种间竞争对旱作水稻与花生间作系统根系分布和氮素吸收积累的影响*

王树起[1] 沈其荣[1†] 褚贵新[2] 茆泽圣[1]
(1 南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)
(2 新疆石河子大学农学院, 新疆石河子 832000)

EFFECT OF INTERSPECIES COMPETITION ON ROOT DISTRIBUTION AND NITROGEN UPTAKE OF PEANUT AND RICE IN INTERCROPPING IN AEROBIC SOIL

Wang Shuqi[1] Shen Qirong[1†] Chu Guixin[2] Mao Zesheng[1]
(1 *College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultrual University, Nanjing 210095, China*)
(2 *College of Agricultrual Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China*)

关键词 旱作水稻; 花生; 间作; 种间竞争; 根系分布; 氮素吸收
中图分类号 S344.2 文献标识码 A

已有的研究表明, 植物之间除了地上部之间的相互作用不可忽视外, 地下部分的根系对养分和水分的竞争更为激烈[1~3]。在判断竞争平衡、竞争强度和资源利用方面, 地下部分的竞争作用明显重要于地上部分[4], 从根系生态学的角度来研究, 才能了解种间关系的本质。因此根系之间的相互作用, 成为种间关系研究的主要内容。Snaydon 和 Harris[5] 认为, 间作作物根的生长动态在不同的单作作物间有差异, 导致了根相互作用和竞争的程度不同, 从而对营养物质和水分的利用产生影响。因此, 改进根的空间分布和活性对提高间作系统中土壤营养资源的利用效率是非常有利的。间作不仅可使单位面积产量明显提高, 而且使光、热、水、气、养分等各种资源的利用效率和有效性增加。这方面的研究以往过多集中于光、热资源的分配、利用竞争和补偿方面, 有关间作对作物地下部分影响的研究则较少, 特别是由于研究手段和方法的限制, 两种作物不同形态特征的根系间的相互作用及在空间分布上的差异报道更少。为此, 本文通过根系分隔试验研究旱作水稻与花生间作条件下两作物根系的变化及对氮吸收积累的影响, 为探讨旱作水稻与花生间作种植的增产机制提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤与作物

试验在南京农业大学资源与环境学院温室中进行, 供试水稻品种为特优 559, 花生品种为鲁花 9 号。土壤采自江苏省南通市搬经镇的高沙土, 为 0~20 cm 的表层土。耕层土壤有机质含量为 6.9 g kg^{-1}, 全氮 0.56 g kg^{-1}, 碱解氮 47.25 mg kg^{-1}, 全磷 0.64 g kg^{-1}, 有效磷(Olsen-P) 6.56 mg kg^{-1}, 全钾 9.7 g kg^{-1}, 有效钾 39.69 mg kg^{-1}, pH 值($W_{土}$: $W_{水}$ = 1: 2.5) 8.2。

1.2 试验设计与方法

试验采用中间可分离的大盆钵, 盆钵规格为直径 60 cm, 高 80 cm。设 5 个处理: 水稻单作、间作塑料膜隔(1 cm, 养分, 水分和根系均不能通过)、间作尼龙网隔(30 μm, 养分与水分可通过, 根系不能通过)、间作不分隔(养分、水分和根系完全相互作用)、

* 国家自然科学基金项目(30200036, 30070446)资助
† 通讯作者, E-mail: Shenqirong@njau.edu.cn; Tel: 025-84395212
作者简介: 王树起(1968~), 男, 山东莱阳人, 博士研究生, 副教授, 主要从事土壤与植物营养研究。E-mail: wsq-200131@sohu.com
收稿日期: 2005-03-22; 收到修改稿日期: 2005-06-23

花生单作, 4 次重复。各处理施肥量相同, 施肥方法为: 将养分于播前溶于水一次施入, 以浓度计, 分别施 N 100 mg kg^{-1} ($CO(NH_2)_2$), P 100 mg kg^{-1} (CaH_2PO_4), K 80 mg kg^{-1} (KCl), Fe 10 mg kg^{-1} ($FeSO_4$), Zn 10 mg kg^{-1} ($ZnSO_4$), Mo 10 mg kg^{-1} ($MoSO_4$)。将风干土过 2.5 mm 筛, 每盆装土 70 kg。每盆单作水稻 8 株, 花生 8 株, 间作水稻和花生各 4 株, 种植比例 1∶1。水稻于 6 月 4 日播种, 6 月 10 日出苗; 花生于 6 月 20 日播种, 并接种根瘤菌 (ATCC 14134, 由中国农业科学院菌种保藏中心提供), 6 月 26 日出苗。于成熟期采样, 测定土壤有效氮(NH_4^+ 和 NO_3^-), 植株地上部生物产量、产量, 植株全氮含量, 土壤不同层次根系长度与干重。

1.3　样品采集与分析

1.3.1　样品采集　　于成熟期(10 月 15 日) 采集土壤及植株样品。植株样品于 105 ℃下杀青 30 min, 并于 75 ℃下烘干至恒重, 分别称其干物质重, 粉粹测定全氮含量。根系的采集方法: 将盆钵土壤自上而下切成 0~ 20 cm、20~ 40 cm 两段, 仔细挑出根系冲洗干净待用。

1.3.2　分析测定方法　　植株全氮用浓 H_2SO_4-H_2O_2消煮, 流动注射分析仪测定; 土壤铵态氮和硝态氮用 1 mol L^{-1} KCl 提取, 流动注射分析仪测定; 根系长度采用交叉法测定, 根长计算公式: $L = (11/14) \times N \times 2$, N 表示根系交叉点数; 干物质重采用烘干法测定。

2　结果与分析

2.1　间作对作物根系干物质量的影响

根系是作物生长最重要的营养器官, 根系之间的相互作用首先是影响根系的生长[1]。在本试验中间作明显促进水稻和花生整个地下部根系的生长(见图 1), 其根干重分别比单作增加 127.8% 和 13.8%。经方差分析结果表明, 间作水稻和花生的根系生物量均具有显著差异。不同分隔方式对水稻和花生根系生物量也具有明显影响, 又以间作不分隔对根系生长的影响最为明显, 显著地促进了水稻和花生根系的生长, 尼龙网隔居中, 塑料膜隔与单作相当。与塑料膜隔相比, 间作不分隔和尼龙网隔分别使水稻根系的生物量增加 65.9% 和 33.1%, 花生根系生物量分别增加 43.8% 和 15.3%。表明养分与根系的交互作用对根系的生长具有明显的促进作用。

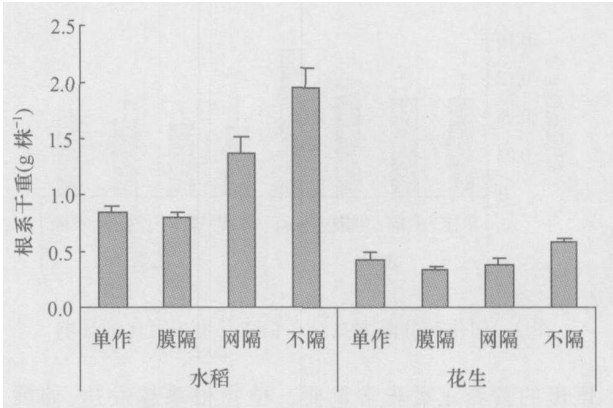

图 1　间作对水稻和花生根系生物量的影响

2.2　间作对不同层次土壤根系干物质量的影响

不仅根系总量在单作与间作中表现不同, 而且在土壤的空间分布上也表现出明显差异。如图 2 所示, 水稻和花生在 0~ 20 cm 土壤的根量远远大于其相应的下层土壤中的根量, 随着土壤层次增加, 各部分相应根量依次减少, 但总的趋势是间作各层的根干重高于相应的单作。不同层次的根量增加幅度不同, 0~ 20 cm 层次的根量变化不大, 20~ 40 cm 层次的根量变化较大, 水稻尤为显著。

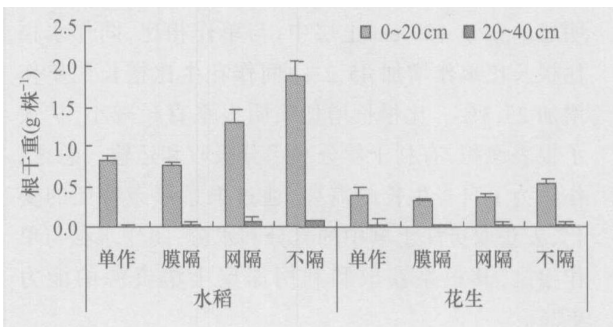

图 2　间作和分隔方式对不同土层根系干重的影响

2.3　间作对根冠比的影响

研究表明, 地下部分与地上部分生物量的大小, 反映植物对土壤养分、水分的需求和竞争能力。对于作物, 地下部分与地上部分生物量之比越大, 说明对养分、水分的需求和竞争能力越强。从图 3 可看出, 水稻和花生地下部分与地上部分生物量之比, 间作水稻、花生均高于相应的单作, 不同分隔方式中, 间作不隔> 间作网隔> 塑料膜隔, 表明间作根系间的交互作用可以提高作物对养分和水分的吸收能力。

2.4　间作对作物根系长度的影响

2.4.1　间作对两种作物根长的影响　　植物根系的形态学特征对植物吸收土壤中有效性差、扩散速

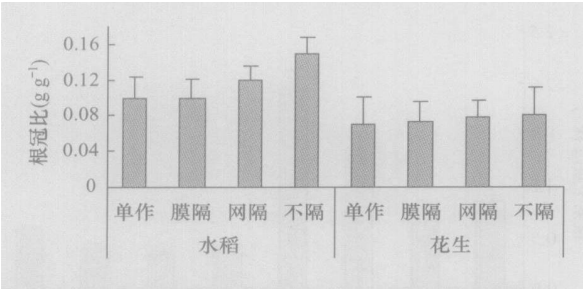

图 3 间作和分隔方式对水稻和花生根冠比的影响

度慢的营养元素非常重要。植物根系越发达、伸展越充分,与土壤的接触范围就越大。比根长是描述根系形态学特征的一个主要参数。本试验中观察到水稻根系十分发达,具有大量纤细的侧根分枝和根毛,而花生的根系分枝很少,根毛也较少。但花生与水稻间作后,花生根系分布形态改变,单作水稻根系垂直向下生长,而间作水稻根系形状随水稻的形状而定。从图 4 可看出,水稻、花生间作和各自的单作相比,其根系形态特征在 0~ 40 cm 不同土层中均发生了变化,但各土层变化的程度不同。水稻、花生间作与各自的单作比,其根系形态特征在土壤表层(0~ 20 cm)有显著变化,而在 20 cm 以下则变化不明显。在 0~ 20 cm 土层中,与单作相比,间作水稻比根长比单作增加 45.2%;间作花生比根长比单作增加 25.3%。比根长增加表明根系直径减小,扩大了根表面积,有利于养分和水分吸收和运输。总之,作物为了自身生长的需要,通过根系形态特征的变化,去获取更深土壤中的养分和水分,间作水稻与单作相比,其根系获取和利用深层土壤资源的能力更高。

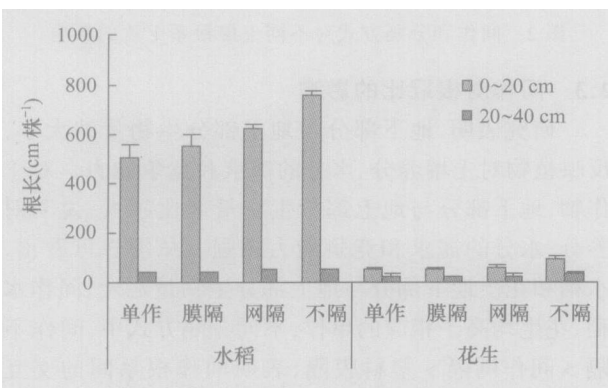

图 4 间作和分隔方式对不同土层根长的影响

2.4.2 不同分隔方式对两种作物根长的影响 从图 4 可看出,不同间作分隔方式对水稻和花生根长也有明显影响,在几种分隔方式中,以间作不隔对水稻和花生的根长影响最大,尼龙网隔次之,塑料膜隔与单作相当。在 0~ 20 cm 和 20~ 40 cm 土层中水稻间作不隔和尼龙网隔,其根长分别比塑料膜提高 36.7%、12.5% 和 15.0%、8.4%,花生根长分别提高 78.6%、20.7% 和 48.0%、16.0%。表明根系与养分间的交互作用明显促进了根系的生长。

2.5 间作对氮素吸收积累的影响

作物的氮素吸收是产量形成的矿质营养基础,提高作物的含氮量是提高作物产量的重要措施。从表 1 可以看出,水稻与花生间作明显提高了水稻体内的氮素含量,水稻单作和间作叶片的含氮量分别为 21.2 g kg^{-1}和24.9 g kg^{-1},水稻间作比单作提高了 15.7%,不同分隔方式中,间作不隔> 尼龙网隔> 塑料膜隔。但花生间作后,叶片的含氮量下降,间作花生比单作减少了 17.9%,间作不隔< 尼龙网隔< 塑料膜隔。表明间作促进了水稻体内氮的吸收积累,根系间的相互作用使水稻体内氮的吸收积累增加。

表 1 间作及不同分隔方式对作物含氮量的影响

种植方式	水稻含氮量(g kg^{-1})	花生含氮量(g kg^{-1})
单作	22.3±3.4b	33.4±6.5a
塑料膜隔	22.7±3.2b	33.5±6.2a
尼龙网隔	24.3±3.2b	29.8±4.7b
间作不隔	25.8±3.4a	27.4±4.4b

注:平均数±标准差,不同字母表示在 $p = 0.05$ 的置信度有显著的差异

3 讨 论

3.1 种间竞争与间作系统中的根系分布

本研究中,水稻和花生间作后,两种作物的根长、干物质量、根冠比等,间作均高于各自的单作,表现出明显的竞争促进作用,表明水稻和花生间作系统中两种作物的种间竞争促进了根系的生长。Snaydon 和 Harris[5] 认为,间作作物根的生长动态在不同的单作作物间有差异,导致了根相互作用和竞争的程度不同,从而对营养物质和水分的利用产生影响。因此,改进根的空间分布和活性对提高间作系统中土壤营养资源的利用效率是非常有利的。

Hauggaard-Nielsen 等[6] 报道了采用^{32}P 技术对豌豆和大麦间作系统中根的时间和空间分布及对氮的竞争研究,表明大麦根系生长快于豌豆,从磷的吸收来判断,间作使大麦根生长得更深,而且两种作物的侧根发育比单作更快。根系在时间和空间上的分布

能部分地解释种间竞争。

漆智平[7]研究了木薯与野花生间作期根系的空间变化, 结果表明, 木薯单作和间作处理的根系有 86.6% 和 91.1% 分布在 0~ 40 cm 土层空间, 间作在此空间的生物量较单作增加了 55.4%。宋日等[8]采用根箱方法模拟研究了玉米、大豆间作条件下两种作物根系形态特征与空间变异, 结果表明: 间作有利于玉米、大豆根系的生长, 与单作相比, 间作在不同土层中作物根干重相应增加, 根冠比增大, 比根长明显增加。因此, 在间作系统中, 间作的根系系统优越于各自的单作, 可通过两种作物根系的互补作用, 利用作物自身的潜力, 提高空间有效性。

3.2　种间竞争与作物氮素吸收积累和豆科作物固氮

本研究中, 水稻与花生间作明显提高了水稻体内的氮素含量, 水稻间作较单作提高了 17.5%, 不同分隔方式中, 间作不隔> 尼龙网隔> 塑料膜隔。但花生间作后, 叶片的含氮量下降, 间作花生较单作减少了 18.3%, 间作不隔< 尼龙网隔< 塑料膜隔。表明间作促进了水稻体内氮的吸收积累, 根系间的相互作用使水稻体内氮的吸收积累增加。

禾本科作物对土壤和肥料氮的竞争能刺激豆科作物固氮。沈其荣等[9]研究表明, 水稻/花生为 3∶3 和 4∶2 两种间作方式下, 间作水稻含氮量比单作水稻分别提高 17.5% 和 7.5%。褚贵新等[10]研究表明, 在 N15 和 N75 kg hm^{-2} 两个氮素水平下, 间作水稻的氮素吸收量比单作水稻分别增加 14.8% 和 8.8%。可见, 虽然禾本科作物对土壤和肥料氮的竞争, 刺激了豆科作物固氮, 提高了间作豆科作物对大气氮的依赖程度, 但是豆科作物的固氮总量并不一定提高, 甚至反而下降, 这说明影响豆科作物固氮的因素十分复杂。生长在一起的植物个体, 其根系生长发育, 相互交错穿插, 吸收土壤介质中的营养物质和元素, 相互邻近植物根系吸收其周围土壤中养分, 造成该共有区域土壤养分耗竭、供应不足, 引起养分吸收竞争。不同种群之间的生态和生理特征有所差别, 根系形态亦有直根系和须根系之分, 这就决定了种群之间的养分竞争表现形式和种内竞争不同, 具有"不一致性(Heterogeneity)"。这种"不一致性"的具体表现不仅有养分竞争吸收能力的不同及营养成分需求上的差别, 还表现在时间和空间的不一致性。

4　结　论

水稻、花生间作与各自的单作相比促进了二者在各层土壤中地下根干物质量的增加, 同时间作的水稻、花生根冠比都明显高于单作, 说明间作有利于作物根系生长发育。

在 0~ 40 cm 土层中, 水稻、花生间作的根系形态特征与单作相比均发生了不同程度变化, 间作水稻、花生的比根长增加, 有利于作物吸收更多的养分和水分。

水稻与花生间作明显提高了水稻体内的氮素含量, 水稻间作较单作提高了 15.7%。但花生间作后, 叶片的含氮量下降, 间作花生较单作减少了 17.9%。

参 考 文 献

[1] Caldwell M M. Competition between root systems in natural communities. *In*: Caldwell M M. Root Development. Cambridge: Cambridge University Press, 1967. 167~ 185

[2] Tilman D. Resource Competition and Cmmunity Structure. Princeton: Princeton University Press, 1982. 23~ 258

[3] Jastrow J D, Miller R M. Neighbor influences on root morphology and mycorrhizal fungus colonization in tall grass prairie plants. Ecology, 1993, 72(2): 561~ 569

[4] Wilson J B. Shoot competition and root competition. Journal of Applied Ecology, 1998, 25(2): 279~ 296

[5] Snaydon R W. Harris P M. Interactions belowground-the use of nutrients and water. *In*: Willey R W. ed. Proceedings of the International Workshop on Intercropping, 1979, 10~ 13 January Hyderabad. International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics, Patancheru, India, 1981. 188~ 201

[6] Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen E S. Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops-a field study employing ^{32}P technique. Plant and Soil, 2001, 236: 63~ 74

[7] 漆智平. 木薯- 野花生间作对根系分布变化及土壤质量的影响. 华南农业大学学报, 2000(1): 26~ 29

[8] 宋日, 牟瑛, 王玉兰, 等. 玉米、大豆间作对两种作物根系形态特征的影响. 东北师大学报(自然科学版), 2002, 34(3): 83~ 86

[9] 沈其荣, 褚贵新, 曹金留, 等. 从氮素营养的角度分析旱作水稻与花生间作的产量优势. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1 177~ 1 182

[10] 褚贵新, 沈其荣, 王树起. 不同供氮水平对水稻/花生间作系统中氮素行为的影响. 土壤学报, 2004, 41(5): 789~ 793