

根际分隔对玉米/豌豆间作种间竞争及豌豆结瘤固氮的影响

李娟, 王文丽, 赵旭, 孙建好

(甘肃省农科院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过盆栽试验研究了玉米/豌豆间作条件下, 两种施氮水平(0、0.15 g·kg⁻¹)及三种分隔方式(不分隔、塑料膜分隔、尼龙网分隔)对玉米、豌豆生长及豌豆结瘤固氮的影响。结果表明: 与单作相比, 玉米/豌豆间作后对玉米的生长和养分的吸收有显著的促进作用, 在整个生育期, 玉米生物量的增加量随着豌豆生育期的推进而增加, 豌豆苗期、豌豆结荚初期、豌豆收获期玉米的生物量在不施氮肥条件下分别增加: 28.5%、32.8%、48.7%; 在施氮 0.15 g·kg⁻¹时分别增加 -8.6%、8.1%、63.2%。在玉米豌豆间作体系中三种分隔方式玉米生物量的大小顺序为: 间作不分隔 > 间作尼龙网隔 > 间作塑料膜分隔 > 单作; 在不施氮肥时, 间作后豌豆苗期生物量与单作相比增加显著, 增加幅度达 35.8%; 随着玉米生育期的推进, 间作豌豆的生物量增加幅度随着降低, 到豌豆收获期与单作豌豆相比差异不显著。收获时三种分隔方式豌豆生物量的大小顺序为: 间作塑料膜分隔 > 间作不分隔 > 间作尼龙网隔 > 单作; 在施氮肥时, 随着玉米的生长间作豌豆与单作豌豆相比显著减产, 收获时三种分隔方式对豌豆生物量的大小顺序为: 间作尼龙网隔 > 间作塑料膜分隔 > 单作 > 间作不分隔。与单作相比, 间作提高了豌豆的结瘤数; 间作不分隔、间作尼龙网隔、间作塑料膜分隔条件下, 豌豆的结瘤数分别增加 120%、82.5%、22.5%。

关键词: 间作; 玉米/豌豆; 根际分隔; 种间竞争; 固氮

中图分类号: S344.2 **文献标志码:** A

Effect of roots partitions on interspecific competition and nitrogen fixation in the pea-maize intercropping

LI Juan, WANG Wen-li, ZHAO Xu, SUN Jian-hao

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

Abstract: Using a pot experiment, the interspecific competition and nitrogen fixation under maize intercropped with pea was investigated. Two N fertilizer levels (0, 0.15 g·kg⁻¹ soil) and three root partition (no seperation, separated by plastic film and by nylon mesh) was included. The results showed that both maize biomass and its nutrient acquisition were higher in intercropping than those in monoculture. Compared to monoculture, for no N fertilizer, maize biomass in intercropping was increased by 28.5%, 32.8%, 48.7% respectively; At seedling stage, early podding stage and harvesting stage of pea, they are -8.6%, 8.1%, 63.2%, respectively, for 0.15 g·kg⁻¹ soil. Maize biomass of three root partition showed no seperation > separated by nylon mesh > separated by plastic film > monoculture. For no N fertilizer, at seedling stage of pea, pea biomass in intercropping was increased by 35.8% compared with monoculture. The increasing of pea biomass decreased with the development of maize, there was no difference in pea biomass at harvesting between intercropping and monoculture. Pea biomass under three root partition showed the rank: separated by plastic film > no seperation > separated by nylon mesh > monoculture. For 0.15 g·kg⁻¹ soil, the yield of intercropped pea was decreased compared with monoculture pea. Pea biomass under three root partition at harvesting showed the rank: separated by nylon mesh > separated by plastic film > monoculture > no seperation. Compared with monoculture, the nodulation number of pea under no seperation, separated by nylon mesh and by plastic were increased 120%, 82.5%, 22.5%, respectively.

Keywords: intercropped; maize and pea; root partition; interspecific competition; nitrogen fixation

收稿日期: 2016-01-14
基金项目: 国家自然科学基金项目“豆科/禾本科间作促进豆科作物结瘤固氮机制研究”(31160102)
作者简介: 李娟(1971—), 甘肃永登人, 副研究员, 主要从事土壤微生物研究。E-mail: lijuanh@126.com。
通信作者: 孙建好(1972—), 副研究员, E-mail: 441597097@qq.com。

间作作为我国传统农业的精髓,是增加农田生物多样性的有效措施^[1-2],可大幅度提高农田生态系统生产力。其中豆科/非豆科间作体系是流传最广的间作模式之一,豆科作物可固定空气中的氮,供自身和间作作物吸收利用;非豆科作物可促进豆科作物固氮,并可高效利用土壤氮素营养^[3-4]。在这些间作系统中氮是维持运转的基本元素,豆科的固氮作用提供了这些系统相当数量的氮素,这部分氮可以被植物直接利用,减少了挥发、反硝化和淋溶损失^[5]。

国际上对间作系统中非豆科作物促进豆科固氮和豆科固氮向非豆科作物转移的研究较多^[6-7,5],但对间作影响豆科作物结瘤固氮的根际生态效应研究较少。本试验特设 3 种分隔方式(塑料膜分隔,尼龙网分隔和无分隔)建立不同强度的作物种间根系相互作用^[8-10],研究在不同供氮水平下,玉米/豌豆间作对土壤酸性磷酸酶活性及豆科结瘤固氮的影响,为禾豆间作的氮素资源高效利用的根际效应提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤:采自甘肃省农科院兰州试验地,前茬作物为亚麻,土壤属灌淤土,土壤理化性状为:全氮 0.134%、全磷 0.111%、全钾 2.04%、碱解氮 79.47 mg·kg⁻¹、速效磷 24.94 mg·kg⁻¹、速效钾 225.7 mg·kg⁻¹,有机质 2.145%,pH 8.36。

供试作物品种:玉米为金穗 4 号(白银金穗有限公司选育)、豌豆为陇豌 1 号(由甘肃省农科院作物研究所提供)。

供试肥料:氮肥使用尿素,磷肥使用重过磷酸钙。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计 试验设计了 3 种植植方式:单种玉米,单种豌豆,玉米/豌豆间作;氮肥 2 个用量:N 0,0.15 g·kg⁻¹,玉米/豌豆间作的处理按照 Li 等^[11]的方法进行 3 种根系分隔方式处理:(1) 间作不分隔,简称间作;(2) 间作塑料膜分隔,简称间作塑隔;(3) 间作 300 目尼龙网分隔,简称间作网隔。每处理 10 次重复。

1.2.2 试验方法 试验采用盆栽方法在甘肃省农科院温室进行。每盆装土 6 kg,所有土样均与相对应的尿素、磷肥充分混匀。单作处理装入 6 kg 混匀土样,塑料膜分隔处理是将两个装有 3 kg 混合土样的塑料袋放入塑料花盆中,每袋各占花盆体积一半,

将两塑料袋中间用玻璃胶粘合,分别种玉米、豌豆,玉米与豌豆的根系、养分和水分不能穿过,植物种间的养分竞争作用和促进作用均被消除;网隔处理与塑料膜分隔处理相同,只将塑料膜换为用 300 目的尼龙网缝合成的尼龙网袋,两种植物根系被隔开,水分和养分均能通过;不分隔处理,将 6 kg 混合土直接装盆,播种时半边种玉米,半边种豌豆。

试验于 2013 年 3 月 29 日装盆,31 日播种,开始播种时灌水按土重的 20% 计,即每盆灌水 1 200 ml。玉米单作每盆播种 10 粒,豌豆每盆播种 8 粒,间作每盆种 5 株玉米,4 株豌豆。试验设 10 次重复。试验于 4 月 8 日出苗。分别于豌豆苗期(4 月 23 日)、结荚期初(5 月 17 日)和豌豆成熟期(6 月 13 日)取样。4 月 23 日、5 月 17 日取样时每个处理取 3 盆,6 月 19 日收获期每处理取 4 盆,取样时分别收获地上部分风干称重,并测定 N、P 含量。6 月 13 日取样时收集各豌豆处理的根系,根系放在 100 目的筛中流水冲洗,用镊子小心摘取有效根瘤,统计根瘤数。

1.3 测试分析方法

植株全氮测定采用 H₂SO₄ - H₂O₂ 消煮、蒸馏、滴定法;植株全磷测定采用 H₂SO₄ - H₂O₂ 消煮,钒钼黄比色法^[12]。

土地当量比(LE_R)^[13]:

$$LE_R = (Y_{im}/Y_{sm}) + (Y_{ip}/Y_{sp})$$

式中, Y_{im} 和 Y_{ip} 分别代表间作玉米和间作豌豆的产量; Y_{sm} 和 Y_{sp} 分别代表单作玉米和单作豌豆的产量。

种间相对竞争力^[14]:

$$A_{r,m} = Y_{im}/(Y_{sm} \cdot P_m) - Y_{ip}/(Y_{sp} \cdot P_p)$$

式中, A_{r,m} 为玉米相对于豌豆的资源竞争力; P_m 和 P_p 分别为间作中玉米和豌豆所占的面积比例, P_m = 1/2, P_p = 1/2; Y_{im}、Y_{ip} 分别代表间作玉米和间作豌豆的产量; Y_{sm} 和 Y_{sp} 分别代表单作玉米和单作豌豆的生物产量。

吸氮量 = 生物产量 × 植株氮含量

吸磷量 = 生物产量 × 植株磷含量

数据采用 DPS 软件进行统计分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同间作方式对作物生物产量的影响

2.1.1 不同间作方式对玉米产量的影响 表 1 结果表明,玉米/豌豆间作对玉米生物量有明显的促进作用,在不施氮肥条件下,在苗期(04 - 23)间作后玉米生物产量比单作显著增加,增产幅度达 28.5%,到豌豆结荚初期(05 - 17)玉米的增产幅度达 32.8%,到豌豆收获时(06 - 19)玉米间作后增产幅

度达 48.7%;随着玉米的生长,间作的优势越来越明显。塑料分隔处理玉米间作的优势随着生育期的推进逐渐减弱;尼龙网分隔处理玉米的生物产量在豌豆结荚之前增产效果显著,到豌豆收获期玉米的生物产量与单作相比也有增加,但差异未达显著。收获时各处理玉米生物量的大小顺序为:间作玉米>网隔玉米>塑料分隔玉米>单作玉米。从豌豆结荚初期开始不分隔的间作优势越来越明显,到豌豆收获时,玉米豌豆不分隔间作的处理比单作增产 48.7%,用塑料分隔的处理仅增 6.6%,用 300 目网分隔的处理比单作增产 23.4%,说明在不施氮肥的条件下,玉米/豌豆间作前期增产主要是地上部空间的 优势,在豌豆开始结荚后地下部的间作优势更明显。

在施氮肥 0.15 g·kg⁻¹时,玉米/豌豆间作后从豌豆苗期到豌豆收获期,间作处理、网分隔处理在苗期对玉米没有增产效果,随着生育期的推进玉米的增产效果越明显增加;塑料分隔处理的增产幅度则是随着生育期的推进而降低;到豌豆收获时,间作不分隔处理的增产效果最好,与单作相比增产幅度达 63.2%。

2.1.2 不同间作方式对豌豆生物产量的影响 从表 2 结果可以看出,在不施氮肥条件下,在苗期间作后豌豆生物产量比单作显著增加,随着玉米的生长间作豌豆与单作豌豆相比,豌豆的增产幅度逐渐减小;每公斤土壤施氮 0.15 g 后,玉米/豌豆间作后与单作相比有所减产,到豌豆收获时减产幅度达 16.5%,经方差分析差异达显著水平。

表 1 不同间作方式对玉米生物产量的影响
Table 1 Effect of intercropping pattern on maize biomass

氮肥用量 N fertilizer rate /(g·kg ⁻¹)	处理 Treatment	04 – 23 /(g·pot ⁻¹)	增产/% Biomass increase	05 – 17 /(g·pot ⁻¹)	增产/% Biomass increase	06 – 19 /(g·pot ⁻¹)	增产/% Biomass increase
0	单作 Monoculture	1.30b	—	12.98b	—	41.41b	—
	间作 Intercropped	1.67a	28.5	17.24a	32.8	61.57a	48.7
	间作塑隔 Separated by plastic film	1.72a	32.3	16.41a	26.4	44.15b	6.6
	间作网隔 Separated by mesh	1.75a	34.6	17.44a	34.4	51.10ab	23.4
0.15	单作 Monoculture	1.85b	—	24.19c	—	111.19c	—
	间作 Intercropped	1.69b	- 8.6	26.14b	8.1	181.51a	63.2
	间作塑隔 Separated by plastic film	2.17a	17.3	29.61a	22.4	119.70bc	7.7
	间作网隔 Separated by mesh	1.67b	- 9.7	25.69bc	6.2	136.78b	23.0

注:同列数值后不同字母代表 $P < 0.05$ 下差异显著。下同。
Note: Different lowercase letters in the same row represent significant difference at $P < 0.05$. The same as below.

表 2 不同间作方式对豌豆产量的影响
Table 2 Effect of different intercropping treatment on pea biomass

氮肥用量 N fertilizer rate /(g·kg ⁻¹)	处理 Treatment	04 – 23 /(g·pot ⁻¹)	增产/% Biomass increase	05 – 17 /(g·pot ⁻¹)	增产/% Biomass increase	06 – 19 /(g·pot ⁻¹)	增产/% Biomass increase
0	单作 Monoculture	1.06b	—	6.73b	—	22.55a	—
	间作 Intercropped	1.44a	35.8	8.95ab	33.0	24.17ab	7.3
	间作塑隔 Separated by plastic film	1.41ab	33.0	9.87a	46.6	25.94a	15.0
	间作网隔 Separated by mesh	1.37ab	29.2	8.56ab	27.2	23.98ab	6.34
0.15	单作 Monoculture	1.44a	—	8.96c	—	24.57a	—
	间作 Intercropped	1.36a	- 5.6	9.74bc	8.7	20.52b	- 16.5
	间作塑隔 Separated by plastic film	1.45a	0.6	10.89a	21.5	25.70a	4.5
	间作网隔 Separated by mesh	1.38a	- 4.2	10.20ab	13.8	26.27a	6.9

2.2 不同间作方式对土地当量比及种间相对竞争力的影响

应用土地当量比 (LER)^[16] 作为衡量间作产量优势的指标。当 $LER > 1$, 表明间作有优势; 当 LER

< 1 为间作劣势。表 3 结果显示, 在不施氮肥时, 三种间作方式的 LER 都大于 1, 表明玉米豌豆间作有间作优势, 在豌豆苗期和结荚初期三种间作方式之间间作优势差异不显著, 到豌豆收获时间作不分隔

处理与塑料分隔处理、尼龙网分隔处理相比间作优势显著,而两种分隔处理之间差异不显著。当施氮肥 $0.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,间作不分隔和间作网隔处理,随着生育进程的推进,间作优势越来越明显,尤其间作不分隔处理的间作优势尤为突出。

种间相对竞争力(Aggressively)^[15]:表示两种作物对资源的竞争能力。当 $A_m > 0$,表明玉米竞争能力强于豌豆;当 $A_m < 0$,表明玉米竞争能力弱于豌豆。

从表 3 还可以看出,玉米/豌豆间作方式中玉米对资源的竞争能力强于豌豆,在豌豆苗期和结荚初期,玉米和豌豆基本上不存在资源上的竞争,而到豌豆收获期三种间作方式玉米对资源的竞争力强于豌豆的大小顺序为:间作不分隔>间作网隔>间作塑料分隔,施氮肥以后间作不分隔处理的竞争力更强。间作间作不分隔处理产量优势的形成主要是由于间作显著提高了玉米的产量。

2.3 玉米/豌豆间作对豌豆根瘤生长的影响

表 4 结果表明,在低肥力条件下,玉米豌豆间作后能显著的增加豌豆根瘤数量,与单作相比,间作后豌豆根系的根瘤数量显著增加,增加幅度达 120%,

其次为网隔的处理,根瘤数比单作增加 82.5%,完全分隔处理的根瘤数也有所增加,但差异未达显著。当每公斤土壤施入 0.15 g 氮时,所有施肥处理的豌豆都不结瘤。

2.4 玉米/豌豆间作对玉米植株吸氮量、吸磷量的影响

玉米/豌豆间作对玉米植株的吸氮量有显著的促进作用,在不施氮肥的条件下,玉米/豌豆间作后,在苗期对玉米的吸氮量基本没有影响(见表 5),在豌豆结荚初期间作玉米的吸氮量显著高于单作玉米,到豌豆收获期,间作玉米的吸氮量是单作玉米的 4 倍;玉米与豌豆之间完全分隔的处理与用 300 目网袋分隔的处理在苗期和豌豆结荚初期玉米的吸氮量与间作没有明显的差异,而到豌豆收获时,间作的吸氮量显著高于两个分隔处理。每公斤土施氮肥 0.15 g,在豌豆结荚初期,间作后玉米的吸氮量比单作提高了 16.21%,而间作分隔与网隔的处理与单作玉米没有差异;在豌豆收获时,间作玉米的吸氮量比单作玉米提高了 180.02%,间作分隔处理与网隔处理比单作玉米吸氮量分别提高了 45.30%、34.99%。

表 3 不同间作方式对土地当量比及竞争力的影响

Table 3 Effect of different intercropping treatment on land equivalent ratio and aggressivity

氮肥用量 N fertilizer rate /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	处理 Treatment	04 – 23		05 – 17		06 – 19	
		LER	A_m	LER	A_m	LER	A_m
0	间作 Intercropped	1.32a	– 0.07a	1.33a	0.00a	1.28a	0.41a
	间作分隔 Separated by plastic film	1.33a	– 0.01a	1.37a	– 0.20a	1.11b	– 0.08b
	间作网隔 Separated by mesh	1.32a	0.05a	1.31a	0.07a	1.15b	0.17b
0.15	间作 Intercropped	0.93a	– 0.03a	1.08a	– 0.01b	1.23a	0.80a
	间作分隔 Separated by plastic film	1.09a	0.17a	1.16a	0.14a	1.06b	0.03c
	间作网隔 Separated by mesh	0.93a	– 0.06a	1.07a	– 0.03b	1.15ab	0.16b

表 4 玉米/豌豆间作后对豌豆根瘤数的影响

Table 4 Effect of pea and maize intercropping on the nodule number of pea

氮肥用量 N fertilizer rate /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	处理 Treatment	根瘤数 Nodule number			比单作增加/% Increase in contrast to monoculture	显著性(0.05) Significance
		I	II	平均 Average		
0	单作 Monoculture	39	41	40	—	b
	间作 Intercropped	74	102	88	120.0	a
	间作分隔 Separated by film	42	56	49	22.5	b
	间作网隔 Separated by mesh	80	66	73	82.5	a
0.15	单作 Monoculture	0	0	0	—	
	间作 Intercropped	0	2	1		
	间作分隔 Separated by film	0	0	0		
	间作网隔 Separated by mesh	0	0	0		

玉米/豌豆间作对玉米的吸磷量也有显著的影响,在不施氮肥的条件下,豌豆收获时间作的吸磷量比单作高 48.06%,网隔处理的吸磷量也有所增加,但差异未达显著;每公斤土施氮肥 0.15 g 时,在豌豆结荚初期,间作后玉米的吸磷量比单作提高了 24.5%,而间作分隔与网隔的处理与单作玉米没有差异;在豌豆收获时,间作玉米的吸磷量比单作玉米提高了 111.62%,间作分隔处理与网隔处理比单作玉米吸氮量分别提高了 17.63%、28.56%。

结果表明,玉米/豌豆间作促进了玉米对氮、磷的吸收,显著提高玉米的吸氮量和吸磷量。

2.5 玉米/豌豆间作对豌豆吸氮量、吸磷量的影响

2.5.1 吸氮量 在不施氮肥的条件下,玉米/豌豆间作在豌豆苗期能显著提高豌豆的吸氮量,随着豌豆生育期的推进,到豌豆结荚初期、收获期间作豌豆的吸氮量与单作豌豆相比基本没有差异;而完全分隔处理的豌豆的吸氮量显著增加。在施氮肥 0.15 g

•kg⁻¹时,间作豌豆的吸氮量在苗期和结荚前期与单作豌豆没有差异,收获时间作豌豆的吸氮量显著降低,降低幅度达 28.19%,而完全分隔和网分隔处理的豌豆吸氮量都与单作没有差异(见表 6)。

2.5.2 吸磷量 玉米/豌豆间作对豌豆的吸磷量影响是先增加后降低,在不施氮肥的条件下,玉米/豌豆间作能显著提高豌豆苗期的吸磷量,随着豌豆生育期的推进,到豌豆结荚初期吸磷量与单作豌豆没有差异,而到收获期间作豌豆的吸磷量低于单作豌豆;完全分隔处理的豌豆的吸磷量在苗期、结荚初期与单作豌豆相比没有明显的差异,到收获时吸磷量显著增加。在施氮肥 0.15 g•kg⁻¹时,豌豆苗期、结荚初期对豌豆的吸磷量都没有影响,但到豌豆收获期,玉米/豌豆间作后豌豆的吸磷量显著降低,降低幅度达 32.52%,而分隔处理与网隔处理均无明显变化(表 6)。

表 5 玉米/豌豆间作对玉米植株吸氮量、吸磷量的影响

处理 Treatment	吸氮量/(mg·盆 ⁻¹) Nitrogen uptake			吸磷量/(mg·盆 ⁻¹) Phosphorus uptake		
	04 - 23	05 - 17	06 - 20	04 - 23	05 - 17	06 - 20
N0 玉米单作 N0 maize monoculture	55.4a	150.44b	245.7b	6.2a	39.6b	74.7b
N0 玉米间作 N0 maize intercropped	68.3a	228.50a	1037.8a	7.2a	49.3ab	110.6a
N0 玉米隔间作 N0 maize separated by film	75.4a	213.26a	253.6b	8.5a	51.7a	67.4b
N0 玉米网间作 N0 maize separated by mesh	69.6a	220.59a	320.0b	7.3a	44.1ab	87.6ab
N0.15 玉米 N0.15 maize	75.1ab	732.74b	930.5c	6.6a	79.6b	129.9b
N0.15 玉米间作 N0.15 maize intercropped	69.7b	851.55a	2605.6a	6.1a	99.1a	274.9a
N0.15 隔玉米间作 N0.15 maize separated by film	97.4a	673.97b	1352.0b	9.0a	75.4b	152.8b
N0.15 网玉米间作 N0.15 maize separated by mesh	67.8b	721.04b	1256.1b	6.4a	79.5b	167.0b

表 6 玉米/豌豆间作对豌豆植株吸氮量、吸磷量的影响

处理 Treatment	吸氮量/(g·盆 ⁻¹) Nitrogen uptake			吸磷量/(g·盆 ⁻¹) Phosphorus uptake		
	04 - 23	05 - 17	06 - 20	04 - 23	05 - 17	06 - 20
N0 豌豆单作 N0 pea monoculture	48.33b	271.54a	440.97b	4.91bc	41.30a	57.39bc
N0 豌豆间作 N0 pea intercropped	71.60a	268.75a	475.27ab	6.95a	44.98a	47.19c
N0 豌豆隔间作 N0 pea separated by film	68.29a	277.31a	566.73a	6.88ab	47.29a	85.12a
N0 豌豆网间作 N0 pea separated by mesh	44.13b	246.99a	501.20ab	4.70c	44.20a	67.20b
N0.15 豌豆 N0.15 pea	69.14a	359.09b	574.26a	6.47a	41.29a	79.67a
N0.15 豌豆间作 N0.15 pea intercropped	68.98a	406.18ab	412.39b	5.81a	43.69a	53.76b
N0.15 隔豌豆间作 N0.15 pea separated by film	68.39a	460.38a	623.75a	6.31a	48.13a	65.82a
N0.15 网豌豆间作 N0.15 pea separated by mesh	61.67a	424.81b	589.03a	5.66a	44.02a	66.60ab

3 讨 论

禾本科作物对土壤、肥料氮的竞争会刺激豆科作物固氮能力的提高,但过多的氮肥施用会抑制豆科共生固氮作用,降低豆科-禾本科间作优势,增大农田氮素污染的风险^[15]。不同地区不同豆科作物种类的研究均表明:豆科-禾本科间作能够促进豆科作物共生固氮,低氮土壤中豆科作物固氮作用更明显,过高的土壤氮素会抑制豆科作物固氮酶活性,降低固氮效率。Ghaley 等长期的豌豆-小麦间作田间试验也表明氮素的增加降低了豌豆的氮素累积量。Rerkasem B 等^[16]对饭豆与玉米间作的结果表明,玉米与饭豆间作增加了系统中固定空气氮的比例。Danso 等^[17]在对蚕豆/大麦间作系统的研究发现由于大麦竞争作用蚕豆的固氮量增加。汤东生等^[18-19]研究报道,蚕豆间种其它作物能促进蚕豆结瘤。本研究结果显示:在低氮条件下,玉米/豌豆间作能显著增加豌豆的根瘤数量,与单作相比,间作后豌豆根瘤数量增加 120%;根系分隔以后,结瘤数显著降低;高氮条件抑制豌豆结瘤。

大量研究证明,间作系统中非豆科促进豆科固氮和豆科固氮向非豆科转移^[15,20],Vallis 等^[21]用¹⁵N 技术证明了豆科/禾本科牧草混作中发生了豆科氮向禾本科牧草的转移;Ledgard 等^[22]用¹⁵N 稀释技术研究也发现,在豆科/禾本科牧草间作中有相当数量的氮发生了转移;褚贵新等^[23]研究表明,豆科/禾本科作物间作系统中豆科作物可向禾本科作物转移一定量氮素,本研究结果表明:玉米/豌豆间作促进了玉米对氮、磷的吸收,显著提高玉米的吸氮量和吸磷量。低氮条件下对豌豆的吸氮量和吸磷量影响不大,高氮条件下间作豌豆的吸氮量、吸磷量显著降低,而分隔处理与网隔处理均无明显变化。

玉米/豌豆间作对玉米生物量有明显的促进作用,不同肥力条件下影响不同。间作后玉米生物产量比单作增产 48.7%~64.2%,在低肥力条件下,间作玉米生物量各生育期都显著增加,并且随着生育期的推进增产幅度也增加,在高肥力条件下玉米前期影响较小,后期间作产量显著增加;豌豆产量在低肥力条件下间作不分隔处理比单作增产 14.1%;在高肥力条件下,间作豌豆生物量降低。

代晋等^[24]通过不同隔根和种植模式对玉米豌豆群体的根分布及豌豆根瘤的研究结果表明,无隔根和尼龙网隔根间作群体存在种间作用,无隔根种间作用强于尼龙网隔根,而塑料膜隔根间作群体不存在种间作用。本研究表明:玉米豌豆间作在低肥

力条件下,三种间作方式的土地当量比都大于 1,表明玉米豌豆间作有间作优势,在豌豆苗期和结荚初期三种间作方式间作优势差异不显著,到豌豆收获时间作不分隔处理与塑料分隔处理、尼龙网分隔处理相比间作优势显著,而两种分隔处理之间差异不显著。在高施氮水平下,间作不分隔和间作网隔处理,随着生育进程的推进,间作优势越来越明显,尤其间作不分隔处理的间作优势尤为突出。玉米对豌豆的资源竞争能力强于豌豆,在豌豆苗期和结荚初期,玉米和豌豆基本上不存在资源上的竞争,而到豌豆收获期,三种间作方式玉米对豌豆的竞争力大小顺序为:间作不分隔>间作网隔>间作塑料分隔,施氮肥以后间作不分隔处理的竞争力更强。间作不分隔处理产量优势的形成主要是由于间作显著提高了玉米的产量。

参 考 文 献:

- [1] Zhu Y Y, Chen H R, Fan J H, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. Nature, 2000, 406: 718-722.
- [2] 董 艳, 汤 利, 郑 毅, 等. 小麦-蚕豆间作条件下氮肥施用量对根际微生物区系的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1559-1566.
- [3] 肖焱波, 李 隆, 张福锁. 两种间作体系中养分竞争与营养促进作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 86-89.
- [4] Xiao Y B, Li L, Zhang F S. Effect of root contact on interspecific, competition and N transfer between wheat and fababean using direct and indirect ¹⁵N techniques[J]. Plant and Soil, 2004, 262: 45-54.
- [5] 肖炎波, 李 隆, 张福锁. 豆科//禾本科间作系统中氮营养研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(6): 44-47.
- [6] Hogh-Jensen H, Schoerring J K. Interactions between white clover and ryegrass under contrasting nitrogen availability: N₂ fixation, N fertilizer recovery, N transfer and water use efficiency[J]. Plant Soil, 1997, 197: 187-199.
- [7] Elgersma A, Schleppers H, Nassiri M. Interactions between perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*trifolium repens* L.) under contrasting nitrogen availability: productivity, seasonal patterns of species composition, N₂ fixation, N transfer and N recovery[J]. Plant Soil, 2000, 221: 281-299.
- [8] 李 隆. 间作作物种间促进与竞争作用的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1999: 11-53.
- [9] Li L, Yang S C, Li X L, et al. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean[J]. Plant and Soil, 1999, 212: 105-114.
- [10] Li W X, Li L, Sun J H, et al. Effects of intercropping and nitrogen application on amounts of nitrate presented in the soil profile[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2005, 105: 483-491.
- [11] Li S M, Li L, Zhang F S, et al. Acid phosphatase role in chickpea/maize intercropping[J]. Annals of Botany, 2004, 94: 297-303.
- [12] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社出版, 1981: 213-219.

[13] Willey R W. Intercropping—Its importance and research needs. Part 1. competition and yield advantages[J]. Field Crop Abstr, 1970,32 (1):1-10.

[14] 肖靖秀,汤 利,郑 毅.氮肥用量对油菜//蚕豆间作系统作物产量及养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17 (6):1468-1473.

[15] 杨文亨,王晓维,王建武.豆科—禾本科间作系统中作物和土壤氮素相关研究进展[J].生态学杂志,2013,32(9):2480 – 2484.

[16] Rerkasem B, Rerkasem K, Peoples M B, et al. Measurement of N2 fix ation in maize (Zea mays L.)-ricebean (Vignaumbellat a[Th unb.] Ohwi and Ohashi) [J]. Plant and Soil, 1988,108:151-162.

[17] Danso S K A, Zapat a F, Hardarson G, et al. Nitrogen fixation in fababeans as affected by plant population density in soleor interer opped systems with barley[J]. Soil Biochemistry, 1987, 19: 411-415.

[18] 汤东生,朱有勇.蚕豆/小麦间作对结瘤效应研究初探[J].云南农业大学学报,2005,20(3)331-334.

[19] 汤东生,秀洪学,董玉梅,等.种间互作生态效应Ⅱ.与蚕豆间作对作物生长的影响[J].西北农业学报,2012,21(4):60-64.

[20] Elgersma A, Schleppers H, Nassin M. Interactions between perennial ryegrass(Lolium perenne L.) and white clover(Trifolium repens L.) under contrasting nitrogen availability: productivity, seasonal patterns of species composition, N2 fixation, N transfer and N recovery[J]. Plant Soil, 2000,221:281-299.

[21] Vallis I, Haydock K P, Ross P J, et al. Isotopic studies on the up-take of nitrogen by pasture plants. III. the uptake of small additions of 15N-labelled fertilizer by rhodes grass and townsvill iucerne[J]. Australian Journalof Agricultural Research, 1967,18:865-877.

[22] Ledgard S F. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures[J]. Plant Soil, 2001,228: 43-59.

[23] 褚贵新,沈其荣,王树起.不同供氮水平对水稻/花生间作系统氮素行为的影响[J].土壤学报,2004,41(5):789-794.

[24] 代 晋,柴 强,李 广.隔根和种植模式对玉米豌豆群体的根分布及豌豆根瘤的影响[J].草业科学,2011,28(12):2162-2166.

(上接第 169 页)

[11] 王 丽,李 军,李 娟,等.轮耕与施肥对渭北旱作玉米田土壤团聚体和有机碳含量的影响[J].应用生态学报,2014,25 (3):759-768.

[12] 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等.水旱轮作制下连续秸秆覆盖对土壤理化性质和作物产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):587-594.

[13] 梁贻仓,王 俊,刘全全,等.地表覆盖对黄土高原土壤有机碳及其组分的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(5):161-167.

[14] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986,50(3):627-633.

[15] 郑子成,李廷轩,张锡洲,等.不同土地利用方式下土壤团聚体的组成及稳定性研究[J].水土保持学报,2009,23(5):228-231, 236.

[16] 何淑勤,郑子成.不同土地利用方式下土壤团聚体的分布及其有机碳含量的变化[J].水土保持通报,2010,30(1):7-10.

[17] Du Z L, Ren T S, Hu C S, et al. Soil aggregate stability and aggregate-associated carbon under different tillage systems in the North China Plain[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(11): 2114-2123.

[18] 廖 萍,黄国勤.红壤旱地保护性耕作对土壤理化性状的影响[J].耕作与栽培,2006,(5):31-32.

[19] 张仁陟,罗珠珠,蔡立群,等.长期保护性耕作对黄土高原旱地土壤物理质量的影响[J].草业学报,2011,20(4):1-10.

[20] 蔡立群,罗珠珠,张仁陟,等.不同耕作措施对旱地农田土壤水分保持及入渗性能的影响研究[J].中国沙漠,2012,32(5): 1362-1368.

[21] 魏朝富,谢德体,李保国.土壤有机无机复合体的研究进展[J].地球科学进展,2003,18(2):221-227.

[22] 郑子成,王永东,李廷轩,等.退耕对土壤团聚体稳定性及有机碳分布的影响[J].自然资源学报,2011,26(1):119-127.

[23] Jastrow J D, Miller R M, Boutton T W. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon – 13 natural abundance[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996,60(3): 801-807.

[24] 张 赛,王龙昌.保护性耕作对土壤团聚体及其有机碳含量的影响[J].水土保持学报,2013,27(4):263-267,272.

[25] 李辉信,袁颖红,黄欠如,等.不同施肥处理对红壤水稻土团聚体有机碳分布的影响[J].土壤学报,2006,43(3):422-429.

[26] 孙汉印,姬 强,王 勇,等.不同秸秆还田模式下水稳性团聚体有机碳的分布及其氧化稳定性研究[J].农业环境科学学报,2012,31(2):369-376.

[27] 郝翔翔,杨春葆,苑亚茹,等.连续秸秆还田对黑土团聚体中有机碳含量及土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2013,29(35): 263-269.