小麦/玉米带田土壤肥力变化及培肥*

Ⅰ.肥力变化及各种肥料对作物产量的影响

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 采用定位试验研究了不同肥料对小麦/玉米带田土壤肥力的影响及土壤培肥途径。结果证明:① 带田不施肥时,肥力迅速降低,产量急剧减少;② 在带田的产量构成中,玉米平均占 61.7%,且其对肥料的依赖性远大于小麦;③ 氮肥对带田产量特别是玉米产量起着主要作用,产量贡献率达 55.2%~80.9%;④ 小麦对磷肥反应明显,玉米对钾肥反应明显;⑤ 有机肥料与无机肥料结合,以氮肥为主,氮、磷、钾平衡施肥是带田土壤培肥的基本途径。

关键词 带田,土壤肥力,土壤培肥,作物产量
中图分类号 S158.3, S344.2

小麦/玉米带田就是小麦和玉米的带状间作,在甘肃河西灌区高产栽培中占有重要位置。这种种植方式使两种作物的种植密度大为增加,更加强化了间作套种和立体农业所具有的充分利用光、热、水、土资源的能力[1]。间作套种在我国虽已有十分悠久的历史,在国外也有广泛的应用和研究[2,3],但小麦/玉米带田的大面积推广应用至今还不过二三十年的历史[4],许多与之相关的农学和土壤学等方面的问题尚待研究。为了明确带田养分消耗强度提高后土壤肥力的变化,连续种植带田是否会导致土壤肥力下降和各种肥料在保持和提高土壤肥力中的作用,特进行了该项研究,主要通过作物产量的变化来分析土壤肥力的变化情况,为带田的土壤培肥提供依据。

1 材料及方法

本定位试验于 1991~1994年在张掖地区农科所试验农场进行。土壤为灌漠土,耕层(0~20 cm)土壤有机质含量 19.7 g·kg^{-1},全氮 1.01 g·kg^{-1},全磷 0.85 g·kg^{-1},碱解氮、速效磷和速效钾含量分别为 135,17和 162 mg·kg^{-1}。试验处理设置见表 1。

氮用硝酸铵(含 N 34%),磷用重过磷酸钙(含 P_2O_5 46%),钾用硫酸钾(含 K_2O 50%),有机肥用当地的普通圈肥。有机肥和磷、钾肥均作基肥于每年春季整地时一次施入。氮分 3次施用:1/4小麦播种时沟施,1/4作玉米的种肥,1/2作玉米的追肥。秸秆还田为 4500 kg/hm^{2}干物质(种什么还什么,在秋季将其用粉碎机粉碎后翻入耕层土壤)。轮作均指带田—小麦—玉米—带田。

小区面积 33.3 m^2,重复 3次,随机区组排列。除含轮作的处理之外,皆为带田连作。带田以 0.7 m∶0.8 m的小带田为基础,小麦带 0.7 m种 6行,行距 0.12 m,玉米带 0.8 m种 2行,行距 0.24 m。带田内实行小倒搓,即第 1年的小麦带第 2年种玉米,依此类推。

收稿日期:1996-03-15
* 甘肃省科委资助项目

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

小麦品种均为张春 11号,播量按保苗 525万株 /hm²计算。玉米品种前两年为张单 476,不覆地膜,后两年为中单 2号,覆盖地膜。第 1年留苗 67500株 /hm²,其余 3年均为 75000株 /hm².轮作中的单种小区,小麦种 18行,玉米种 6行,密度同带田。

表 1 试验肥力水平设置 kg /hm²

编号	处理内容	农 肥	N	P_2O_5	K_2O
①	CK	0	0	0	0
②	N	0	540	0	0
③	N+ P(NP)	0	540	216	0
④	N+ P+ K(NPK)	0	540	216	108
⑤	M	150000	0	0	0
⑥	M+ N(MN)	150000	540	0	0
⑦	M+ N+ P(MNP)	150000	540	216	0
⑧	M+ N+ P+ K(MNPK)	150000	540	216	108
⑨	M+ N+ P+ K,轮作 (MNPKR)	150000	540	216	108
⑩	有机肥+ NPK肥,秸秆还田(MNPKS)	150000	540	216	108
⑪	有机肥+ NPK肥,秸秆还田,轮作 (MNPKRS)	150000	540	216	108

注: N—— 氮肥、P—— 磷肥、K—— 钾肥、M—— 有机肥、R—— 轮作、S—— 秸秆。

不同肥料对作物产量的贡献率按下式计算:

不施有机肥时,以 NPK区产量为 100%,土壤的贡献率 = $\frac{CK}{NPK}\times 100\%$

无机肥的贡献率 = $\frac{NPK-CK}{NPK}\times 100\%$

计算氮、磷、钾 3种肥料的贡献率时,分别将分子换成 N- CK、NP- P和 NPK- NP.

施有机肥料时,以 MNPK的产量为 100%,土壤的贡献率 = $\frac{CK}{MNPK}\times 100\%$

有机肥的贡献率 = $\frac{M-CK}{MNPK}\times 100\%$

无机肥的贡献率 = $\frac{MNPK-M}{MNPK}\times 100\%$

计算氮、磷、钾肥的贡献率时,分子需分别换成 MN- M、MNP- MN和 MNPK- MNP.

2 结果及分析

2.1 不施肥对小麦玉米产量的影响

从表 2可见,对照处理第 1年的带田产量 (小麦、玉米之和)为 7680 kg /hm²,第 2, 3, 4年依次降为 4486.5, 2332.5和 2613 kg /hm²,分别降低了 41.6%, 62.6%和 66.0%,最后 1年的产量仅为第 1年产量的 34.0%.其中小麦后 3年的产量分别降低了 51.3%, 62.6%和 65.9%,第 4年的产量降为第 1年的 33.9%;玉米带第 1年的产量为 3402.0 kg /hm²,第 2, 3, 4年分别降低了 29.5%, 78.7%和 66.1%,第 4年的产量降为第 1年的 33.9%.从最后一年的结果来看,肥力下降对小麦和玉米产量的影响程度似乎都是相同的。但进一步的分析表明,玉米产量对土壤肥力变化的影响程度要比小麦大得多。比较两种作物无肥区与全肥区 (MNPK)的产量可以看出,玉米产量随肥力下降而降低的程度要比小麦大一倍。例如,从第 1年到第 4年,无肥区小麦产量占全肥区产量的比例依次为 80.1%, 44.0%, 46.0%和 32.6%,而玉米则相应为 50.1%, 25.2%, 8.8%和 15.2%.说明小麦的增产潜力虽不如玉米,

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

但玉米的耐瘠能力却远不如小麦。这种结果是多种原因造成的,主要原因可能有两点: 一是玉米属 C_4植物,光合强度高,生长速度快[5],因而对土壤养分的供应强度也有较高的要求,即使在相同缺肥水平上,玉米所受抑制程度也会大于小麦;二是带田小麦玉米共生期间对养分资源有竞争,而小麦对养分 (如氮)的竞争能力大于玉米,使玉米在氮营养中处于更不利的地位[6]。

表 2　不同处理对产量的影响　　kg /hm²

处理	1991		1992		1993		1994	
	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米	小麦	玉米
① CK	4278.0	3402.0	2085.0	2401.5	1600.5	732.0	1459.5	1153.5
② N	4290.0	6720.0	4485.0	8133.0	2880.0	5923.5	2950.5	5988.0
③ NP	5064.0	6198.0	5235.0	7945.5	3259.5	6948.0	3979.5	6786.0
④ NPK	4986.0	6024.0	5175.0	8361.0	3840.0	6994.5	4426.5	8115.0
⑤ M	4770.0	3462.0	3705.0	3535.5	2023.5	1542.0	2110.5	1893.0
⑥ MN	4800.0	7176.0	4950.0	9177.0	3450.0	7494.0	4099.5	8005.5
⑦ MNP	5406.0	6630.0	4305.0	8553.0	3430.5	6834.0	4369.5	6418.5
⑧ MNPK	5340.0	6726.0	4740.0	9538.5	3480.0	8346.0	4474.5	7551.0
⑨ MNPKR	5052.0	7206.0	7110.0	–	–	12144.0	4278.0	8440.5
⑩ MNPKS	4962.0	6318.0	4605.0	8658.0	3469.5	8542.5	4060.5	8232.0
⑪ MNPKSR	5046.0	6672.0	6915.0	–	–	12751.5	4230.0	8436.0

2.2　不同肥料培肥效应的产量表现

2.2.1　氮肥　从表 2中可以看出,带田施用氮肥的增产效果极为显著,第 1年增产 43.4%,第 2年增产 181.2%,第 3,4年的增产率高达 277.4%和 242.1%,表明氮肥在土壤培肥中占有十分重要的地位。但就单位肥料氮的增产来看,趋势与增产率并不一致,第 1年每公斤氮增产 6.2 kg粮食,第 2,3,4年的增产依次为 15.1,12.0和 11.7 kg.这种不同步的现象说明增产率的提高,主要是对照区产量大幅度下降所造成的,而不是氮肥肥效提高所致,因为氮肥区的产量除第 2年外,也是明显下降的。

从表 2中还可看出,小麦和玉米的产量对氮肥的反应程度有极大差别。施氮区小麦带第 1年仅增产 0.3%,第 2,3,4年依次为 115.1%,79.9%和 102.2%;而玉米带第 1年的增产就达 97.5%,第 2,3,4年达 238.7%,709.2%和 419.1%.说明在小麦 /玉米带田中,玉米对环境营养水平的反应和依赖程度都比小麦大得多。因此缺氮时玉米便大幅度减产,而施氮时又大幅度增产。由于小麦 /玉米带田中大约有 60%～ 70%的产量来自玉米,因此玉米氮营养水平的高低常成为制约带田产量的主导因素,这无疑是带田土壤培肥中应当首先考虑的问题。

但是,肯定氮肥在带田土壤中的特殊重要性并不等于认为带田只需施用氮肥就可以了。因为许多肥料定位试验已经证明[7],连续单独施用氮肥,必然会造成土壤中其他养分特别是磷的消耗,导致养分比例失调,抑制作物的正常生长和产量形成。这说明仅仅施用氮肥的培肥作用是有很大局限性的,单施的时间越长,这种弊端的暴露就会越明显。如施氮区到了第 3,4年已无法保持原有的肥力水平,带田产量下降了 18.8%～ 20.0%,其中小麦下降了 31.2%～ 32.9%,玉米下降了 10.9%～ 11.9%.4年中施氮区的带田产量仅依次为全区肥 (MNPK)的 91.2%,88.4%,74.4%和 74.3%,其中小麦带产量为全肥区的 80.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

3% , 94. 6% , 82. 8%和 65. 9% ,玉米带为 99. 9% , 85. 2% , 71. 0%和 79. 3% ,不仅产量低,而且随着年限的延长,降低程度也有年甚一年的趋势。进一步说明了其他营养元素对提高土壤培肥效果的需要性和必要性,连续单施氮肥的作法是不可取的。

2. 2. 2 磷肥 试验中未设单施磷肥的处理。这里所说的磷肥效应,都是根据 NP区和施 N区的产量差异而言的。从表 2资料可知, 4年中带田施用磷肥的增产率依次为 2. 2% , 4. 5% , 15. 9%和 20. 4% .其中小麦带为 18. 0% , 16. 7% , 13. 2%和 34. 9% ,玉米带为 - 7. 8% , - 2. 3% , 17. 3%和 13. 3% .可以看出:① 磷肥肥效是随着试验时间的延长而增大的,小麦玉米都是如此,这是单施氮肥造成土壤磷亏缺的结果;② 小麦对磷肥的反应程度大于玉米,对土壤供磷水平要求更高,玉米产量受缺磷的影响较小,连续单施氮肥时产量降低的速度较缓慢,施用氮磷肥时便可保持高于原有肥力水平的产量,小麦则不是这样。

4年中 NP区带田产量依次为全肥区的 93. 3% , 92. 3% , 86. 3%和 89. 5% .其中小麦产量比较接近全肥区,依次为 94. 8% , 110. 4% , 93. 7%和 89. 9% ;玉米的产量差距则较大,依次为 92. 1% , 83. 3% , 83. 2% 和 88. 9% .说明玉米受其他因素的影响大于小麦。

2. 2. 3 钾肥 NPK区与 NP区的产量之差表示钾肥肥效。第 1年带田施用钾肥未增产,第 2, 3年分别增产 2. 7%和 6. 1% ,第 4年增产 16. 5% ,达到 5%的显著水平。其中小麦 4年的增产依次为 - 1. 5% , - 1. 1% , 17. 8%和 11. 2% ; 玉米的增产依次为 - 2. 8% , 5. 2% , 0. 7%和 19. 6% ,趋势基本一致。说明随着 NP区对土壤钾的消耗,作物生长发育受的影响也越来越大。在同一地点进行的常规种植 (小麦→小麦→玉米轮作)肥料定位试验表明,在不施有机肥的情况下,钾肥从第 6年开始有增产趋势 (NPK~ NP);施用有机肥者钾肥在 12年内均未显效[11]。本试验则显示,带田种植 2年,钾肥即开始表现增产,足见带田消耗养分强度之大。同时也说明,尽管试验地耕层土壤速效钾含量较高 (162 mg· kg^{-1}),但带田连续种植时适量供应钾肥仍是保持和提高土壤肥力不可忽视的一个因素。

2. 2. 4 有机肥 仅靠有机肥,由于养分含量和供应强度都远远满足不了高产作物的需求,因而不仅不能提高土壤肥力,而且难以保持原有肥力水平。这种现象在常规种植的试验中可以看到[11, 12],在带田试验中则表现得更为突出。从表 2可以看出,施用有机肥虽然 4年都比对照区增产,但有机肥区 (M)产量的下降也非常明显。第 1年的带田产量为 8 232. 0 kg /hm^2,第 2, 3, 4年依次降低了 12. 0% , 56. 7%和 51. 4% .其中小麦产量分别下降了 22. 3% , 57. 6%和 55. 8% ;玉米产量第 2年未减,第 3, 4年分别下降了 55. 5%和 45. 3% .若将有机肥 (M)和全肥区的产量逐年加以比较,则可以更清楚地看出仅施用有机肥时土壤肥力下降的程度。

2. 2. 5 不同肥料对作物产量的贡献率 从表 3的资料可以看出,土壤肥力越高,土壤对带田产量的贡献率越大,反之亦然。如在不施任何肥料的情况下,土壤肥力急剧下降,土壤对带田作物产量的贡献率也在大幅度降低,第 1年为 69. 8% ,第 2, 3, 4年依次为 33. 1% , 21. 5%和 20. 8% .可见培肥土壤对保证带田高产的重要性。就不同作物而言,土壤对小麦产量的贡献率明显地大于玉米,前者依次为 85. 8% , 40. 3% , 41. 7%和 33. 0% ,而后者仅依次为 56. 5% , 28. 7% , 10. 5%和 15. 3% ,从另一个侧面说明玉米对肥料的依赖性大大超过小麦。

施足肥料是带田高产的重要物质保证。但在两大类肥料中,无机肥料的作用远大于有机肥料。在无机肥料中,氮肥的作用居于首位,对玉米的产量形成具有突出贡献。其次是磷

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

肥,再次为钾肥。在施用有机肥料的情况下,氮肥和钾肥的作用基本未受影响,磷肥的作用却大为减弱。这主要是有机肥料中含有较多的速效磷,加之肥料中的有机磷可迅速分解转化,改变了作物磷营养条件所致。

表 3　不同肥料对产量的贡献率　　%

贡献率	1991			1992			1993			1994		
	小麦	玉米	带田	小麦	玉米	带田	小麦	玉米	带田	小麦	玉米	带田
土　壤	85.8	56.5	69.8	40.3	28.7	33.1	41.7	10.5	21.5	33.0	15.3	20.8
无机肥	14.2	43.5	30.2	59.7	71.3	66.9	58.3	89.5	78.5	67.0	84.7	79.2
N	0.2	55.1	30.2	46.4	68.6	60.1	33.3	74.2	59.7	33.7	59.6	50.4
P	15.5	-8.7	2.3	14.5	-2.2	4.2	9.9	14.6	13.0	23.2	9.8	14.6
K	-1.5	-2.9	-2.3	-1.2	5.0	2.6	15.1	0.7	5.8	10.1	16.4	14.2
土　壤	80.1	50.6	63.6	44.0	25.2	31.4	46.0	8.8	19.7	32.6	15.3	21.7
有机肥	9.2	0.9	4.6	34.2	11.9	19.3	12.1	9.7	10.4	14.5	9.8	11.6
无机肥	10.7	48.5	31.8	21.8	62.9	49.3	41.9	81.5	69.9	52.8	74.9	66.7
N	0.6	55.2	31.0	26.3	59.1	48.2	41.1	71.3	62.4	44.5	80.9	67.4
P	11.3	-8.1	0.5	-13.6	-6.5	-8.9	-0.8	-7.9	-5.7	6.0	-21.0	-11.0
K	-1.2	1.4	0.3	9.2	10.3	-9.9	1.4	18.1	13.2	2.3	15.0	10.3

2.3　带田土壤的培肥途径

表 2资料表明,在 11个处理中, 4个全肥区处理的产量都处于最高水平,且相互之间无统计上的显著差异。加施秸秆和实行轮作均未能进一步提高产量,轮作区的总产量还低于带田连作区的总产量。但不可因此认为轮作不如连作。因为轮作区总产之所以较低,主要是第 2年单种小麦时产量比带田产量低 6718.5~ 6348.0 kg /hm^{2}造成的。而值得注意的是,由于单种小麦消耗养分较少,在后两季表现出了明显的恢复地力的作用,因而第 3年的玉米和第 4年的带田都获得了最高产量。可见在带田连作过程中适当插入轮作对保持和恢复地力仍是有益的。

施用肥料是土壤培肥的主要手段。在上述处理中虽然 NP、NPK、MN和 MNP几个处理都表现出一定培肥效果。但从长期保持和提高土壤肥力的角度来看,还是全面施肥为佳。也就是说,带田土壤培肥的主要途径应是有机肥料与无机肥料结合,无机肥料中以氮肥为主,氮、磷、钾平衡施用。只有当有机肥料施用量很大,且肥料中有效磷、钾含量很高时,才可以考虑适量减少磷肥用量和暂缓施用钾肥的问题。

3　结　论

小麦 /玉米带田是一种强化利用水、土、光、热资源的种植方式。在带田产量的构成中,玉米产量起着主导作用。但由于小麦根系对土壤养分的竞争能力大于玉米,导致玉米对肥料的依赖性特别大,土壤肥力下降或养分不足都会使玉米生长严重受阻,产量急剧降低。在施用的两大类肥料中,无机肥料是左右带田产量特别是玉米产量的主导因素,对产量的贡献率分别达到 31.8% ~ 69.9% 和 48.5% ~ 81.5%;而在无机肥料中,氮肥又是决定带田产量和玉米产量的主要因素,贡献率分别达到 30.2% ~ 60.1% 和 55.1% ~ 74.1%.说明培育土壤氮素肥力,即保证土壤有足够氮素贮备,是带田土壤培肥的中心内容。小麦对磷肥反应明显,玉米对钾肥反应明显,在首先保证施足氮肥的前提下,还必须平衡配施磷、钾

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://w

肥。因此带田土壤的培肥,必须实行有机肥与无机肥结合和以氮肥为主,氮、磷、钾平衡施用的原则。在有机肥施用量很大和肥料有效 P、K含量很高的情况下,可考虑适当降低磷肥用量和延缓钾肥的施用。

参 考 文 献

1 卢良恕.中国立体农业模式.郑州:河南科学技术出版社,1993:31~41;70~78

2 Francis C A. Multiple Cropping Systems. New York: Macmillan, 1986:57~81

3 Vandermeer J. The Eology of inter-cropping. Cambridge University Press, 1992:1~14

4 中国农林科学院.改革耕作制度,实行科学种田.1973:1~8;43~45

5 杨学荣.植物生理学.北京:人民教育出版社,1981:104

6 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

7 林 葆,林继雄,李家康.长期施肥的作物产量和土壤肥力变化.植物营养与肥料学报,1994,试刊(1):6~18

Soil Fertility Change and Fertility Improvement in Wheat/Maize Strip Intercropping

I. Effects of Fertility Change and Different Fertilizer on Crop Yields

Jin Shaoling[1] Li Long[1] Zhang Lihui[1] Ma Yongtai[2]
Suo Dongrang[2] Wu Guoqing[2] Wang Ping[2]

(1 *Institute of Soil and Fertilizer, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou*, 730070)

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

Abstract A fixed-site field experiment was conducted to study the effects of different fertilizers on soil fertility in wheat/maize strip intercropping and soil fertility improvement ways. The results showed that: ① when no fertilizer was applied, soil fertility in strip intercropping decreased rapidly and crop yields decreased greatly; ② the maize yield took 61.7% of strip intercrop yield, on average, with greater dependence on fertilizers comparing with wheat; ③ N fertilizer plays a decisive role to strip intercrop yields, especially to maize yields, whose contribution rates reached 55.2% ~ 80.9%; ④ The response of wheat to P fertilizer is greater that that of maize, but the response of maize to K fertilizer is greater; ⑤ Combination of organic with inorganic fertilizers, and equilibrium of N, P, and K fertilization with N as the pricipal are the basic to the soil fertility improvement in strip intercropping.

Key words strip intercropping, soil fertility, soil fertili tyimprovement, yield

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w