

小麦 玉米带田作物氮营养特点*

金绍龄 李 隆 张丽慧 马永泰 索东让 吴国菁 王 平

(甘肃省农科院土肥所,兰州 730070)

(张掖地区农科所,张掖 734000)

摘 要 1991~1992年在张掖灌漠土上进行的试验结果表明:①带田小麦与玉米在共生期对氮资源存在着竞争,小麦的竞争能力大于玉米。②带田小麦的氮吸收效率均高于单种,而玉米多低于单种,带田整体则高于当量面积的单种。③带田小麦的氮利用效率多低于单种,玉米在施肥处理中多高于单种,而带田整体在多数情况下都低于当量面积的单种。④仅就氮的营养而论,带田的间作优势几乎完全来自氮吸收效率的贡献,氮利用效率的贡献或者为0,或者为负值。

关键词 小麦 玉米,带状间作,氮素营养

中图分类号 S143.1, S344.2, S158.3

60年代后期以来,小麦 玉米带状种植法(即小麦 玉米带状间作,以下简称带田)的引进和推广,对提高甘肃河西灌区乃至全省粮食产量起到了重要作用^[1~3]。在带田这种生产体系中,增加单位面积的养分投入是保证高产的关键。由于该地区有机肥料的来源及数量都有限,增施化肥便成为提供养分的主要手段。但是随着人们对化肥增产作用的认识,又出现了过份依赖和超量施用化肥(主要是氮肥)的偏向,导致肥料利用率降低,农业生产成本增高。出现这种现象的一个重要原因就是带田作物的营养特点缺乏系统研究。鉴于此,1991~1992年在河西灌区的灌漠土上进行了研究,本文是有关带田氮营养特点的研究结果。

1 材料与方方法

1.1 供试土壤

试验设于张掖地区农科所试验农场内,土壤为灌漠土。试验于1991和1992年依次在两个地块进行,土壤基本理化性状见表1。

表1 供试土壤基本理化性状(0~20 cm)

年 份	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	磷硫钙 (%)	CEC [cmol(+)kg ⁻¹]
1991	22.4	0.99	0.99	129	35	197	7.4	11.5
1992	20.0	1.16	0.95	120	29	148		

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,主处理为施肥水平,副处理为种植方式(见表2)。小区面积33.3 m²,重复3次,随机区组排列。氮肥用硝酸铵,磷肥用重过磷酸钙,农肥为当地的牲口圈肥。农肥和磷肥均按小区称量后于播前人工翻入耕层土壤。带田氮肥的2/4与农肥、磷肥

收稿日期:1996-05-19

* 甘肃省科委资助项目

一起于播前施入, 2/4分两次于玉米拔节期和大喇叭口期作追肥, 在行间开沟均匀施入后覆土; 单种玉米的氮肥 1/4作基肥, 结合播前翻地施入, 1/4作拔节期追施, 2/4作大喇叭口期追施; 单种小麦的氮肥全部作基肥, 与农肥、磷肥一起于播前施入。

表2 试验处理的设置

kg /hm²

种植方式	高肥			中肥			无肥		
	农肥	N	P ₂ O ₅	农肥	N	P ₂ O ₅	农肥	N	P ₂ O ₅
小麦/玉米带田	150000	750	300	90000	450	180	0	0	0
小麦单种	150000	300	120	90000	180	72	0	0	0
玉米单种	150000	450	180	90000	270	108	0	0	0

1.3 种植方式

带田采用当地普遍推行的 0.7 m 小麦带+ 0.8 m 玉米带的种植方式。小麦带内种植 6 行, 行距 0.12 m, 播量 333.0 kg /hm², 保苗 525 万株 /hm² (实际上是 0.47 hm² 面积上保苗 525 万株); 玉米带内种 2 行, 行距 0.264 m, 株距 0.195 m (1991) 或 0.178 m (1992), 1991 年的密度为 67500 株 /hm², 1992 年为 75000 株 /hm² (实际上两年均为 0.53 hm² 面积上的株数); 单种玉米的行距 0.50 m, 1991 年株距 0.296 m, 留苗 67500 株 /hm², 1992 年株距 0.266 m, 留苗 75000 株 /hm²; 单种小麦两年播量均为 474 kg /hm², 保苗 750 万株 /hm²。

小麦品种两年均为张春 1 号, 3 月下旬播种, 7 月 18 (1991) 或 7 月 20 (1992) 收获; 玉米品种 1991 年为张单 476, 1992 年为中单 2 号, 4 月下旬播种, 9 月下旬 (1991) 或 10 月上旬 (1992) 收获。1991 年玉米未覆盖地膜, 1992 年覆地膜, 玉米播后立即覆盖, 出苗后开洞放苗, 未进行中耕。1991 年小麦和玉米的共生期为 64 d, 1992 年为 75 d。

1.4 样品测定

无论是带田还是单种, 小麦均于三叶、拔节、抽穗、开花、灌浆和成熟期采样测定地上部干物质重和 N、P、K 含量, 玉米于三叶、六叶、拔节、抽穗、吐丝、灌浆和成熟期采样, 测定项目同小麦。小麦取样方法: 带田每次取 0.3 m 长的带幅段, 单种小麦则在不同行上取 0.3 m 长的样段合并; 三叶和拔节期的测定用地上部整体进行, 抽穗和开花期分茎、叶、穗部分, 灌浆和成熟期分茎、叶、穗轴、颖壳和籽粒部分。玉米三叶、六叶和拔节期均随机取样 10 株, 地上部作为整体进行测定; 抽穗和吐丝期取样 4 株, 分茎、叶 (1991 年又分上位叶和下位叶)、穗 3 部分测定; 灌浆和成熟期分茎、叶、苞叶、穗轴和籽粒 5 部分测量。氮用开氏法, 磷用三酸消化、钒黄比色法, 钾用三酸消化、火焰光度法测定。

2 结果与分析

2.1 作物地上部分的含氮量

从表 3 可以看出, 随着生育期的推移, 各处理作物地上部分的含氮量越来越低, 这是稀释效应所致。在每个生育期内, 含氮量都是随着施肥量的增加而增高的, 单种或带田小麦及玉米两年的表现颇为一致。但在带田作物共生期间 (1991 年指小麦三叶—成熟, 玉米播种—抽雄前 15 d; 1992 年指小麦三叶—成熟, 玉米播种—抽雄期) 小麦的含氮量几乎都高于单种, 特别是抽穗期以后。而带田玉米的含氮量则几乎都低于单种 (六叶期和拔节期), 但当小麦成熟或者收获之后, 带田玉米的含氮量又有高于单种玉米的趋势, 这在 1992 年的

试验中表现尤为明显

表 3 不同生育期作物地上部含氮量的变化

%

年 份	处 理	小 麦							玉 米					
		三叶	拔节	抽穗	开花	灌浆	成熟	六叶	拔节	抽雄	吐丝	灌浆	成熟	
1991	单种	无肥	4.22	3.12	1.85	1.58	1.44	1.46	4.57	3.54	1.74	1.63	1.26	0.96
		中肥	4.95	3.92	2.67	2.10	1.52	1.61	4.58	3.69	2.40	2.09	1.33	1.23
		高肥	4.93	3.99	2.95	2.20	1.86	1.67	4.59	3.92	2.17	2.04	1.33	1.25
	带田	无肥	4.22	2.89	2.06	1.83	1.55	1.58	4.43	3.15	1.98	1.51	1.32	1.02
		中肥	5.16	3.74	2.67	2.20	1.82	1.68	4.52	3.64	2.33	2.09	1.28	1.18
		高肥	5.22	3.87	2.88	2.35	1.92	1.70	4.46	3.60	2.68	2.13	1.24	1.24
1992	单种	无肥	3.21	2.82	1.52	1.30	1.00	1.14	4.50	3.75	1.09	0.78	0.52	0.60
		中肥	4.00	3.20	1.94	1.63	1.30	1.37	4.58	3.14	1.47	1.18	0.89	0.99
		高肥	4.04	4.04	2.57	2.17	1.49	1.40	4.95	3.03	1.54	1.37	1.02	1.04
	带田	无肥	3.44	2.78	1.82	1.49	1.20	1.52	2.89	1.37	0.95	1.08	0.90	0.76
		中肥	4.36	3.70	2.74	2.11	1.43	1.42	3.70	3.17	1.74	1.45	1.16	1.04
		高肥	4.45	2.60	2.73	2.20	1.58	1.41	3.89	3.73	1.78	1.60	1.19	1.06

注: 小麦抽穗及玉米抽雄后的数值是不同器官含氮量的加权平均值, 权重为各器官干物重占地上部干物重的比例。

2.2 不同作物对氮的竞争

作物体内含氮量的变化在一定程度上反映出作物氮吸收能力的变化。表 3 表明, 与单种比较, 带田小麦的氮吸收能力提高了, 而玉米的氮吸收能力则降低了。这是由于单种时, 作物对资源的利用只有种内竞争, 但在带状间作条件下, 种间竞争也是作物获得资源的重要过程。从共生期内作物含氮量的变化来看, 小麦在竞争过程中显然处于优势地位。也就是说, 带田小麦对氮的竞争能力大于玉米, 这和用 ^{15}N 示踪方法研究的结果是一致的^[4]。也正是由于这个原因, 只有当小麦成熟或收获之后, 玉米的氮吸收才会有明显好转。带田氮营养的这一特点对其合理施肥有重要指导意义, 同时也说明了带田玉米对氮肥的敏感性和依赖性比小麦大得多的原因^[5]。

2.3 氮的吸收效率和利用效率

2.3.1 氮的吸收效率

氮的吸收效率是指作物从单位土地面积上吸收的氮量。根据 Trenbath 提出的资源吸收利用表达式^[6], 可将作物产量 (干物质或籽粒) 与氮吸收利用的关系表述如下:

$$\text{作物产量 / 单位面积} = \text{N 吸收量 / 单位面积} \times \text{作物产量 / N 吸收量}$$

式右第 1 项为氮的吸收效率, 第 2 项为氮的利用效率

为了便于与同面积的单种进行比较, 表 3 的带田小麦及玉米的氮吸收量已由原来 0.4 和 0.53 hm^2 的数值换算为 1 hm^2 。稍后还要用 1 hm^2 带田与 0.47 hm^2 单种小麦 + 0.53 hm^2 单种玉米比较, 后者本文称之为当量面积。由表 4 可以看出, ① 带田小麦氮的吸收效率在两年的不同生育期都高于单种小麦; 带田玉米的氮吸收效率则有高有低, 且多低于单种玉米。② 带田和单种比较, 小麦氮吸收效率的差异很大, 而玉米氮吸收效率的差异甚小。3 个施肥水平平均, 1991 和 1992 年带田小麦的氮吸收效率分别比单种高 38.5% ~ 65.4% 和 52.3% ~ 151.1%, 而两年中带田玉米的氮吸收效率降低的幅度为 0.8% ~ 41.6%, 增高的幅度为 5.6% ~ 12.0%。这两点都进一步证实了小麦对氮的竞争能力大于玉米的事实。③

抽雄期以后,带田玉米的相对吸氮量均高于单种。前者的吸氮量占生育期最高吸收量的44%~64%(1991)和46%~67%(1992),后者仅相应为27%~45%和37%~49%(图1)。由于带田玉米抽雄期或者在小麦收获之后(1991),或者正值小麦成熟期(1992),此后玉米对氮的吸收不会再受到小麦竞争的制约,因而出现了氮营养的补偿,使这一段时间内氮的吸收相对提高。这对确定带田玉米的施氮时期及不同时期氮的分配比例提供了重要的理论依据。

表4 作物不同生育期氮的吸收效率

kg/hm²

年份	处理	小麦						玉米					
		三叶	拔节	抽穗	开花	灌浆	成熟	六叶	拔节	抽雄	吐丝	灌浆	成熟
1991	单种无肥	16.5	42.0	72.0	90.0	133.5	172.5	1.5	31.5	139.5	213.0	253.5	180.0
	中肥	19.5	64.5	147.0	166.5	172.5	265.5	3.0	37.5	256.5	288.0	352.5	294.0
	高肥	19.5	57.0	141.0	154.5	187.5	252.0	3.0	45.0	175.5	238.5	321.0	322.5
	带田无肥	19.1	54.3	118.1	159.6	201.1	280.9	2.8	17.0	90.6	124.5	249.1	141.5
	中肥	19.1	70.2	172.0	201.1	236.2	312.8	2.8	50.9	158.5	266.0	294.3	251.9
	高肥	25.5	102.1	264.9	319.1	277.7	412.3	2.8	45.3	181.1	277.4	339.6	271.7
1992	单种无肥	7.5	13.5	61.5	69.0	93.0	118.5	3.0	57.0	96.0	91.5	114.0	151.5
	中肥	10.5	21.0	97.5	97.5	174.0	189.0	4.5	54.0	171.0	175.5	280.5	336.0
	高肥	10.5	22.5	115.5	120.0	172.5	162.0	6.0	63.0	189.0	208.5	321.0	330.0
	带田无肥	16.0	25.5	159.6	169.1	252.1	312.8	2.8	11.3	39.6	53.8	113.2	118.9
	中肥	19.1	44.7	252.1	261.7	322.3	331.9	2.8	36.8	178.3	206.6	410.4	370.8
	高肥	25.5	31.9	277.7	306.4	408.5	351.1	5.7	53.8	200.9	260.4	384.9	373.6

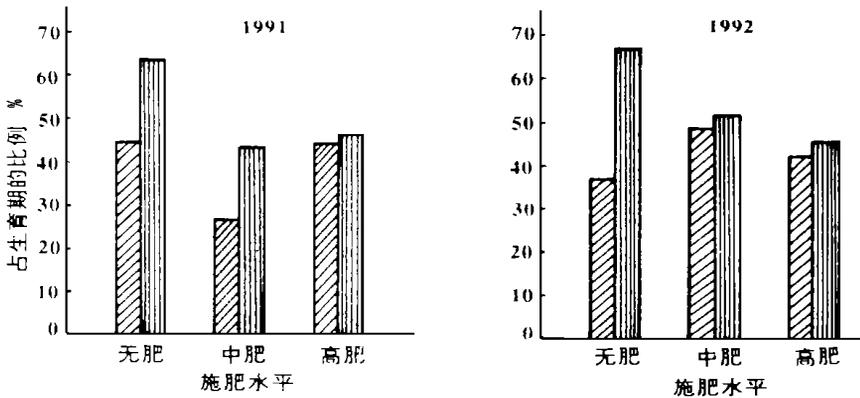


图1 玉米抽雄后吸收的氮占全生育期吸收氮的比例

▨ 单种; ▩ 带田

比较带田和当量面积单种的氮吸收效率(表5)可以看出,除1991年的中肥处理外,带田的氮吸收效率都高于单种,第1年高17.2%~18.2%,第2年高32.1%~54.4%。带田的氮吸收效率比单种高,对土壤的氮消耗强度也必然大,这必须通过增施肥料予以补充,否则带田土壤肥力下降的速度也会比单种快。从表还可以看出,在中肥和高肥处理中,带田

消耗的氮虽然比单种大,但 1991 年增产 7.6%~16.5%,1992 年增产 26.8%~33.0%。无肥处理带田消耗的氮量虽然仍明显大于单种,籽粒产量却未达到单种的水平。出现这种结果可能有两方面的原因:① 不施肥时土壤供氮能力满足带田作物的程度远低于单种作物;② 作物产量是由资源的捕获或吸收效率和利用效率共同决定的,氮的吸收效率高而产量低,说明该处理条件下带田作物氮的利用效率低。

表 5 带田与当量面积单种氮吸收效率的比较

年份	处理	吸收效率 (kg/hm ²)		带田为单种的百分数 (%)	
		单种	带田	氮吸收量	籽粒产量
1991	无肥	176.5	207.0	117.2	99.9
	中肥	280.6	280.5	100.0	107.6
	高肥	289.3	342.0	118.2	116.5
1992	无肥	136.0	210.0	154.4	93.9
	中肥	266.9	352.5	132.1	126.8
	高肥	251.0	363.0	144.6	133.0

2.3.2 氮的利用效率 氮利用效率是指吸收的单位氮量形成的干物质或籽粒产量。表 6 表明,两种作物相比较,玉米的氮利用效率明显地高于小麦。玉米的变化范围为 35.6~73.2 kg/kg N, 平均 47.0 kg/kg N; 小麦的变化范围为 24.8~42.2 kg/kg N, 平均仅 30.3 kg/kg N, 只有玉米的 64.5%。出现这种差异同两种作物在光合作用中 CO₂ 固定途径不同有关^[7]。

种植方式对氮利用效率的影响无明显规律,但仍有几点值得注意:① 带田小麦的氮利用效率在多数情况下均低于单种,前者平均为 28.6 kg/kg N, 后者为 32.0 kg/kg N; ② 带田玉米的氮利用效率在施肥处理中多高于单种,前者两年平均为 44.2 kg/kg N, 后者为 41.0 kg/kg N。这两点可能是小麦和玉米对氮的竞争力不同造成的。但在无肥处理中,带田玉米的氮利用效率却大大低于单种,其原因尚不清楚。带田和当量面积单种的比较结果表明,带田在 1991 年的中肥处理和 1992 年的 3 种施肥水平上都低于单种。但随着施肥量的提高,两种种植方式和两种作物的氮利用效率都有下降趋势,这同施肥可提高植株含氮量的效果是一致的。

表 6 不同处理的氮利用效率

年份	处理	kg/kg N					
		小麦		玉米		合计	
		单种	带田	单种	带田	当量面积单种	带田
1991	无肥	27.9	26.1	51.2	49.4	40.5	34.6
	中肥	24.8	25.3	36.7	43.3	31.4	33.8
	高肥	25.8	25.0	35.6	40.3	31.6	31.1
1992	无肥	42.2	31.6	73.2	49.0	60.5	36.8
	中肥	35.9	32.4	46.7	48.6	43.2	41.4
	高肥	35.2	31.3	44.9	44.7	42.0	38.6

从表 7 结果来看,带田在多数情况下的需氮量都比当量面积的单种高,这又进一步说

明增加带田肥料投入的必要性

表7 生产1 kg籽粒的需氮量

g

年份	处理	小麦		玉米		合计	
		单种	带田	单种	带田	当量面积单种	带田
1991	无肥	36	38	20	20	25	29
	中肥	40	40	27	23	32	30
	高肥	39	40	28	25	32	32
1992	无肥	24	32	14	20	17	27
	中肥	28	31	21	21	23	24
	高肥	28	32	22	22	24	26

2.3 氮吸收及利用效率对间作优势的相对贡献

在小麦/玉米带状间作中,土地当量比(LE_R)可用下式计算:

$$LE_R = Y_{iw}/Y_{sw} + Y_{im}/Y_{sm}^{[8]}$$

式中: Y 代表生物学产量或籽粒产量,以 kg/hm^2 表示,但此处带田小麦及玉米的产量实际上各为 0.4 和 $0.53 hm^2$ 面积上的产量; w 和 m 分别代表小麦和玉米; i 和 s 分别代表间作和单种。

由于产量是资源吸收效率和利用效率的乘积,

$$LE_R = (A_{iw}/A_{sw})(E_{iw}/E_{sw}) + (A_{im}/A_{sm})(E_{im}/E_{sm})$$

式中: A, E 分别代表资源的吸收效率和利用效率。

令 $a_1 = A_{iw}/A_{sw} - 1, a_2 = A_{im}/A_{sm} - 1, e_1 = E_{iw}/E_{sw} - 1, e_2 = E_{im}/E_{sm} - 1$,代入上式并整理,可得:

$$LE_R = 1 + (1 + a_1 + a_2) + (e_1 + e_2) + (a_1e_1 + a_2e_2)$$

可以看出,式右大于1的部分(间作优势)是由三部分组成的, $1 + a_1 + a_2$ 代表吸收效率对间作优势的贡献, $e_1 + e_2$ 代表利用效率的贡献, $a_1e_1 + a_2e_2$ 表示二者交互作用的贡献^[9]。

从表8以生物学产量为基础计算的结果可以看出,在小麦/玉米带状间作条件下,间作优势几乎完全来自氮的吸收效率。氮利用效率的贡献或者为0,或者为负值,交互作用的贡献也非常小。这表明,从氮营养的角度来看,进一步增大带田间作优势的潜力,不仅在于提高氮的吸收效率,更重要的还在于提高氮利用效率。

表8 氮吸收及利用效率对间作优势的贡献

年份	处理	LE _R	$1 + a_1 + a_2$	$e_1 + e_2$	$a_1e_1 + a_2e_2$
1991	无肥	1.09	0.18	-0.14	0.05
	中肥	1.00	0.01	0	0
	高肥	1.22	0.23	0	0
1992	无肥	1.26	0.66	-0.47	0.07
	中肥	1.35	0.41	-0.09	0.03
	高肥	1.59	0.62	-0.03	0

参 考 文 献

- 1 杨玉娥, 王爱文. 河西一熟制灌区“吨粮田”栽培技术研究总结. 甘肃农业科技, 1991(5): 5~ 7
- 2 罗代雄, 万自忠, 陈立新等. 小麦套种玉米高产栽培技术模式研究. 宁夏农林科技, 1994(3): 9~ 15
- 3 丁峥嵘. 和田河叶尔羌河流域小麦玉米套种吨粮田的技术开发与效益分析. 西北农业学报, 1994, 3(1): 67~ 70
- 4 金绍龄, 张丽慧, 李隆. 小麦玉米带田一种作物施用氮肥对配对作物氮营养的影响. 西北农业学报, 1993, 2(3): 1~ 6
- 5 金绍龄, 李隆, 张丽慧等. 小麦/玉米带田土壤肥力变化及培肥研究 I. 肥力变化及各种肥料对作物产量的影响. 西北农业大学学报, 1996, 24(5): 49~ 54
- 6 Morris R A, Garnty D P. Resoure capture and utilization in intercropping non-nitrogen nutrients. Field Crops Research, 1993, 34(3, 4): 303~ 318
- 7 何新华. 建立 C 和 C 植物的比较营养学及其展望. 见: 张福锁, 龚元石, 李晓林主编. 土壤与植物营养研究新动态. 北京: 中国农业出版社, 1995 270~ 283
- 8 Fukai S. Intercropping-bases of productivity. Field Crops Research, 1993, 34(3, 4): 239~ 245
- 9 Trenbath B R. Resource use by intercrops. In Francis C A ed. Multiple Cropping Systems. New York Macmillan, 1986 62~ 64

N Nutrition Characteristics of Component Crops on Wheat/Maize Strip Intercropping

Jin Shaoling¹ Li Long¹ Zhang Lihui¹ Ma Yongtai²
Suo Dongrang² Wu Guoging² Wang Ping²

(1 Institute of Soil and Fertilizer, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lan Zhou, 730070)

(2 Zhangye Research Institute of Agricultural Sciences, Zhangye, 734000)

Abstract Results of field experiments conducted in 1991~ 1992 at Zhangye, Gansu Province showed that^① N resource competition between wheat and maize in strip intercropping exists;^② N uptake efficiencies of intercropped wheat are all higher than that of single-planted wheat, while the efficiencies of intercropped maize are lower than of single-planted maize. The N uptake of intercrops, as a whole, is higher than of single-planted crop in the equivalent area;^③ N utilization efficiencies of intercropped wheat are lower than that of sole wheat in most cases. N utilization efficiencies of intercropped maize are higher than that of single-planted maize in most fertilization treatment. But N utilization efficiencies of the whole intercrops are lower than that of single-planted crop in equivalent area;^④ As far as N nutrition, the advantages of intercrops almost come from the contribution of N uptake efficiency. The contribution of N utilization efficiency is either 0 or negative value.

Key words wheat/maize, strip intercropping, N nutrition