

小麦//蚕豆间作中的种间氮营养差异比较研究

肖焱波^{1,2}, 李 隆¹, 张福锁¹

(1 中国农业大学植物营养系, 农业部植物营养学重点实验室, 教育部土壤与植物相互作用重点实验室, 北京 100094;

2 云南大学生命科学院, 云南昆明 650091)

摘要: 通过根系分隔和¹⁵N 标记土壤的盆栽试验, 研究间作蚕豆和小麦对不同氮素来源利用的差异。结果表明, 根系不分隔的处理小麦生长改善, 其生物量、吸氮量都高于其它 2 种分隔方式; 蚕豆的生长则表现被抑制, 其生物量在根系不分隔时生物量和吸氮量皆最低。在尼龙网分隔的处理中, 小麦植株体内¹⁵N% 丰度高于其它 2 种分隔方式, 而蚕豆则表现为根系未分隔的处理¹⁵N% 丰度最低。表明小麦竞争肥料氮的能力强于蚕豆, 小麦的竞争促进了蚕豆固定更多的空气氮。

关键词: 小麦; 蚕豆; 间作; 氮营养;

中图分类号: S344.2; Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2003)04-0396-05

Nitrogen complementary use in intercropped wheat and faba bean

XIAO Yan-bo^{1,2}, LI Long¹, ZHANG Fu-suo¹

(1 Department of Plant Nutrition, China Agric. Univ., Key Lab of Plant Nutrition, MOA, Key Lab. of Plant-Soil Interaction, MOE, Beijing 100094, China; 2 School of Life Sci., Yunnan Univ., Kunming 650091, China)

Abstract: The difference between intercropped fababean and wheat in using different nitrogen source has been studied by pot experiment with root barrier and ¹⁵N trace technique. The results showed that wheat growth was enhanced without root barrier, leading to higher biomass and N acquisition than those with both solid barrier and mesh barrier. However, the growth of faba bean was unexpectedly suppressed due to wheat competition and the short growing periods made the recovery not possible. Thus, the biomass and N acquisition of faba bean without root barrier was lowest in the three root barrier patterns. ¹⁵N% abundance was highest in wheat with mesh barrier, and ¹⁵N% abundance was lowest in faba bean without barrier, which suggested that the competition of wheat for fertilizer N was stronger, and the competition leads to high percentage of N fixation from atmospheric N₂.

Key words: wheat; faba bean; intercropping; nitrogen nutrition

豆科与禾本科间套种是农业生态系统中的一种常见的种植模式^[1, 2]。在这种模式中, 两种作物不仅可以充分利用光、热、水、气等资源, 而且豆科作物可以通过各种途径向与之间作的禾本科转移氮素^[3, 4], 禾本科则通过竞争吸收土壤有效氮, 使其维持在一个相对低的水平, 促进豆科作物固定空气中的氮^[5], 进而提高单位土地面积的生产力, 降低氮肥的投入量^[6]。有报道表明, 在间作系统中, 由于豆科

作物的存在, 增加了非豆科的生长和氮含量^[7~10]。随着人们对改善生态环境的重视和有机农业的兴起, 豆科固氮的研究倍受关注^[3~6]。蚕豆年固氮量在 12~330 kg/hm²^[11, 12], 最高固氮量可高达 622 kg/hm²^[13]。由于其适应性广和固氮量高, 我国大多数地区皆有种植^[14, 15], 其种植面积占世界蚕豆面积的 70%。蚕豆在一些地区通常与禾谷类作物间作^[14, 16], 李隆等在蚕豆与玉米间作中观察到氮营养

收稿日期: 2002-11-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(30070450)资助

作者简介: 肖焱波(1969—), 男, 云南罗平县人, 博士, 主要从事利用农田生物多样性提高作物养分高效利用方面的研究。

互相促进的现象^[17],小麦与蚕豆是否也存在这种互惠现象,其机理是什么,回答这些问题将有利于对间作体系中氮营养进行优化。为此,通过¹⁵N 标记和根系分隔的盆栽试验研究小麦蚕豆间作中物种间氮营养的差异,为豆科/禾本科间作提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

盆栽试验为 3×2 设计,即 3 种根系分隔方式和 2 个氮素水平。根系分隔方式采用体积为 2308cm³ (π7²×15) 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夹在中间,并用密封胶涂抹使其不漏水,把盆分隔为 2 室,把种间促进作用和竞争作用分开来研究。3 种分隔方式为:1) 中间用塑料膜隔开,根系之间无相互作用(完全分隔);2) 用 30μm 尼龙网分隔时,虽然根系被隔开,但根系间有养分交换(部分分隔);3) 当根系不分隔时,竞争作用和促进作用同时存在(不分隔)。2 个氮素水平为不施 N 和施 N 100mg/kg (¹⁵NH₄⁺, ¹⁵NO₃⁻, ¹⁵N 丰度 5.26%,上海化工研究院提供)。所有处理均施 P₂O₅ 100mg/kg; K₂O 126mg/kg; Mg 50mg/kg; Fe、Mn、Cu、Zn、Mo 各 5mg/kg。供试小麦品种为 8354 (*Triticum aestivum* L. cv. 8354),蚕豆为临夏大蚕豆 (*Vicia faba* L. cv. Linxia Dacandou)。每盆装过 2 mm 筛、并混好肥料的土 2.5kg,每室各装土 1.25kg。每室浇水 200 mL,未分隔的盆浇水 400 mL。随后在各个室内分别播种预先催芽的种子,同一个盆中一室播种小麦,另一室播种蚕豆。在没有分隔的盆中沿盆的直径画线把盆平均分为两半,一半播种小麦,另一半播种蚕豆。所有试验同时接种根瘤菌 mm363(中国农大根瘤菌课题组提供),随后覆土。4 月 28 日播种,小麦播种 20 粒,蚕豆 5 粒,出苗后小麦留苗 10 株/盆,蚕豆 3 株/盆,6 月 4 日收获。作物生长期间充分供应水分,以满足作物对水分的需求。供试土壤有机质 11.1 g/kg、NO₃⁻-N 5.1mg/kg、NH₄⁺-N 2.0mg/kg、Olsen-P 10.2mg/kg、(NH₄)Ac-K 120mg/kg、pH(H₂O)8。

1.2 分析测定和计算

全氮测定采用传统的凯氏定氮法。称量经过充分磨细的植株样品约 200 mg 于消煮管后加入 1.5 g K₂SO₄, 0.15 g CuSO₄ 和 5 mL H₂SO₄ 摇匀放置过夜后消煮,消煮液全部蒸馏。馏出液用硼酸收集硫酸滴定。滴定液经酸化,浓缩后用 MAT-251 质谱仪(Finnigan, 德国)测定¹⁵N 丰度。把样品中¹⁵N 丰度与¹⁵N 天然丰度(0.3665%)的差值记为¹⁵N 原子百分超。计算分述如下:

植物中来自于¹⁵N 的百分数: % Ndff (植物) = (植物的¹⁵N 原子百分超/肥料的¹⁵N 原子百分超) × 100 (1)

植物吸收¹⁵N 的量(mg): Ndff = 植物吸氮量(mg) × %Ndff / 100 (2)

植物对¹⁵N 的回收率: ¹⁵N 回收率 % = (植物 Ndff / 施氮量) × 100 (3)

蚕豆中来源于空气中的氮百分数: % Ndff = [1 - (蚕豆¹⁵N 原子百分超 / 小麦¹⁵N 原子百分超)] × 100% (4)

小麦相对于蚕豆的竞争能力^[18]: Awf = (Yiw / Ysw) - (Yif / Ysf) (5)

式中 Awf 为小麦相对蚕豆的竞争能力; Yiw 为根系相互作用的小麦生物量; Ysw 为根系完全分隔的小麦生物量; Yif 为根系相互作用的蚕豆生物量; Ysf 为根系完全分隔的蚕豆生物量。

小麦相对于蚕豆的氮素营养竞争比率^[19]: CRwf = (Niw / Nsw) - (Nif / Nsf) (6)

式中 CRwf 为小麦相对于蚕豆的营养竞争比率; Niw, Nsw 分别代表小麦在根系相互作用时和完全分隔时的吸氮量; Nif, Nsf 分别代表蚕豆在根系相互作用和完全分隔时的吸氮量。

2 结果分析

2.1 不同根分隔方式和施氮对间作蚕豆和小麦生长的影响

根系分隔方式和施氮对蚕豆没有显著影响(图 1A)但显著影响了小麦的生长(图 1B)。无论是施 N 还是未施 N 的情况下,蚕豆小麦根系相互交织在一起时(不分隔),小麦的生物量显著高于其它 2 种分隔方式。未施 N 时,小麦生物量比完全分隔的处理增加了 66%; 施 N 时,则增加了 45%。在同一种分隔方式下,施 N 改善了小麦的生长,在根系完全分隔,尼龙网分隔和不分隔 3 种方式下,施 N 的小麦生物量比不施 N 处理分别增加 46%, 62% 和 27%。尼龙网分隔的增加幅度最大,表明小麦吸收了蚕豆土体中的可移动养分。作物养分竞争力通常用于度量间作中的作物竞争能力^[18],根据公式(5)的计算结果看出,小麦相对于蚕豆的竞争能力不施 N 时为 0.74,施 N 时 0.48。由于 Awf 大于 0,根据 Willey 的定义^[18],小麦的竞争能力强于蚕豆。施 N 降低了小麦相对于蚕豆的竞争能力,缓解了间作小麦和蚕豆间的竞争。

2.2 不同根分隔方式和施氮对间作蚕豆和小麦吸氮量的影响

表 1 表明,未施 N 时,不分隔处理的蚕豆含 N 量比完全分隔的蚕豆含氮量降低了 9 g/kg; 小麦含 N 量则增加了 4 g/kg; 施 N 同时增加了蚕豆和小麦的含 N 量。完全分隔,尼龙网分隔和不分隔的蚕豆含 N 量比未施 N 处理分别增加了 6.6、3.7 和 8.2 g/kg; 而小麦的含 N 量则分别增加了 9.1、11.3 和 10g/kg。施氮时,不分隔处理比完全分隔处理蚕豆含 N 量降低了 7.2 g/kg,小麦则增加了 4.8g/kg。

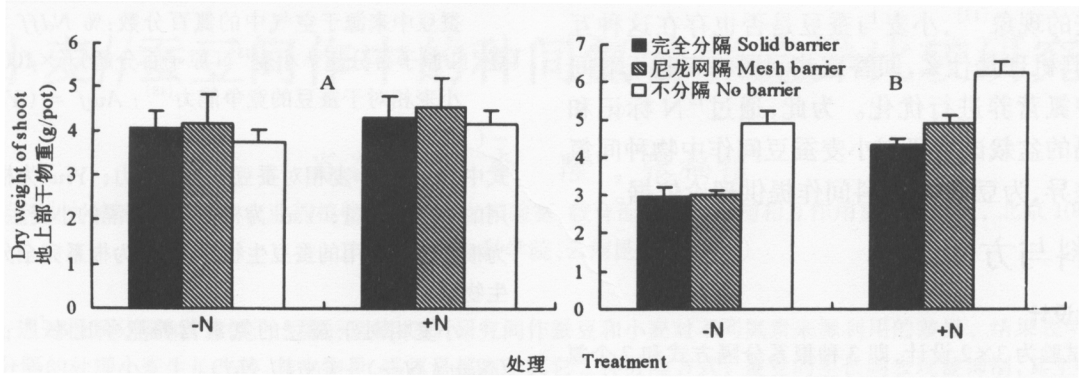


图1 不同根系分隔方式和施氮对间作蚕豆(A)和小麦(B)生长的影响

Fig. 1 Effect of root barrier and N application on the growth of faba bean (A) and wheat (B) intercropping system

(-N 为不施氮; +N 为施¹⁵N 100mg/kg。-N without N, +N application of ¹⁵N 100mg/kg, respectively.)

表1 分隔方式和施氮对蚕豆和小麦地上部植株含氮量的影响

Table 1 N concentration and uptake in the shoots of faba bean and wheat as affected by root barriers and N application

处理 Treatment	植株含氮量 (g/kg) N concentration				LSD _{0.05}	植株吸氮量 (mg/pot) N uptake				LSD _{0.05}
	完全 分隔 Solid barrier	尼龙 网隔 Mesh barrier	不分隔 No barrier	平均 Mean		完全 分隔 Solid barrier	尼龙 网隔 Mesh barrier	不分隔 No barrier	平均 Mean	
蚕豆 Faba bean										
- N	27.0a	24.6a	18.2b	23.2		109a	102a	68b	93	
+ N	33.6a	28.3b	26.4b	29.4		144a	128ba	110b	128	
平均 Mean	30.3a	26.5b	22.3c	-	2.4	89c	115b	127a	-	15
LSD _{0.05}				2.0					12	
小麦 Wheat										
- N	15.1b	14.9b	19.0a	16.3		45b	45b	93a	61	
+ N	24.2b	26.2ba	29.0a	26.4		104c	128b	182a	138	
平均 Mean	19.6b	20.6b	24.0a	-	1.7	137a	87b	74c	-	11
LSD _{0.05}				1.4					9	

表1还看出,生物量和含N量影响到2种作物的吸N量。不施N条件下,根系不分隔的小麦吸N量比其它2种分隔方式增加了1.06倍;施N时,小麦在尼龙网分隔和不分隔处理的吸N量比完全分隔时的吸N量分别增加了23%和75%,完全分隔的比尼龙网分隔吸N量增加了42%。

营养竞争比率^[19]也用于评价间作中的某种作物吸收养分能力的强弱。根据公式(6)计算得到小麦相对于蚕豆对N的竞争比率在不施N时为3.31,施N时为2.29。当竞争比率大于1时,表明小麦的竞争力强。因此,在缺N的情况下(本试验土壤N_{min}仅为7mg/kg)小麦对N也有较强的竞争能力。

2.3 不同根分隔方式和施氮对间作蚕豆和小麦氮来源的影响

对2种作物地上部¹⁵N%丰度测定表明,小麦植株体内¹⁵N%丰度高于蚕豆(表2)。分隔显著地影响到蚕豆和小麦的¹⁵N%丰度。不分隔的处理蚕豆¹⁵N%丰度最低,由于小麦根系的竞争降低了蚕豆对肥料N的吸收。蚕豆吸收的肥料N每盆仅4mg,但该处理中蚕豆来源于空气N的比例却高达91%,比另外2种分隔分别高34%和38%。因此,与小麦间作促进了蚕豆对空气N的固定。

对于小麦来说,¹⁵N%丰度则是在尼龙网分隔时最高。3种分隔中,小麦对肥料N的吸收依次为48、68和84mg;蚕豆则依次为21、20和4.4mg。尼龙网虽然阻止了小麦和蚕豆的根系相互接触,但养分可以通过质流和扩散的方式从蚕豆根区到达小麦根区。由于小麦较强的竞争能力使得在这种方式下来源于肥料的N高于完全分隔的处理。

表 2 不同分隔方式对间作小麦和蚕豆的氮来源的影响
Table 2 N sources of intercropped faba bean and wheat affected by root barrier

作物 Crops	项目 Items	完全分隔 Solid barrier	尼龙网隔 Mesh barrier	不分隔 No barrier	LSD _{0.05}
蚕豆 Faba bean	¹⁵ N% 丰度 ¹⁵ N abundance	1.177	1.128	0.613	0.174
	来自肥料% Ndff From fertilizer	16	15	4	4
	来自大气% Ndfa From air	66	68	91	8
小麦 Wheat	¹⁵ N% 丰度 ¹⁵ N abundance	2.678	2.846	2.638	0.158
	来自肥料% Ndff From fertilizer	47	50	46	3
	回收率 ¹⁵ N% Recovery rate	39	53	33	4

3 讨论

本试验中根系相互作用导致了小麦的生物量、吸氮量和肥料氮的吸收,尽管对蚕豆生物量没有影响,但却影响了它的吸氮量和肥料氮的吸收,小麦在此间作体系中表现出较强的竞争能力。这与李隆等^[16]对玉米、蚕豆间作中所观察到的互惠现象不同。虽然本试验观察到了小麦竞争肥料氮而促进了蚕豆固定空气氮的增加,但根系相互作用却使蚕豆含氮量和吸氮量降低。Jensen^[5]认为,禾谷类作物在营养生长期大量吸收氮和旺盛的生长导致对豆科的遮阴。本试验的结果表明,根系相互作用改善了小麦生长,使小麦通过竞争获得了更多养分,并影响了蚕豆的生长。由于本试验两作物共生期短(40d),蚕豆吸氮量的降低没有通过生长期的延长得到充分恢复,这意味着在两种作物种植的比例和测定的时间都将成为影响评价的重要因素。此外,该体系是否存在氮的转移及其转移的数量等尚待进一步的研究。

随着化肥氮施用的增加,土壤硝酸盐残留有随之增加的趋势^[20, 21],土壤中过高的硝酸盐含量对豆科固氮的抑制较大^[22]。在高度集约化的耕地轮作中,由于土壤无机氮的累积显著限制了豆科结瘤和固氮,对种植于速效氮含量高的土壤上的大豆试验表明,大豆吸氮量只有一小部分来源于对 N₂ 的固定^[23]。这种试验结果促使了对豆科作物在高氮土壤上提高固氮量的研究^[24],间作种植是其中的措施之一。与禾本科间作时,由于禾本科大量吸收硝酸盐使土壤矿质氮维持在低的比较适宜的水平,通过降低土壤矿质氮来减小对豆科固氮的抑制,禾本科与豆科间作促进了豆科固氮。Rerkasem 等^[25]对饭豆与玉米间作的研究表明,玉米与饭豆的间作增加了系统中固定空气氮的比例,在饭豆与玉米的

密度比为 75:25 时,一季作物固氮量可达到 81kg/hm²,而单作时仅固定 49 kg/hm²。Danso 等^[26]在对蚕豆、大麦间作系统的研究中发现,由于大麦竞争作用,蚕豆的固氮量增加了;在豌豆、大麦间作中也有同样的结果报道^[27]。表明选择合适的豆科和禾本科组合,采取确实可行的农艺措施可以达到氮的互补利用。我们的研究结果与前人的豆科、禾本科间作中所得到的结果相似。在小麦、蚕豆间作中,小麦对肥料氮竞争力比蚕豆强,小麦对有效氮的竞争吸收促进了与之间作的蚕豆固氮比例增加,因此该体系存在着氮营养的互补效应。寻求增加豆科生物固氮,减少化肥氮的投入的研究,可望成为可持续农业发展的一个新方向^[28]。

参考文献:

- [1] Willey R W. Intercropping - its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages [J]. Field Crops Abstr., 1979, 32: 2-10.
- [2] Vandermeer J. The ecology of intercropping [M]. New York, USA: Cambridge University Press, 1989. 3-10.
- [3] Stern W R. Nitrogen fixation and transfer in intercrop systems [J]. Field Crops Research, 1993, 34: 335-356.
- [4] 朱树秀,季良,阿米娜. 玉米单作及与大豆混作中氮来源的研究 [J]. 西北农业学报, 1994, 3(1): 59-61.
- [5] Jensen E S. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops [J]. Plant Soil, 1996, 182: 25-38.
- [6] Exner D N, Davison D G, Ghaffarzadeh M and Cruse R M. Yields and returns from strip intercropping on six Iowa farms [J]. Am. J. Alternative Agric., 1999, 14: 69-77.
- [7] Agboola A A and Fayemi A A A. Fixation and excretion of nitrogen by tropical legumes [J]. Agron. J., 1972, 64: 409-412.
- [8] Eaglesham A R J, Ayanaba A, Ranga Rao V and Eskew D L. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea [J]. Soil Biol. & Biochem., 1981, 13: 169-171.
- [9] Reddy M S and Willey R W. Growth and resource use studies in an

- intercrop of pear millet/groundnut [J]. *Field Crops Res.*, 1981, 4: 13-24.
- [10] Remison S U. Neighbours effects between maize and cowpea at various levels of N and P [J]. *Exp. Agri.*, 1978, 14: 205-212.
- [11] Duc G, Marriotti A and Amarger N. Measurements of genetic variability for symbiotic dinitrogen fixation in field-grown fababean (*Vicia faba* L.) using low-level ^{15}N -tracer technique [J]. *Plant Soil*, 1988, 106: 269-276.
- [12] Schwenke G, Peoples G, Turner G and Herridge D. Does nitrogen fixation of commercial dryland chickpea and fababean crops in north-west New South Wales maintain or enhance soil nitrogen [J]. *Aust. J. Exp. Agric.*, 1998, 38: 61-70.
- [13] Igwilo N. Nodulation and nitrogen accumulation in field beans (*Vicia faba* L.) [J]. *J. Agri. Sci.*, 1982, 98: 269-288.
- [14] 郑如昌, 向宁, 杨淑艳. 大麦蚕豆间作试验示范初报[J]. *大麦科学*, 1995, 4: 17-18.
- [15] 王清湖, 敬岩, 张惠, 等. 提高蚕豆共生固氮效应的研究[J]. *土壤*, 1997, 6: 307-310.
- [16] Li L, Yang S C, Li X L *et al.* Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean [J]. *Plant Soil*, 1999, 212: 105-114.
- [17] Bond D A, Lawes D A, Hawtin G C *et al.* Faba bean (*Vicia faba* L.) [A]. In: Summerfield R J and Roberts E H (eds.). *Grain legume Crops* [M]. London: Collins, 1985. 199-265.
- [18] Willey R W. Intercropping - its importance and research needs. Part 2. Agronomy and research approaches [J]. *Field Crops Abstr.*, 1979 b, 32 (2): 73-85.
- [19] Morris R A and Garrity D P. Resource capture and utilization in intercropping: non-nitrogen nutrients [J]. *Field Crops Res.*, 1993, 34: 319-334.
- [20] 吕殿青, 同延安, 孙本化, Ove Emteryd. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(1): 8-15.
- [21] 段宗颜, 肖焱波. 玉米高产栽培的氮肥优化调控技术研究[J]. *中国农业科技导报*, 2002, 4(4): 40-43.
- [22] Streeter J. Inhibition of legume nodule formation and N_2 fixation by nitrate [J]. *CRC Critical Rev. Plant Sci.*, 1988, 7: 1-23.
- [23] Wani S P and Lee K K. Role of biofertilizers in upland crop production [A]. In: Tandon H L S (ed.). *Fertilizers Organic Manures Recycle Wastes and Biofertilisers*. Fertiliser Development and Consultation Organization. 204-204A [C] Bhanot Corner, New Delhi. 1992. 91-112.
- [24] Herridge D F and Danso S K A. Enhancing legume ^{2}N fixation through selection and breeding [J]. *Plant Soil*, 1995, 174: 51-82.
- [25] Rerkasem B, Rerkasem K, Peoples M B *et al.* Measurement of N_2 fixation in maize (*Zea mays* L.) - rice bean (*Vigna umbellata* [Thumb.] Ohwi and Ohashi) [J]. *Plant Soil*, 1988, 108: 151-162.
- [26] Danso S K A, Zapata F, Hardarson G and Fried M. Nitrogen fixation in faba beans as affected by plant population density in sole or intercropped systems with barley [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19: 411-415.
- [27] Jensen E S. Grain yield, symbiotic N_2 fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops [J]. *Plant Soil*, 1996, 182: 25-38.
- [28] Peoples M B, Herridge D F and Ladha J K. Enhancing legumes N_2 fixation through plant and soil management [J]. *Plant Soil*, 1995, 74: 83-101.