第 20 卷第 4 期
2000 年 7 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.20,No.4
July,2000

小麦-大豆间作中小麦对大豆磷吸收的促进作用

李 隆,李晓林,张福锁
(中国农业大学植物营养系,北京 100094)

摘要:采用塑料膜、30μm 尼龙网分隔以及不分隔两种作物根系的盆栽装置研究了小麦-大豆间作种间磷吸收的促进作用。结果表明,两种作物根系用尼龙网分隔后,即种间磷竞争作用基本消除后,小麦对大豆磷吸收具有明显的促进作用,表现为大豆生物学产量明显提高,是塑料膜分隔的 2.5 倍,是无分隔的 4.6 倍。尼龙网分隔,大豆的根系活力高于塑料膜分隔 45.2%,达显著水平。此外,尼龙网分隔形成小麦根面,大豆的根系呈偏向小麦根面的分布,塑料膜分隔,则以大豆株为中心在两侧呈均匀分布。得出结论认为,小麦对大豆磷吸收促进作用主要来自于小麦的根际效应。

关键词:小麦-大豆间作;磷吸收;促进作用

Facilitation of wheat to phosphorus uptake by soybean in the wheat-soybean intercropping

LI Long, LI Xiao-Lin, ZHANG Fu-Suo (*Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing* 100094, *China*)

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the interspecific facilitation of wheat to the phosphorus uptake by soybean in the spring wheat-soybean intercropping. The pots were separated into two compartments by either plastic sheet to eliminate root contact and any solute movement between two crop root systems or by nylon net (30μm) to prevent root contact between two crops while permitting solute exchange between them. In addition, a control treatment was used where no separation was made to the pot. Wheat plants were grown in one compartment and soybean in the other. The obvious facilitation of wheat to phosphorus uptake by soybean was observed in pot with net separation, where competition of wheat to phosphorus was eliminated. The biomass, root activity and phosphorus uptake of soybean for nylon net separation treatment were 150%, 45.2% and 134% higher than those for plastic sheet separation treatment, respectively. In pots with nylon net separation, more roots of soybean were distributed near the nylon net on which wheat formed a dense root mat in the other side. In contrast, soybean roots distributed more or less evenly in the whole compartment for treatment of plastic sheet. It was supposed that the beneficial effect of soybean was resulted from the rhizosphere effect of wheat.

Key words: wheat/soybean intercropping; phosphorus uptake; interspecific facilitation
文章编号:1000-0933(2000)04-0177-07 **中图分类号**:Q945 **文献标识码**:A

小麦-大豆间作是我国西北地区较为普遍的一种高产种植形式,具有明显的间作优势[1],在农业生产中具有十分重要的地位。然而,对小麦、大豆两种作物种植在一起后,种间相互作用研究很少。而种间相互作用的结果决定了是否具有间作优势。间作中作物种间的相互作用主要有两方面,一是种间促进作用(Facilitation),另一是种间竞争作用(Competition)。两种作用总是伴生存在的,当竞争作用 > 促进作用时,表现为

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:39670435 和 3970100)
收稿日期:1998-06-28 修订日期:1999-03-02
作者简介:李 隆(1962~),男,甘肃省兰州市人,副研究员。主要从事间作营养研究。
万方数据

间作劣势;当竞争作用 < 促进作用时表现为间作优势[2],有关这方面的研究大多集中在种间竞争作用上[2,3],对种间促进作用这一间作优势存在的基础研究很少。究其原因,一方面可能是竞争作用在间作中更为普遍(实际上观察到的是种间竞争作用和促进作用的结果);另一方面,可能是由于将两种作用分离开来研究在方法上有一定的难度。鉴于磷在土壤中的低移动性的特点[4],本文试图通过盆栽试验,采用根系隔离方法将种间促进作用从竞争作用分离出来研究,初步探讨一种作物的根际效应对另一种作物的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计及其思路 采用如图 1 所示的盆栽装置,中间用塑料膜隔开时,假定根系之间无相互作用,即根系与另一作物根系间无物质和信息交换,当用 30μm 尼龙网分隔时,种间根系被隔开,但根系间有物质和信息交换,因为磷在土壤中移动性很低[4],根系要竞争某一区域的磷,必须到达这一区域,用尼龙网将两种作物根系隔开,根系不能伸展到对方根区,可假定种间磷竞争很小,甚至忽略不计,根分泌的有机酸及某些生理活性物质可在根间交换,从而使促进作用呈现出来;当根系间不分隔时,竞争作用与促进作用共存。

试验设 3 个施磷水平,P 分别为 0,150 和 300mg/kg 土。施 N 300mg/kg 土,K 200mg/kg 土,Mg 50mg/kg 土,Fe,Mn,Cu 和 Zn 各 5 mg/kg 土。试验重复 4 次。

1.2 试验方法 试验用盆为 2308cm^3($\pi \times 7^2 \times 15$cm^3)的塑料盆,从中间切割开,用聚氯乙烯粘合剂将尼龙网或塑料膜粘夹在中间(见图 1),并用密封胶密封使其不漏水。从而将盆分隔成两室,每室装过 2mm 筛,并混好肥料的土壤 1.0kg,每室浇水 200ml,不分隔处理整盆装 2.5kg,浇水 400ml,播种预先催好芽的小麦和大豆每室覆盖施相应的肥料的土壤 0.2kg,不分隔的盆地按相应种植,覆拌好相应肥料的土壤 0.4kg。

所用品种为小麦-大豆间作广泛分布的西北地区生产中应用的品种,小麦为 8354,大豆为汾豆 8 号,小麦播种 45 粒,大豆 4 粒,出苗后小麦留苗 40 株/盆,大豆 1 株/盆。

作物生长期间充分供水,满足作物对水分的需求。

供试土壤采自北京芦沟桥,土壤质地为砂土,有机质含量 0.39%,全 N0.027%,碱解 N41mg/kg,Olsen-P 为 9.8mg/kg,速效钾 60.4mg/kg,pH 为 8.3。

1.3 测定方法 ①干物质重 收获时小麦为扬花期,大豆为结荚期。收获后在 105℃杀青 30min,然后在 60℃烘干,称重。②根系活力 采用 α-萘胺氧化法[5]。③根系分布 按图 2 所示的距分隔面不同距离 0~2、2~4 和 4~7cm 土区分别洗出全部根测定根鲜重。④小麦、大豆植株 N、P 含量用常规分析方法。

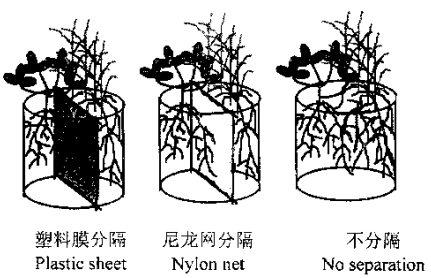

图 1 盆栽分隔试验示意图

Fig.1 Schematic diagram of separation with plastic sheet, nylon net and no separation between wheat root and soybean root in pot

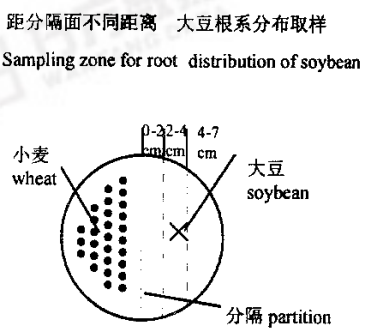

图 2 盆栽作物种植示意图

Fig.2 Schematic diagram of planting wheat and soybean in thee pot.

2 结果与分析

2.1 分隔和施磷对地上部生物学产量的影响

小麦 Duncan 多重比较检验表明,施磷并未显著增加小麦的地上部生物学产量。然而地下部根系分隔对小麦地上部产量有明显的影响,塑料膜分隔和尼龙网分隔的小麦产量均显著地低于不分隔处理,3 个施 P 水平均呈此特点(表 1)。表明小麦竞争能力明显强于大豆,

万方数据

当两种作物根系相互交叉后,小麦根系竞争到更多的养分,使其产量提高;而当两种作物根系被隔开时,小麦不能竞争到大豆根区的难移动养分,特别是磷。从而使其产量降低。塑料膜分隔和尼龙网分隔小麦产量差异不显著,说明水分和氮在本试验中不是限制因素,否则,种间竞争这两个因素就会引起分隔方式之间的差异。

大豆　施 P 300 mg/kg,大豆地上部干物质产量显著地高于施 P 150mg/kg 土和不施 P 的干物质产量,而施 P 150mg/kg 土与对照差异不显著,表明大豆对施磷的反应要比小麦好,更重要的是,两种作物根系间分隔大豆地上部产量具有显著差异。用尼龙网分隔后,大豆地上部产量是用塑料膜分隔的 2.51 倍,是不分隔处理的 4.60 倍,达显著或极显著水平。且在每个施 P 水平都呈同样趋势(表 2)。当两种作物根系被塑料膜分隔时,大豆未受到来自小麦地下部的竞争作用,也没有从小麦的地下部获得好处,因而其产量并不是最高的。当种间根系无分隔时,两种作物根系相互交错,竞争作用远大于促进作用,净表现为较强烈的竞争作用,使大豆产量显著降低。而当两种作物根系用尼龙网分隔时,小麦对大豆根区磷的竞争作用很小,种间根系促进作用将呈现出来,试验结果证实了小麦对大豆的这种促进作用的存在。

2.2　施磷与根系分隔时对两种作物氮含量和氮吸收的影响

小麦　无论是施磷处理间还是种间根系分隔处理间,小麦地上部氮含量均无显著差异(表 3),表明氮肥是充分满足的。

大豆　不同施磷水平间大豆地上部氮含量无显著差异,根系分隔对大豆含氮量有一定影响,用塑料布分隔时,大豆地上部氮含量显著地高于尼龙网分隔和不分隔处理,但大豆的产量并未相应提高(表 4),说明该处理出现了奢侈吸收,限制产量的因素并不是氮。

2.3　施磷和根系分隔对作物磷吸收的影响

小麦　施磷显著地提高了小麦地上部磷含量,随施磷量提高小麦地上部磷含量相应显著增加。在不施磷和施磷 150mg/kg 条件下,分隔的 3 个处理小麦的磷含量差异均不显著;只有在施磷 300mg/kg 时出现了差异(表 5),即隔塑料膜的小麦磷含量高于尼龙网分隔和不分隔。小麦的磷吸收量,尼龙网分隔后,小麦地上部磷吸收量显著地低于塑料膜分隔,但二者的产量并未出现显著差异(表 1),说明塑料膜分隔的小麦吸收了过多的磷,属奢侈吸收。

表 1　小麦生物学产量(g/pot)

Table 1　Biomass of spring wheat

施磷水平 Rate of P application	分隔处理 Partition			
	塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均[1] Mean
P_0[2)]	21.22b	19.24b	25.32a	21.93a
P_{150}	20.46b	21.14b	26.22a	22.61a
P_{300}	19.88b	19.71b	24.74a	21.44a
平均 Mean	20.52b	20.23b	25.43a	

1)该列中字母相同的值差异不显著,具有不同字母的值间差异显著 Values in this column followed by the same letter are not significant different at 0.05 level, those followed different letters are significant at 0.05. 2)表中除最后一列外,其余均是行内 3 个值进行比较,字母相同的值间差异不显著,具有不同字母的值间差异显著 Values in every row except for lastest column followed by the same letter are not significant different at 0.05 level, and those followed by the different letters are significant at 0.05 level.

表 2　大豆生物学产量(g/pot)

Table 2　Biomass of soybean

施磷水平 Rate of P application	分隔处理 Partition			
	塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均[1)] Mean
P_0	1.66b	3.96a	0.90b	2.17b
P_{150}	1.52b	3.68a	0.86b	2.02b
P_{300}	2.03b	5.47a	1.10b	2.87a
平均[2)] Mean	1.74b	4.37a	0.95c	

1)、2)同表 1;The same as table 1

表 3　施磷和分隔处理对小麦植株含氮量(N%)的影响

Table 3　concentrations in the wheat for different treatments

施磷水平 Rate of P application	分隔处理 Partition			
	塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均[1)] Mean
P_0	3.219a	3.311a	3.176a	3.235a
P_{150}	3.382a	3.655a	3.279a	3.439a
P_{300}	3.399ab	3.623a	2.969b	3.330a
平均[2)] Mean	3.333ab	3.530a	3.141b	

1)、2)同表 1 The same as table 1

万方数据

大豆 两个施磷水平相对于不施磷均显著增加了大豆植株体内的磷含量,塑料膜分隔和尼龙网分隔磷含量无显著差异。隔尼龙网的吸磷量均显著地高于塑料膜分隔和不隔(表 6),这可理解为用尼龙网分隔的大豆磷吸收量的增加来自于小麦根际的促进作用,与小麦吸磷量有所下降的结果相吻合。另外,根据不分隔时小麦的吸磷量显著增加,大豆吸磷量显著下降的特点,可以推测种间根系交叉时,小麦活化的磷均被小麦自己吸收,因为小麦的吸收能力更强[4],所以使大豆仅能吸收到很少的磷。

表 4 施磷和分隔处理对大豆植株含氮量(N%)的影响

Table 4 Nitrogen concentrations in the soybean for different treatments

施磷水平 Rate of P application	分隔处理 Partition			
	塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均1) Mean
P_0	6.370a	5.942a	5.581a	5.764a
P_{150}	6.437a	5.494a	4.768ab	5.566a
P_{300}	6.326a	4.896a	5.073a	5.432a
平均2) Mean	6.378a	5.444b	5.141b	

1)、2) 同表 1 The same as table 1

表 5 施磷和根系分隔对小麦磷吸收量的影响(mg/pot P)

Table 5 Effects of P application and partition between wheat root and soybean root on P uptake by wheat

施磷水平 Rate of P application		分隔处理 Partition			
		塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均1) Mean
P_0	吸磷量3)(mg/pot)	33.32B	33.41b	42.81a	36.51b
	磷含量4)(%)	0.152a	0.174a	0.169a	0.165c
P_{150}	吸磷量(mg/pot)	59.07ab	55.21b	66.72a	60.33a
	磷含量(%)	0.290a	0.262a	0.254a	0.269b
P_{300}	吸磷量(mg/pot)	71.92a	52.85b	65.74a	63.50a
	磷含量(%)	0.364a	0.267b	0.265b	0.299a
平均2) Mean	吸磷量(mg/pot)	54.77a	47.16b	58.42a	
	磷含量(%)	0.327a	0.297a	0.211b	

1)、2) 同表 1 The same as table 1;3) P uptake;4) P content

综上所述,大豆吸磷量的增加来自于小麦根际效应,这个效应是以小麦吸磷量降低为代价的,但小麦吸磷量降低并未引起其产量的相应降低。

2.4 施磷和分隔对根系的影响

2.4.1 对根生物量的影响 统计检验表明,施 P 150mg/kg 土,小麦根生物量显著高于不施磷和施 150mg/kg 土处理,尼龙网和隔塑料膜处理间差异不显著。大豆根则相反,施磷处理未增加大豆根生物量,但隔尼龙网处理的生物量显著高于隔塑料膜处理。

表 6 施磷和根系分隔对大豆磷吸收量的影响

Table 6 Effects of P application and partition between wheat root and soybean root on P uptake by soybean

施磷水平 Rate of P application		分隔处理 Partition			
		塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均1) Mean
P_0	吸磷量3)(mg/pot)	3.12b	10.68a	2.02b	5.27b
	磷含量4)(%)	0.179b	0.268a	0.224ab	0.224b
P_{150}	吸磷量(mg/pot)	5.70b	11.67a	1.45b	6.27b
	磷含量(%)	0.380a	0.321a	0.168b	0.290a
P_{300}	吸磷量(mg/pot)	7.82b	16.55a	2.62b	9.00a
	磷含量(%)	0.423a	0.303b	0.242b	0.323a
平均2) Mean	吸磷量(mg/pot)	5.55b	12.97a	2.03c	
	磷含量(%)	0.327a	0.297a	0.211b	

1)、2) 同表 1 The same as table 1;3)、4) 同表 5 The same as table 5

万方数据

2.4.2　对大豆根系分布的影响　用尼龙网分隔后,大豆根系呈偏向尼龙网的分布,即大豆根系在靠近小麦根面一侧根量较多,在不施磷和施磷 150mg/kg P 时呈此特点,当施磷量进一步提高到 300mg/kg 时,该特点则消失。可能有两方面的原因,一是随着施磷水平的提高,小麦根分泌量下降,根际效应减弱;二是大豆根区也有较丰富的磷,根系生长的趋向养分的特点随之观察不到。同理,当用塑料膜分隔时,大豆根区不受小麦根际的影响,养分均匀分布,大豆根系自然呈中间多,两侧根量相近的分布(图 3),进一步证实了小麦根际效应的假设。当两作物根系无分隔时,大豆根系呈远离小麦根系的趋势(图 3)。

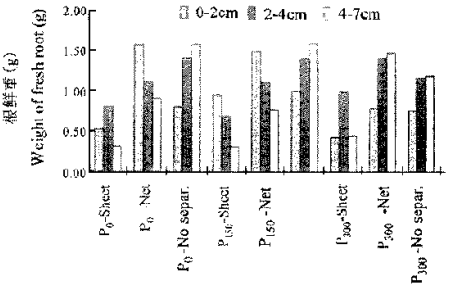

图 3　大豆根系在距分隔面不同距离区域中的分布

Fig.3　Root biomass distribution of soybean in different zone in the pot

2.4.3　对两种作物根系活力的影响　应用根氧化力作为根系活力的指标,测定结果表明,不同施磷水平,不同根系分隔方式间小麦根系氧化力差异均未达显著水平。然而,大豆的根氧化力虽不受施磷水平的影响,但分隔处理间差异显著(表 7)。表明大豆根系活力受小麦根际的影响,但这种影响是直接作用还是间接作用,也就是说,是由于改善了大豆磷营养状况还是其它的生理活性物质的作用,还有待于进一步研究。

表 7　大豆根系氧化力($\mu g/g \cdot h$)

Table 7　Activity of soybean root for P application and partition treatments

施磷水平 Rate of P application	分隔处理 Partition			
	塑料膜 Plastic sheet	尼龙网 Nylon net	不分隔 No partition	平均[1)] Mean
P_0	29.57ab	44.45a	9.83b	27.95a
P_{150}	32.30a	49.55a	9.95b	30.60a
P_{300}	31.80ab	41.94a	14.68b	29.47a
平均[2)] Mean	31.20b	45.32a	11.49c	

1)、2):同表 1 The same as table 1

3　小结

3.1　初步证实了小麦、大豆共生期间存在着小麦对大豆磷吸收的促进作用,主要表现在磷吸收量显著提高。但这种促进作用只有在竞争作用被基本消除以后才能呈现出来,本研究采用两种作用根系间隔尼龙网和隔塑料膜的方法较好地解决了种间磷竞争与促进作用的分离问题。

3.2　小麦的根际效应可能是小麦对大豆磷吸收的促进作用的机制之一。其证据之一是大豆根系分布的偏向小麦分布;证据之二是隔网后大豆根系生理活性显著提高。

3.3　是否有来自于小麦根系分泌的生理活性物质对大豆磷利用效率起作用,仍待于深入研究。但已有数据表明,隔网后大豆的磷利用效率(即单位吸磷量生产的干物质重)显著增加,用已获得数据还难以解释。

参考文献

[1]　柴良植,刘世铎,李得举. 大力发展间作套种,提高灌区综合效益. 干旱地区农业研究,1997,15(2):37～43.

[2]　Vandermer J. *The Ecology of intercropping*. Cambridge:Cambridge university press,1989,68～103.

[3]　Horst W J,Efficiency of soil-nutrient use in intercropping systems. In:Sinoquet editor,*Ecophysiology of tropical intercropping*. Paris:INRA,1995,197～212.

[4]　Barber S A. *Soil nutrient bioavailability——A mechanistic approach*. New York:John wiley & sons. inc. 1984,89～237.

[5]　张宪政. 作物生理研究法. 北京:农业出版社,1992.140～142.

万方数据