生遮荫作用, 抑制了花生的生长发育, 降低产量。因此, 如何协调其光竞争, 提高花生产量成为玉米和花生间作高产研究的重点。已有研究表明, 在玉米花生间作体系中, 喷施乙烯利降低间作玉米株高, 促进间作花生生长, 再施磷肥提高间作体系产量和磷吸收量^[10-11]。本研究表明, 喷施乙烯利间作玉米后, 减小玉米、花生间作对氮营养吸收竞争比率, 降低了间作玉米单株生物量和单株吸氮量, 但其降低幅度小于间作花生氮吸收增加的幅度, 因此, 间作体系的氮吸收间作优势明显增加, 增加幅度是 N 23.57~63.98 kg/hm²。施磷进一步缓解玉米、花生氮竞争, 并促进玉米和花生对氮的吸收, 因此, 显著提高了喷施乙烯利间作体系氮吸收量和氮吸收间作优势。这可能是在于在玉米小口期喷施乙烯利后, 间作玉米株高明显降低, 不施磷肥土壤磷营养不足, 造成穗分化减弱, 穗粒数减少, 产量降低^[10], 进而导致氮营养间作优势增加不明显。但在喷施乙烯利并施磷肥, 能促进间作玉米穗分化, 增加穗粒数, 产量提高^[10], 提高花生共生固氮活性^[23], 显著提高间作体系氮吸收间作优势。

4 结论

在玉米小口期喷施乙烯利剂 600 mL/hm² (兑水 450 kg) 可以缓解玉米、花生对氮营养的竞争比率, 降低玉米对氮的吸收, 提高花生氮吸收量; 施磷能进一步促进喷施乙烯利间作体系中玉米和花生对氮的吸收, 有利于间作体系氮吸收量增加, 提高氮吸收间作优势。

参考文献:

- [1] 李增嘉, 李凤超, 赵秉强. 小麦玉米间套作种植模式经济效益的分析[J]. 山东农业大学学报, 1997, 28(4): 383-390.
Li Z J, Li F C, Zhao B Q. Analysis of the economic benefits on cropping pattern of wheat, earlygrown corn and summergrown corn

- intercropping system [J]. Journal of Shandong Agricultural University, 1997, 28(4): 383–390.
- [2] 左元梅, 李晓林, 王永岐, 等. 玉米花生间作对花生铁营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(2): 153–159.
Zuo Y M, Li X L, Wang Y Q, *et al.* Effect of maize/peanut intercropping on iron nutrition of peanut [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1997, 3(2): 153–159.
- [3] 左元梅, 李晓林, 王秋杰, 等. 玉米、小麦与花生间作改善花生铁营养机制的探讨[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 489–495.
Zuo Y M, Li X L, Wang Q J, *et al.* Study on mechanisms of improvement of iron nutrition of peanut by intercropping with maize or wheat [J]. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(5): 489–495.
- [4] 周苏玫, 马淑琴, 李文, 等. 玉米花生间作系统优势分析[J]. 河南农业大学学报, 1998, 32(1): 17–22.
Zhou S M, Ma S Q, Li W, *et al.* Analysis of superiority of maize and peanut row intercropping [J]. Journal of Henan Agricultural University, 1998, 32(1): 17–22.
- [5] 焦念元, 杨萌珂, 宁堂原, 等. 玉米花生间作和磷肥对间作花生光合特性及产量的影响[J]. 植物生态学报, 2013, 37(11): 1010–1017.
Jiao N Y, Yang M K, Ning T Y, *et al.* Effects of maize-peanut intercropping and phosphate fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of intercropped peanut plants [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(11): 1010–1017.
- [6] 焦念元, 侯连涛, 宁堂原, 等. 玉米花生间作氮磷营养间作优势分析[J]. 作物杂志, 2007, (4): 50–53.
Jiao N Y, Hou L T, Ning T Y, *et al.* Analysis of nutrition intercropping advantages of nitrogen and phosphorus in maize/peanut intercropping system [J]. Crops, 2007, (4): 50–53.
- [7] 焦念元, 宁堂原, 杨萌珂, 等. 玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4324–4330.
Jiao N Y, Ning T Y, Yang M K, *et al.* Effects of maize/peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4324–4330.
- [8] 焦念元, 赵春, 宁堂原, 等. 玉米花生间作对产量和光合作用光响应的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 981–985.
Jiao N Y, Zhao C, Ning T Y, *et al.* Effects of maize-peanut intercropping on economic yield and light response of photosynthesis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(5): 981–985.
- [9] 李艳杰. 植物生长调节剂在玉米上的增产效果试验初报[J]. 玉米科学, 2006, 14(1): 132–133.
Li Y J. Effects of plant growth regulators on maize yield [J]. Journal of Maize Science, 2006, 14(1): 132–133.
- [10] 焦念元, 汪江涛, 尹飞, 等. 化学调控与施磷对玉米花生间作光合物质积累和产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 101–105.
Jiao N Y, Wang J T, Yin F, *et al.* Effects of chemical regulation and phosphate fertilizer on photosynthetic matter accumulation and yield of maize/peanut intercropping system [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2016, 44(4): 101–105.
- [11] 焦念元, 汪江涛, 张均, 等. 化学调控和施磷对玉米/花生间作磷吸收利用和间作优势的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(9): 1093–1101.
Jiao N Y, Wang J T, Zhang J, *et al.* Effects of chemical regulation and P fertilization on P absorption and utilization in maize/peanut intercropping system [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(9): 1093–1101.
- [12] Morris R A, Garrity D P. Resource capture and utilization in intercropping: Water [J]. Field Crops Research, 1993, 34:303–317.
- [13] Fujita K, Ofosu-Budu K G, Ogata S. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems [J]. Plant and Soil, 1992, 141(1–2): 155–175.
- [14] Oljaca S, Cveticovic R, Kovacevic D, *et al.* Effect of plant arrangement pattern and irrigation on efficiency of maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping system [J]. Journal of Agricultural Science, 2000, 135: 261–270.
- [15] 李隆, 李晓林, 张福锁, 等. 小麦大豆间作条件下作物养分吸收利用对间作优势的贡献[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(2): 140–146.
Li L, Li X L, Zhang F S, *et al.* Uptake and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium as related to yield advantage in wheat/soybean intercropping [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2000, 6(2): 140–146.
- [16] 褚贵新, 沈其荣, 李奕林, 等. 用¹⁵N叶片标记法研究旱作水稻与花生间作系统中氮素的双向转移[J]. 生态学报, 2004, 24(2): 278–284.
Chu G X, Shen Q R, Li Y L, *et al.* Researches on bi-directional N transfer between the intercropping system of groundnut with rice cultivated in aerobic soil using ¹⁵N foliar labeling method [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(2): 278–284.
- [17] 王小春, 杨文钰, 任万军, 等. 小麦/玉米/大豆和小麦/玉米/甘薯套作体系中玉米产量及养分吸收的差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 803–812.
Wang X C, Yang W Y, Ren W J, *et al.* Study on yield and differences of nutrient absorption of maize in wheat/maize/soybean and wheat/maize/sweet potato relay intercropping systems [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(4): 803–812.
- [18] Rerkasem B, Rerkasem K, Peoples M B, *et al.* Measurement of N₂ fixation in maize(*Zea mays* L.)-ricebean(*Vigna umbellata* [thumb.] Ohwi and Ohashi) intercrops [J]. Plant and Soil, 1988, 108: 125–135.
- [19] 董晓霞, 魏建林, 杨果, 等. 春花生养分限制因子与缺肥时花生体内氮磷钾的分配研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(4): 277–281.
Dong X X, Wei J L, Yang G, *et al.* Studies on limiting nutrient elements of spring peanut and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in different parts when lack of nutrients [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(4): 277–281.
- [20] 王小春, 杨文钰, 邓小燕, 等. 玉/豆和玉/薯模式下玉米氮素吸收利用差异及氮肥调控效应[J]. 作物学报, 2014, 40(3): 519–530.
Wang X C, Yang W Y, Deng X Y, *et al.* Differences of nitrogen uptake and utilization and nitrogen regulation effects in maize between maize/soybean and maize/sweet potato relay intercropping systems [J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(3): 519–530.
- [21] 米国华, 邢建平, 陈范骏, 等. 玉米苗期根系生长与耐低磷的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 468–472.
Mi G H, Xing J P, Chen F J, *et al.* Maize root growth in relation to tolerance to low phosphorus [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(5): 468–472.
- [22] 赵靛, 侯振安, 李水仙, 等. 磷肥用量对土壤速效磷及玉米产量和养分吸收的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(2): 123–128.
Zhao J, Hou Z A, Li S X, *et al.* Effects of P rate on soil available P, yield and nutrient uptake of maize [J]. Journal of Maize Science, 2014, 22(2): 123–128.
- [23] 王月福, 徐亮, 赵长, 等. 施磷对花生积累氮素来源和产量的影响[J]. 土壤学报, 2012, 43(2): 444–450.
Wang Y F, Xu Liang, Zhao C X, *et al.* Effects of phosphorus application on nitrogen accumulation sources and yield of peanut [J]. Acta Pedologica Sinica, 2012, 43(2): 444–450.