

不同禾豆间作复合群体根系的时空分布特征

陈桂平, 柴 强*, 牛俊义

(甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070)

摘 要: 通过土柱栽培试验,研究了小麦间作菜豆、小麦间作蚕豆及不同单作物根系的时空分布特征。结果表明,小麦间作菜豆的总根干重在小麦苗期、开花期、灌浆期、成熟期与对照相比增减了 50.80%、2.42%、31.94%、-4.83%,小麦间作蚕豆根干重的增减幅度分别为-6.82%、7.26%、14.66%和-7.25%。小麦间作菜豆和小麦间作蚕豆全生育期根干重按生育进程呈明显分移特性。两作生长前期,间作物根系空间分布范围大于单作;生长后期,间作物根系分布在 0~50 cm 的土层中,单作主要分布在 0~70 cm 的范围内。小麦间作蚕豆的总根重在全生育期呈小-大-小-大的双峰变动趋势;小麦间作菜豆根重变化趋势与单作相同,呈以生长盛期为峰值的单峰型。间作物成熟期深层根系含水量高于单作。

关键词: 禾豆间作; 根系; 时空分布; 根系含水量

中图分类号: S344.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2007)05-0113-05

Research on Root Temporal and Spacial Distribution of Intercropped Cereal and Legume Crops

CHEN Gui-ping, CHAI Qiang* and NIU Jun-yi

(Agronomy College of Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: A soil column culture experiment was carried out in this study to investigate the root distribution characteristics of intercropped crops. The result showed that, in the wheat seedling stage, bloom stage, filling stage and mature stage, the dry root weight of wheat kidney-bean intercropping (IWK) is improved by 50.82%, 2.42%, 31.94% and -4.83% compare to the mono cropping respectively, and that of the wheat broad-bean intercropping (IWB) is improved by -6.82%, 7.26%, 14.66% and -7.25% correspondly. In the whole growth stage, the root weight of IWK and IWB mainly distributed in deeper soil layer in the earlier growth stage, but reversed in the latter growth stage. In the seedling period and bloom period, the root distribution range of IWK and IWB are broader than monoculture. In the filling stage and mature stage, the root of monoculture mainly distribute in 0~50cm soil layer, but the root of intercropping mainly distribute in 0~70cm soil layer. In the whole growth stage, the dry root weight of the IWB dynamic shown as a dual-peaked, but that of the other cropping patterns shown as a mono-peaked one. The root moisture content of the intercropping is higher than that of the mono cropping in deeper soil layer.

Key words: Cereal legume intercropping; Root systems; Temporal and spacial distribution; Moisture content of root

由两种或两种以上作物组成的复合群体中, 由于不同作物根系发育在时间和空间上的差异,

收稿日期: 2007-02-06 修回日期: 2007-04-10

基金项目: 甘肃省中青基金“3YS061-A25-021”; 甘肃农业大学创新基金(GAU-CX0502); 国家自然科学基金(30170547)资助。

作者简介: 陈桂平(1973-), 在读硕士, 主要从事多熟种植领域的研究工作。

* 通讯作者: 柴 强(1972-), 男, 甘肃武威人, 副教授, 主要从事多熟种植、植物化感作用和节水农业研究。E-mail: Chaiq@gsau.edu.cn

形成了高效利用资源的时间和空间效应。复合群体各配对作物根系的垂直分布表现为层次递减性^[1],根系垂直生长呈多波顺次递推特点,这种特性使根系生长中心和吸收中心交替出现,提高了水分和养分的利用效率^[2]。与根系的空間分布差异相似,间套配对作物根系的生长发育存在明显的时间效应。间作玉米在乳熟期根深达到最大值 160 cm,根量与根重随生育进程呈小-大-小变化规律,且 75% 的根干重分布在 0~20 cm 范围内,根系数量和重量密度在垂直土体中呈“T”型分布^[3]。小麦间作蚕豆中,两作物根密度峰值交错出现,小麦根密度峰值出现较早,在一定程度上减轻了两种作物共处期的竞争^[4]。间作同时可影响根系的形态学特征,如小麦间作蚕豆中间作小麦的根重、根长和表面积较单作显著提高^[4];玉米与花生间作时,根半径减小,根长增加,侧根数目和长度增加,从而提高了竞争条件下对土壤中移动比较差的营养元素的吸收^[5]。

间套作物根系在土壤空间分布上的差异,根系功能活跃期在时间上的错位,以及根系形态特征的变化,形成了间套作资源高效利用的互补基础,是生产实践中组合间套复合群体的重要依据,这些研究成果基于不同作物根系形态学、发育学特征的差异,但忽视了两种作物之间通过化学物质产生的互作作用,事实上间套作物通过根系分泌物产生的促进或克生作用普遍存在^[6],是组合间套模式的重要理论依据。本研究拟通过量化分析不同种植模式根系时空分布的差异,探讨根系分布与生化互作之间潜在的联系,以期高效复合群体的组建提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用根管法,根管为 PVC 硬质塑料管,内径 30 cm,高 120 cm,管壁厚 0.6 cm。试验用土取自甘肃农业大学农学院研究基地,装管前过孔径为 0.2 mm 筛,并按照纯 N 200 mg/kg 土,纯 P₂O₅ 200 mg/kg 土施肥。作物生长期间充足供水,为确保上层和下层充足水分,装土时在中间埋插直径为 2 cm 的塑料管,供灌水用。

试验设单作小麦(MW)、单作蚕豆(MB)、单作菜豆(MK)、小麦//蚕豆(IWB)、小麦//菜豆(IWK)5 个处理,每处理重复 3 次。播种密度单作小麦为 8 穴/管,定苗 40 株/管;单作蚕豆

8 穴/管,定苗 8 株/管;单作菜豆种 4 穴/管,定苗 4 株/管;间作时密度均减半。

供试小麦品种为甘春 20 号,由甘肃省农科院提供;蚕豆品种为临蚕 5 号,由临夏州农科所提供;菜豆为地方品种。

1.2 测定指标和方法

根干重,分别按 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~50 cm、50~70 cm 五个土层,在 6 月 5 日(小麦苗期)、6 月 27 日(小麦开花期)、7 月 8 日(小麦灌浆期)、7 月 27 日(小麦成熟期)分别取样,用密度为 100 目的尼龙网清洗根系,除去杂质,用滤纸除去根表面水分后称鲜重,之后在 100℃ 下烘干至恒重,测定根干重。根系含水率,为根干重与根鲜重比值。测定结果用 SPSS 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同模式根系干重的空间分布特征

2.1.1 不同生育期间作与单作的根干重差异

以两种单作作物在相同土层中根干重和的一半作对照,比较间作与单作根系空间分布的差异,结果如表 1。试验表明,小麦//菜豆在小麦苗期、小麦开花期、小麦灌浆期与对照相比根系总干重分别增加了 50.27%、2.42%、31.94%,在小麦成熟期却降低了 4.83%,即随着生育期的推进,小麦//菜豆相对于单作根重的提高幅度不断降低。小麦//蚕豆在小麦苗期、成熟期与对照相比根系总干重分别降低了 6.68%、7.25%,在小麦开花期、灌浆期分别提高了 7.26%、14.66%,说明在小麦与蚕豆生长最旺盛的时期,间作具有提高根系总重的作用。

2.1.2 不同生育期间作与单作根系分布主要层次内的根重差异

作物生产中,耕层厚度多在 20 cm 左右,当作物根系在 20 cm 以下土层中的分布量增大时,更有利于深层土壤水分和养分的吸收。本研究中(表 1、2),0~20 cm 土层中的根系占总根重比例在不同生育时期差异较大。小麦苗期,小麦间作菜豆较单作小麦和单作菜豆在 0~20 cm 土层的根比重分别降低了 9.23% 和 9.74%,即间作根系发生了下移现象;小麦开花期,间作在 0~20 cm 土层中的根系分别较单作小麦和单作菜豆高 16.93% 和 4.77%,表现为根重密度的上移;小麦灌浆期,间作在 0~20 cm 土层中的根系占整个土层根系的比例为 53.81%,而单作小麦、

菜豆分别为 63.87%、36.61%，间作根重分布处于相应单作之间；收获期，间作 0~20 cm 土层中的根重比例为 72.83%，单作小麦、单作菜豆分别占 62.23%、38.13%。

小麦苗期，小麦//蚕豆在 0~20 cm 土层中的根重占总根重比例较单作小麦、单作蚕豆分别低 10.38%、33.43%，即间作根干重发生了相对下移；小麦开花期，间作在 0~20 cm 土层中的根系比重为 71.96%，而单作小麦、单作蚕豆分别占 42.5%、82.84%，介于单作间；与开花期相似小麦灌浆期间作 0~20 cm 土层中的根重比例处于单作之间，间作根比重较单作小麦高 4.3%、较单作蚕豆低 3.07%；收获期，小麦//蚕豆在 0~20 cm

土层中的根系占整个土层根系的比例为 64.80%，单作小麦、单作蚕豆分别 62.23%、59.90%，间作高于单作比例。

两种间作模式根重空间分布与单作间的差异说明，间作模式不同生育期根系在空间上的分布并非两种单作特征的简单集合。两种模式相比，小麦//菜豆根系的空间分布相对于单作的差异大于小麦//蚕豆与单作间的差异。两种间作模式与相应单作相比，均表现出间作在生育前期有利于促进作物根系向土壤深层扩展的特点，而作物根系向土壤深层的扩展对提高养分和水分利用效率均具有重要作用。

表 1 不同生育期间作作物与对照根系干重的空间分布

Table1 Root space distribution of intercropped wheat kidney-bean and broad-bean in different growth stage												
日期 Date	处理 Treatment	根干重 Root dry weight in different soil layer /g						占总干重比例 Percentage /%				
		0~10 /cm	10~20 /cm	20~30 /cm	30~50 /cm	50~70 /cm	0~70 /cm	0~10 /cm	0~20 /cm	0~30 /cm	0~50 /cm	0~70 /cm
5/6	IWK	2.65 b	2.06 a	0.58 c	2.82 a	0.35	8.46 a	31.32 c	55.67 c	62.53 b	95.86 a	100 a
	CKIWK	2.50 b	1.15 b	1.09 b	0.89 c	/	5.63 c	44.40 b	64.83 b	84.19 a	100 a	100 a
	IWB	2.73 b	1.37 b	1.44 a	1.28 b	0.70	7.52 b	36.30 c	54.52 c	73.67 b	90.69 a	100 a
	CKIWB	4.14 a	1.84 ab	1.20 ab	0.89 c	/	8.07 a	51.30 a	74.10 a	88.97 a	100 a	100 a
27/6	IWK	4.43 b	2.60 b	2.93 a	1.87 a	/	11.83 c	37.45 b	59.43 b	84.19 a	100 a	100 a
	CKIWK	2.65 c	2.64 b	3.15 a	2.11 a	1.00	11.55 c	22.94 c	45.80 c	73.07 b	91.34 b	100 a
	IWB	7.63 a	3.43 a	2.13 b	1.93 a	0.25	15.37 a	49.64 a	71.96 a	85.82 a	98.37 a	100 a
	CKIWB	5.38 b	3.09 ab	2.84 ab	2.02 a	1.00	14.33 b	37.54 b	59.11 b	78.93 ab	93.02 b	100 a
8/7	IWK	4.07 ab	2.22 b	2.47 a	2.41 a	0.52	11.69 b	34.82 b	53.81 b	74.94 b	95.55 a	100 a
	IWK	2.96 b	1.80 b	1.24 b	1.65 b	1.21	8.86 c	33.41 b	53.72 b	67.72 c	86.34 b	100 a
	IWB	6.73 a	3.37 a	2.44 a	1.78 b	0.70	15.02 a	44.81 a	67.24 a	83.49 a	95.34 a	100 a
	CKIWB	5.68 a	3.25 a	1.86 ab	1.26 c	1.06	13.10 ab	43.36 a	68.17 a	82.37 a	91.98 ab	100 a
27/7	IWK	3.83 b	2.20 b	0.92 b	1.33 c	/	8.28 b	46.26 ab	72.83 a	83.94 a	100 a	100 a
	CKIWK	2.57 b	2.26 b	1.24 ab	1.55 c	1.09	8.7 b	29.54 c	55.52 b	69.77 b	87.59 b	100 a
	IWB	7.68 a	1.93 b	1.85 a	1.92 b	1.45	14.83 a	51.79 a	64.80 ab	77.28 ab	90.22 ab	100 a
	CKIWB	6.63 a	3.09 a	2.00 a	2.67 a	1.60	15.99 a	41.46 b	60.79 ab	73.30 ab	89.99 ab	100 a

注：CK 表示对照，数值为单作值的一半；小写字母表示同一取样时期不同处理间的差异在 5% 水平上显著，“/”表示根量极小难测定，下同。

Note: The CK is the control of the intercropping, the value is half of the mono crops sum; the small letter means the difference is significant between treatments at 5% in the same sampling stage, “/” indicate the root is too light to weight, same as below.

2.1.3 不同生育期各作物根系的 空间分布区域

不同作物搭配，由于种间关系复杂化，互补关系促进作物生长，克生关系抑制作物生长。结合表 1 与表 2 分析可知，在小麦苗期，单作小麦、单作菜豆、单作蚕豆在 50~70 cm 的土层中都没有根系分布，而小麦间作菜豆与小麦间作蚕豆都有少量根系分布，说明该时期间作产生了促进作物根系向深层扩展的作用；在小麦开花期，只有小麦间作蚕豆与单作小麦在深层土壤中有根系分布，说明单作菜豆、单作蚕豆在该时期根系主要集中在

浅层土壤，而单作小麦根系可以扩大到深层土层中，小麦//蚕豆此时土壤深层出现根系的现象说明，小麦与蚕豆根系间可能存在互补作用；小麦灌浆期，间作与单作在深层土壤中均有根系分布，表明在作物根量达到最大值的生育阶段，单作与间作在根系分布的区域上并不存在差异；小麦成熟期，小麦//菜豆深层土壤中的根系极少，不同于小麦灌浆时期，也不同于这一时期单作小麦和单作菜豆在深层土壤有明显根系分布的现象，表明两作物深层根系之间存在相互抑制的作用。

表 2 不同生育期单作根系干重的空间分布特征

Table 2 Root space distribution of mono wheat kidney-bean and broad-bean in different growth stage												
日期 Date	处理 Treatment	不同土层中的根干重 Root dry weight in different soil layer /g						占总干重比例 Percentage /%				
		0~10 /cm	10~20 /cm	20~30 /cm	30~50 /cm	50~70 /cm	0~70 /cm	0~10 /cm	0~20 /cm	0~30 /cm	0~50 /cm	0~70 /cm
5/6	MW	4.42 a	1.83 a	1.93 a	1.45 a	/	9.63 a	45.90 ab	64.90 b	85.15 ab	100 a	100 a
	MB	3.85 a	1.84 a	0.45 b	0.33 b	/	6.47 b	59.51 a	87.95 a	94.85 a	100 a	100 a
	MK	0.57 b	0.47 b	0.23 b	0.32 b	/	1.59 c	35.85 c	65.41 b	79.88 b	100 a	100 a
27/6	MW	3.77 b	3.40 a	4.33 a	3.37 a	2.00	16.87 a	22.35 b	42.5 b	68.17 b	88.14 b	100 a
	MB	6.98 a	2.77 ab	1.35 b	0.67 b	/	11.77 b	59.30 a	82.84 a	94.87 a	100 a	100 a
	MK	1.53 c	1.87 b	1.97 b	0.85 b	/	6.22 c	24.60 b	54.66 b	86.33 ab	100 a	100 a
8/7	MW	4.19 b	2.90 a	1.63 ab	1.86 a	0.52 b	11.1 b	37.75 ab	63.87 a	78.56 a	95.32 a	100 a
	MB	7.16 a	3.59 a	2.09 a	0.65 b	1.60 ab	15.09 a	47.45 a	71.24 a	85.09 a	89.40 ab	100 a
	MK	1.73 c	0.69 b	0.85 b	1.44 ab	1.90 a	6.61 c	26.17 b	36.61 b	49.47 b	71.26 b	100 a
27/7	MW	4.53 b	3.23 a	1.58 ab	1.83 b	1.30 ab	12.47 b	36.33 a	62.23 a	74.90 a	89.57 a	100 a
	MB	8.73 a	2.95 ab	2.42 a	3.50 a	1.90 a	19.5 a	44.77 a	59.90 a	72.31 a	90.26 a	100 a
	MK	0.60 c	1.28 b	0.90 b	1.27 b	0.88 b	4.93 c	12.17 b	38.13 b	56.39 b	82.15 a	100 a

表 3 不同生育期不同土层中作物根系的含水量差异

Table 3 Water content difference in different crops root in different soil layers and growth stage															
日期 Date	处理 Treatment	0~10 /cm	10~20 /cm	20~30 /cm	30~50 /cm	50~70 /cm	0~70 /cm	日期 Date	处理 Treatment	0~10 /cm	10~20 /cm	20~30 /cm	30~50 /cm	50~70 /cm	0~70 /cm
5/6	MW	80 b	83 b	85 a	81 a	/	82 b	8/7	MW	80 ab	78 b	84 a	76 b	70 c	79 b
	MB	92 a	92 a	89 a	86 a	/	92 a		MB	83 a	87 a	84 a	85 a	81 b	84 a
	MK	82 b	86 b	85 a	79 ab	/	83 b		MK	86 a	85 a	88 a	83 a	83 b	85 a
	IWK	81 b	83 b	82 a	73 b	79	79 c		IWK	78 b	81 ab	78 b	83 a	93 a	81 ab
	IWB	91 a	82 b	84 a	85 a	82	87 ab		IWB	85 a	80 ab	81 ab	81 a	79 bc	82 a
27/6	MW	76 b	71 a	72 a	69 b	75	73 b	27/7	MW	80 ab	78 b	81 a	76 a	76 a	79 bc
	MB	88 a	87 a	81 a	86 a	/	87 a		MB	88 a	86 a	83 a	77 a	75 a	85 a
	MK	86 a	87 a	78 ab	83 a	/	84 a		MK	87 a	84 a	82 a	76 a	72 a	81 b
	IWK	80 ab	83 a	65 b	75 ab	/	75 b		IWK	79 ab	81 ab	85 a	78 a	/	80 b
	IWB	87 a	86 a	74 ab	80 a	79	85 a		IWB	65 b	80 ab	86 a	79 a	79 a	76 c

2.2 不同模式根系干重的时间分布特征

不同的种植模式在总根干重分布呈单峰或双峰现象。如表 1, 随生育进程的推进, 小麦//菜豆总根干重呈单峰型“小-大-小”动态变化, 在拔节期根干重最大; 小麦//菜豆对照的总根干重也呈以拔节期为峰值的“小-大-小”动态变化。与小麦//菜豆不同, 小麦//蚕豆全生育期的总根干重呈“小-大-小-大”的双峰型动态变化, 在拔节期根干重最大、成熟期次之; 小麦//蚕豆对照的总根干重随着生育进程的推进呈不断上升的趋势, 根干重在成熟期最大。从表 2 中可以看出, 单作小麦的根重在拔节期达到了最大值, 而单作蚕豆的根重随着生育期的推进不断的增加, 在小麦成熟期达到了最大; 单作菜豆的根重呈小-大-小的动态变化, 在小麦灌浆期达到最大, 即作物在单作时根系的分布特征对间作群体的根系分布特征起决定性作用。因此, 选择间作物时, 首先应考虑作物本身具有的遗传学特性间的互补, 其次考虑通过互作作用后可能产生的潜在互补性。

2.3 不同土层中根系的含水量的时空分布

2.3.1 小麦//蚕豆和小麦//菜豆总根干重含水率的空间分布特征 根系鲜重与干重在不同层次中的差异决定于根系含水率, 不同种植模式在不同土层中的根系含水率变化趋势不同(表 3)。以单作根系含水率的一半为对照研究发现, 小麦//菜豆在小麦苗期总根重的含水率比相应对照低; 在小麦开花期、灌浆期、成熟期介于对照之间。小麦//蚕豆在小麦苗期、开花期、灌浆期介于对照之间; 在小麦成熟期却高于对照。

2.3.2 不同生育期单作与间作根系在不同土层含水率的空间分布特征 不同模式作物根系含水率在不同土层中的分布特征如表 3。在 0~70 cm 土层中, 除小麦开花期的小麦//菜豆、小麦成熟期的小麦//蚕豆外, 其他间作物根系含水率均处于两种单作物含水率之间, 表明间作对作物根系总含水率影响较小。比较不同生育期不同土层中作物根系土壤含水率差异发现, 小麦成熟期 20 cm 以下土层中间作根系含水率均高于相应单作,

其中小麦//菜豆根系含水率较单作小麦、单作菜豆分别高 3.8%、3.2%,小麦//蚕豆根系含水率较单作小麦和单作蚕豆分别高 3.7%和 3.8%,两者之间的差异显著,说明间作具有保持成熟期作物深层根系较高含水量的作用。

3 小结

随生育期的推进,小麦//菜豆的总根干重相对于单作的增大幅度呈降低趋势,与对照相比,小麦苗期、开花期、灌浆期、成熟期根系总干重增减幅度分别为 50.27%、2.42%、31.94%、-4.83%。小麦//蚕豆四个采样期根重的增减幅度分别为-6.82%、7.26%、14.44%和-7.25%。两种间作模式相对于单作的根重差异说明,小麦与蚕豆、菜豆间存在不同的相互作用。

小麦//菜豆和小麦//蚕豆全生育期根干重按生育进程呈下移到上移的分移特性。小麦//菜豆中,0~20 cm 土层中的根干重在小麦苗期、开花期低于单作对照,小麦灌浆期介于单作之间,成熟期高于对照。小麦//蚕豆在小麦苗期根干重在 0~20 cm 土层中较对照低,在小麦开花期、灌浆期介于对照之间,在小麦成熟期高于对照。

两作生长前期,间作物根系空间分布范围大于单作,利于土壤水分和养分的吸收利用。两

作生长后期,间作与单作的根系向深层延伸,但单作延伸较间作快。两作成熟期,在深层次的土壤中,复合群体的根系含水量较高,说明复合群体深层根系具有比单作更高的贮水能力,这种特性对水分利用效率的影响还需进一步试验验证。

小麦//蚕豆的总根干重在全生育期呈小-大-小-大的双峰变动趋势,小麦//菜豆与单作相同,根干重在全生育期呈以生长盛期为峰值的单峰变动趋势,从养分和水分利用角度分析小麦与蚕豆间作更有利于缓和竞争、发挥互补。

参考文献:

- [1] 张恩和. 小麦间作玉米根系的竞争与补偿效应研究[J]. 甘肃农业大学学报, 1997, 32(4): 295~299.
- [2] 张恩和, 黄高宝. 间套种植复合群体根系时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2003, 8(14): 1301~1304.
- [3] 赵秉强, 张福锁, 李增嘉等. 间套作条件下作物根系数量与活性的空间分布及变化规律研究[J]. 作物学报, 2001, 27(6): 974~979.
- [4] 张恩和, 李玲玲, 黄高宝等. 供肥对小麦间作蚕豆群体产量及根系调控[J]. 应用生态学报, 2002, 13(8): 939~942.
- [5] 左元梅. 玉米花生混作对共生根还原力和花生铁营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 4(2): 23~26.
- [6] 西北农业大学主编. 耕作学[M]. 农业出版社, 1986, 177~179.

不同禾豆间作复合群体根系的时空分布特征

作者：[陈桂平](#)，[柴强](#)，[牛俊义](#)，[CHEN Gui-ping](#)，[CHAI Qiang](#)，[NIU Jun-yi](#)
作者单位：[甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州, 730070](#)
刊名：[西北农业学报](#) 
英文刊名：[ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)
年，卷(期)：2007, 16 (5)
被引用次数：2次

参考文献(6条)

1. [张恩和](#) [小麦间作玉米根系的竞争与补偿效应研究](#) 1997 (04)
2. [张恩和](#), [黄高宝](#) [间套种植复合群体根系时空分布特征](#) [期刊论文]-[应用生态学报](#) 2003 (8)
3. [赵秉强](#), [张福锁](#), [李增嘉](#), [李凤超](#), [张新春](#), [申加祥](#), [潘海军](#), [赵甲美](#), [尹玉波](#), [武传杰](#) [间套作条件下作物根系数量与活性的空间分布及变化规律研究 II. 间作早春玉米根系数量与活性的空间分布及变化规律](#) [期刊论文]-[作物学报](#) 2001 (6)
4. [张恩和](#), [李玲玲](#), [黄高宝](#), [黄鹏](#), [柴强](#) [供肥对小麦间作蚕豆群体产量及根系的调控](#) [期刊论文]-[应用生态学报](#) 2002 (8)
5. [左元梅](#) [玉米花生混作对花生根系还原力和花生铁营养的影响](#) [期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 1998 (2)
6. [西北农业大学](#) [耕作学](#) 1986

本文读者也读过(10条)

1. [余丽娜](#), [郑毅](#), [朱有勇](#) [小麦蚕豆间作中作物对氮的吸收利用](#) [期刊论文]-[云南农业大学学报](#) 2003, 18 (3)
2. [张恩和](#), [李玲玲](#), [黄高宝](#), [黄鹏](#), [柴强](#) [供肥对小麦间作蚕豆群体产量及根系的调控](#) [期刊论文]-[应用生态学报](#) 2002, 13 (8)
3. [高慧敏](#) [小麦/蚕豆间作体系种间相互作用与根系分布的关系](#) [学位论文] 2006
4. [陈杨](#) [种间相互作用对大豆、蚕豆和小麦根系形态的影响](#) [学位论文] 2005
5. [肖焱波](#), [李隆](#), [张福锁](#), [XIAO Yan-bo](#), [LI Long](#), [ZHANG Fu-suo](#) [小麦/蚕豆间作体系中的种间相互作用及氮转移研究](#) [期刊论文]-[中国农业科学](#) 2005, 38 (5)
6. [刘自红](#), [苏海鹏](#), [汤利](#), [LIU Zi-hong](#), [SU Hai-peng](#), [TANG Li](#) [间作环境中小麦氮钾养分吸收利用与干物质累积的动态变化特征](#) [期刊论文]-[云南农业大学学报](#) 2007, 22 (6)
7. [张辉](#) [不同供水条件下小麦间作蚕豆复合群体对化感物质的响应](#) [学位论文] 2009
8. [赵广才](#), [刘利华](#), [张艳](#), [杨玉双](#), [杨兆生](#) [肥料运筹对超高产小麦群体质量、根系分布、产量和品质的效应](#) [期刊论文]-[华北农学报](#) 2002, 17 (4)
9. [彭正萍](#), [薛世川](#), [王雷](#), [李迎春](#), [袁硕](#), [张家铜](#) [不同氮磷钾肥配施对两季麦田土壤养分分布的影响](#) [会议论文]-2008
10. [肖焱波](#), [李隆](#), [张福锁](#), [XIAO Yan-bo](#), [LI Long](#), [ZHANG Fu-suo](#) [根瘤菌菌株NM353 对小麦/蚕豆间作体系中作物生长及养分吸收的影响](#) [期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 2006, 12 (1)

引证文献(2条)

1. [王宇蕴](#), [任家兵](#), [郑毅](#), [汤利](#) [间作小麦根际和土体磷养分的动态变化](#) [期刊论文]-[云南农业大学学报](#) 2011 (06)
2. [祖超](#), [郭华松](#), [谭乐和](#), [鱼欢](#), [杨建峰](#), [郑维全](#), [李志刚](#), [郝朝运](#) [橡胶与胡椒复合种植模式分析](#) [期刊论文]-[热带农业科学](#) 2011 (12)

引用本文格式：[陈桂平](#). [柴强](#). [牛俊义](#). [CHEN Gui-ping](#). [CHAI Qiang](#). [NIU Jun-yi](#) [不同禾豆间作复合群体根系的时空分布特征](#) [期刊论文]-[西北农业学报](#) 2007 (5)