

河西农田养分投入产出平衡的长期定位研究

索东让, 韩顺斌

(甘肃省张掖市 农业科学研究所, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 通过长期定位试验和作物养分含量分析, 确定了河西地区小麦、玉米生产上测土配方施肥的可靠养分吸收参数, 系统研究了河西灌区农田主要养分投入产出状况。连续 24 a 研究表明, 长期连施化肥 (NP, NPK) 土壤氮素投入产出盈余率前期 (1982—1990 年) 为 8.6%~19.1%, 最高时期 (1997—2005 年) 的表观盈余率平均为 29.0%~48.5%, 扣除氮素损失后为负平衡; 磷素化肥投入始终为正平衡, 平均盈余率为 57.4%~68.3%。钾素化肥投入不抵作物携带量, 投入为负平衡, 平均盈余率为 -58.7%。说明连施化肥氮、钾养分投入不足。有机肥与化学肥料长期配合平衡施用 (MNP, MNPK), 氮素平均盈余率 56.3%~61.5%, 扣除氮素损失后为正平衡, 盈余率平均为 9.4%~10.9%; 磷素投入为正平衡, 平均盈余率高达 249.9%~265.7%; 钾素投入为负平衡, 平均亏缺 19.9%。有机肥连施钾素亏缺 45.0%。增施化学钾肥, 适量减少化学磷肥, 保持氮素化肥投入水平, 配施有机肥是科学的平衡施肥技术。

关键词: 肥料投入; 作物携带; 平衡值; 长期定位研究

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)03-0053-06

中图分类号: S158, S143

Long-term Location Study on the Balance of Nutrient Inputs and Outputs on Farmland of the Hexi Corridor

SUO Dong-rang, HAN Shun-bin

(Institute of Agricultural Sciences of Zhangye City, Zhangye Gansu 734000 China)

Abstract: The status of nutrient inputs and outputs on farmland of the Hexi corridor, Gansu Province was studied conclusively by a 24 year long-term location fertilizer experiment. Results showed that long-term continuous chemical fertilizer application made soil nitrogen (N) input-output change from a negative balance to a positive balance in the first period (1982—1990) and surplus rate was about 8.6%~19.1%. Apparent surplus rate was 29.0%~48.5% during the period with the largest balance value (1997—2005), but soil N input-output was in a negative balance after N loss was deducted. Phosphorus (P) fertilizer input-output was still in a positive balance and surplus rate was 57.4%~68.3%. Potassium (K) fertilizer input quantity was less than uptake quantity of crop, so K input-output was in a negative balance and averaged surplus rate was -58.7%. These indicated that N and K nutrient inputs were not enough by continuous chemical fertilizer application. The long-term combined application of chemical fertilizer and organic manure could make N and P input-output be in a positive balance and surplus rates of N and P were 56.3%~61.5% and 249.9%~265.7%, respectively. Even though N loss was deducted, N surplus was still 9.4%~10.9%. K input-output was in a negative balance and average deficiency was 19.9%. Under continuous organic manure treatment, K deficiency was 45.0%. Increasing K chemical fertilization, keeping N chemical fertilization level, and combining organic manure application are scientific balanced fertilizer application techniques.

Keywords: fertilizer input; uptake of crop; balance value; long-term location study

施肥是现代农业生产最主要的增产措施, 农田生态系统养分平衡对环境安全的影响是必须重视的问题。养分投入产出平衡状况从根本上决定着土壤肥

力的发展方向, 决定着农业持续发展的物质基础, 直接关系到环境质量和施肥效益, 过去我们一直注重作物增产效果, 不重视土壤肥力平衡和生态安全问题, 盲

目地偏施氮磷化肥, 钾肥投入不平衡, 有机肥用量减少, 造成施肥效益下降。农业持续发展要求我们必须重视养分循环和平衡研究, 改善土壤—作物系统内养分调控, 使其向人类需要的方向发展¹⁻⁴⁾。

我们在河西走廊绿洲灌溉地区设置了连续 24 a 的肥料长期定位试验, 利用积累的科学数据, 系统研究养分投入平衡状况为“沃土”工程和测土配方施肥提供了科学依据。

1 研究材料与方法

1.1 试验设计和方法

试验设在河西走廊中部的甘肃省张掖市农业科学研究所。供试土壤为灌漠土, 质地中壤, 中上等肥力水平。试验为裂区设计, 主处理为不施有机肥和施有机肥(M); 副处理为不施肥(CK)、单施氮素化肥(N)、氮磷化肥(NP)、氮磷钾化肥(NPK)。小区面积 33.3 m², 重复 3 次。区间筑造永久性地埂和灌水渠道。参试作物为春小麦、玉米, 以春小麦—春小麦—玉米 3 a 轮作制种植。春小麦施 N 素 120~180 kg/hm², 施 P 素 26.2~39.3 kg/hm²; 施 K 素 49.8~74.7 kg/hm², 均作基肥。玉米作物养分施入量分别为小麦作物 2 倍, 磷肥均作基肥, 氮肥、钾肥基施和深追施各半。有机肥为农肥, 各年度分析的养分含量平均值分别为有机质 32.2 g/kg, 全 N 2.07 g/kg, 全 P 1.179 g/kg, 速效 N 220.5 mg/kg, 速效 P 105.7 mg/kg, 速效 K 1 797 mg/kg。1982—1990 年每年 60 t/hm², 1991—2005 年每年施入 75 t/hm², 均作基肥。试验从 1982 年开始长期进行, 施肥水平, 作物品种、栽培技术与当地种植业发展水平同步, 田间管理与大田同类作物一致。

1.2 资料收集及整理

试验按小区人工操作, 每年作物成熟后按小区单收单脱, 分别计子粒产量和生物学产量, 成熟期按小区考察生物学及经济性状, 测定经济系数。每个轮作期分别按小区取小麦、玉米植物样分析作物子粒及秸秆中氮、磷、钾养分含量。本项研究共收集 1982—2005 年 8 个轮作周期资料进行分析。养分投入项为肥料施入量。产出项为作物地上部携带量。养分携带量=作物子粒产量×子粒养分含量+秸秆产量×秸秆养分含量。平衡值=养分投入量-作物携带量。盈余率%=(平衡值/作物携带量)×100%。

2 结果分析

2.1 不同施肥处理的氮磷钾养分携带量

养分携带量是指作物地上部携带走的养分量, 留在土壤中的根茬吸收量不计, 应归结于土壤残留。本

项研究田间种植作物为 3 a 轮作制, 除 1994—1996 年连续种植 3 a 小麦外, 其它轮作期均为 2 a 小麦或 1 a 玉米, 作物子实产量为实际测定结果, 秸秆产量由历年的经济系数平均值估算, 小麦经济系数为 0.35~0.44, 平均按 0.40 计, 玉米经济系数为 0.46~0.54 平均按 0.50 估算。作物产量和不同施肥处理有密切关系(表 1), 有机肥与化肥配合施用产量水平高于相应的化肥处理, 其中有机肥与氮磷钾或氮磷化肥(MNPK, MNP)长期配施产量居最高水平。化肥氮磷钾配合施用产量水平较高且相对稳定, 高于化肥养分单施 N 和缺素处理 NP。有机肥单施 M 和氮素单施产量水平较低是迅速下降的趋势。作物养分含量是计算携带量的重要参数, 我们每个轮作期按不同处理取 3 次重复小麦植株样品一次, 玉米植株样品一次, 按籽粒和秸秆两部分分别测定氮、磷、钾含量, 无论小麦、玉米, 籽粒或秸秆养分含量因施肥处理而不同, 作物籽粒氮、磷含量远远大于秸秆, 而作物秸秆钾素含量远远大于籽粒, 施氮处理含氮量均高于无氮处理, 施磷处理大于无磷处理, 施钾处理大于无钾处理。本项试验时间跨度达 8 个轮作周期, 养分含量形成了不同作物, 不同处理, 不同时期之间的较大差异^{1,3)}。

小麦籽粒氮(N)、磷(P)、钾(K)含量依次为 1.63%~2.72%, 0.130%~0.483%和 0.11%~0.50%。秸秆依次为 0.25%~0.87%, 0.033%~0.101%, 0.98%~3.66%。玉米籽粒氮、磷、钾含量依次为 0.93%~1.82%, 0.11%~0.64%和 0.20%~0.40%。秸秆含量依次为 0.24%~0.80%, 0.026%~0.098%, 0.92%~2.19%, 核计的 8 个轮作期的氮磷钾携带量见表 2—4。因不同施肥处理而不同, 养分总携带量变化顺序基本为 MNPK>MNP>MN>NPK>NP>M>N>CK。根据小麦作物、玉米作物总携带量和子粒总产量计算的 8 项施肥措施(CK, N, NP, NPK, M, MN, MNP, MNPK)生产 100 kg 小麦子粒吸收的氮素养分数量依次为 2.350 2, 2.749 7, 2.681 2, 2.641 3, 2.579 2, 3.233 0, 3.044 0, 3.194 1; 吸收的磷素养分数量按顺序依次为 0.368 1, 0.356 2, 0.426 0, 0.419 4, 0.510 3, 0.421 5, 0.504 4, 0.500 2; 吸收钾素数量依次为 2.221 8, 2.632 7, 3.143 9, 3.558 7, 4.087 9, 4.412 7, 3.906 5, 4.262 5。生产 100 kg 玉米籽粒吸收的氮素数量按顺序依次为 1.515 6, 2.177 5, 2.126 5, 2.306 6, 1.823 4, 2.236 2, 2.256 1 和 2.173 2; 吸收的磷素按顺序依次为 0.281 2, 0.253 4, 0.313 5, 0.338 7, 0.309 0, 0.335 0, 0.348 2, 0.380 3; 吸收的钾素分别依次为 1.910 0, 1.502 5, 1.500 3, 1.718 2, 1.910 1, 1.790 1, 1.855 6, 1.957 1。

这些措施中有机肥与氮磷化肥或氮磷钾化肥长期配合施用(MNP, MNPK)是河西走廊作物生产上推行的平衡施肥措施, 作物产量代表了该地区的生产水平, 生产 100 kg 小麦籽粒吸收氮、磷、钾养分量分

别平均为 3.119 1, 0.502 3 和 4.086 4; 生产 100 kg 玉米籽粒吸收的氮、磷、钾养分分别为 2.214 7, 0.364 3 和 1.906 4。这是河西地区小麦、玉米生产上测土配方施肥的可靠养分吸收参数。

表 1 田间试验各轮作期作物产量

kg/hm²

项目	CK	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
1982—1984 年	16 224	17 790	20 297	19 395	16 692	19 485	21 138	19 809
1985—1987 年	16 422	18 546	21 192	21 246	17 586	20 367	21 935	21 989
1988—1990 年	13 678	18 184	23 590	24 886	20 815	23 532	26 011	25 673
1991—1993 年	8 556	12 003	21 673	23 255	14 131	23 622	25 075	25 260
1994—1996 年	3 044	6 230	14 711	16 821	8 196	15 170	17 447	18 200
1997—1999 年	4 641	10 701	19 200	23 550	13 470	21 705	25 095	26 445
2000—2002 年	5 730	7 201	23 190	22 550	16 905	22 925	24 510	25 266
2003—2005 年	6 464	7 028	20 080	21 586	15 865	23 226	26 060	27 602
24 a 总产量	74 759	97 683	161 938	173 289	123 660	170 032	187 271	190 244
小麦产量	34 287	46 322	87 894	93 658	57 220	91 527	102 260	104 164
玉米产量	40 472	51 261	74 044	79 631	66 440	78 505	85 011	86 080

表 2 氮素投入产出平衡

kg/hm²

轮作期	项目	CK	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
1982—1984 年	投 N 量	0.0	480.0	480.0	480.0	372.0	852.0	852.0	852.0
	携 N 量	303.5	431.3	481.2	476.7	358.2	528.5	557.9	523.8
	平衡值	-303.5	48.7	-1.2	3.3	13.5	323.7	294.1	328.2
1985—1987 年	投 N 量	0.0	480.0	480.0	480.0	372.0	852.0	852.0	852.0
	携 N 量	301.3	449.6	509.3	524.3	374.7	551.6	577.7	586.6
	平衡值	-301.3	30.4	-29.3	-24.3	-2.7	300.4	274.3	265.4
1988—1990 年	投 N 量	0.0	480.0	480.0	480.0	372.0	852.0	852.0	852.0
	携 N 量	256.5	442	565.3	614.8	451.7	639.8	683.4	680.5
	平衡值	-256.5	38.0	-85.3	-134.8	-79.7	212.2	168.6	171.5
1991—1993 年	投 N 量	0.0	600.0	600.0	600.0	466.0	1 066.0	1 066.0	1 066.0
	携 N 量	161.5	349.7	526.3	577.8	310.1	652.8	669.9	686.6
	平衡值	-161.5	250.3	73.7	22.2	154.9	412.2	396.1	378.4
1994—1996 年	投 N 量	0.0	480.0	480.0	480.0	466.0	946.0	946.0	946.0
	携 N 量	71.3	139.0	394.6	444.3	211.3	490.4	531.1	581.3
	平衡值	-71.3	341.0	85.4	35.7	253.7	455.6	413.9	364.7
1997—1999 年	投 N 量	0.0	720.0	720.0	720.0	466.0	1 186.0	1 186.0	1 186.0
	携 N 量	94.5	237.2	460.6	578.1	290.9	586.6	660.1	703.2
	平衡值	-94.5	482.8	259.4	141.9	175.1	599.4	525.9	482.8
2000—2002 年	投 N 量	0.0	720.0	720.0	720.0	466.0	1 186.0	1 186.0	1 186.0
	携 N 量	110.7	173.0	504.3	557.7	349.1	622.8	649.6	679.8
	平衡值	-110.7	547.0	215.7	162.3	116.9	563.2	536.4	506.2
2003—2005 年	投 N 量	0.0	720.0	720.0	720.0	466.0	1 186.0	1 186.0	1 186.0
	携 N 量	119.9	168.1	489.4	536.9	341.0	642.3	701.0	755.5
	平衡值	-119.9	551.9	230.6	183.1	125.0	543.7	485.0	430.5
总施 N 量		0.0	4 680.0	4 680.0	4 680.0	3 446.0	8 126.0	8 126.0	8 126.0
总携 N 量		1 419.2	2 390.4	3 931.0	4 310.6	2 687.3	4 714.6	5 030.7	5 197.3
总平衡值		-1 419.2	2 289.6	749.0	369.4	758.7	3 111.4	3 095.3	2 928.7

表 3 磷素投入产出平衡

kg/hm²

轮作期	项目	CK	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
1982—1984 年	投 P 量	0.0	0.0	104.6	104.6	210.5	210.5	315.1	315.1
	携 P 量	52.3	52.5	73.9	72.7	65.6	73.3	89.6	86.9
	平衡值	-52.3	-52.5	30.7	30.9	144.9	137.2	225.5	228.2
1985—1987 年	投 P 量	0.0	0.0	104.6	104.6	210.5	210.5	315.1	315.1
	携 P 量	49.4	51.2	78.3	80.2	69.9	76.6	92.8	97.1
	平衡值	-49.4	-51.2	26.3	24.4	140.6	133.9	222.3	218.0
1988—1990 年	投 P 量	0.0	0.0	104.6	104.6	210.5	210.5	315.1	315.1
	携 P 量	44.3	54.0	86.8	94.1	83.0	88.7	109.7	112.8
	平衡值	-44.3	-54.0	17.8	10.5	127.5	121.8	205.4	202.3
1991—1993 年	投 P 量	0.0	0.0	130.8	130.8	263.3	263.3	394.1	394.1
	携 P 量	27.7	43.4	81.2	88.8	57.4	90.0	108.0	113.1
	平衡值	-27.7	-43.4	49.6	42.0	205.9	173.3	286.1	281.0
1994—1996 年	投 P 量	0.0	0.0	104.6	104.6	263.3	263.3	367.9	367.9
	携 P 量	11.2	21.7	60.6	70.5	41.8	63.9	88.0	85.4
	平衡值	-11.2	-21.7	44.0	34.1	221.5	199.4	280.3	282.9
1997—1999 年	投 P 量	0.0	0.0	157.0	157.0	263.3	263.3	420.3	420.3
	携 P 量	15.8	30.7	70.7	88.2	52.6	81.5	106.1	116.5
	平衡值	-15.8	-30.7	86.3	68.8	210.7	181.8	314.2	303.8
2000—2002 年	投 P 量	0.0	0.0	157.0	157.0	263.3	263.3	420.3	420.3
	携 P 量	18.8	21.0	79.4	85.4	64.6	86.4	104.5	112.3
	平衡值	-18.8	-21.0	77.6	71.6	198.7	176.9	315.8	308.0
2003—2005 年	投 P 量	0.0	0.0	157.0	157.0	263.3	263.3	420.3	420.3
	携 P 量	20.5	20.4	75.9	82.6	62.4	88.4	113.1	124.3
	平衡值	-20.5	-20.4	81.1	74.4	200.9	180.3	317.7	308.6
总施 P 量	0.0	0.0	1 020.2	1 020.2	1 948.0	1 948.0	2 968.6	2 968.6	
总携带量	240.0	294.9	606.4	648.3	497.3	648.8	811.8	848.4	
总平衡值	-240.0	-294.9	413.8	371.9	1 450.7	1 299.2	2 156.8	2 120.2	

表 4 钾素投入产出平衡

kg/hm²

轮作期	项目	CK	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
1982—1984 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	199.0	323.0	323.0	323.0	522.0
	携 K 量	331.6	351.8	455.6	494.4	491.9	580.6	603.0	598.6
	平衡值	-331.6	-351.8	-455.6	-295.5	-168.9	-257.6	-280.0	-76.6
1985—1987 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	199.0	323.0	323.0	323.0	522.0
	携 K 量	333.4	342.2	486.4	553.2	509.2	606.2	612.4	676.3
	平衡值	-333.4	-342.2	-486.4	-354.2	-186.2	-283.2	-289.4	-154.3
1988—1990 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	199.0	323.0	323.0	323.0	522.0
	携 K 量	279.8	362.2	534.6	615.3	586.9	706.8	734.0	779.4
	平衡值	-279.8	-362.2	-534.6	-452.3	-263.9	-383.8	-411.0	-257.4
1991—1993 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	249.0	404.0	404.0	404.0	653.0
	携 K 量	175.4	299.4	513.8	626.8	436.4	736.2	676.9	805.3
	平衡值	-175.4	-299.4	-513.8	-377.8	-32.4	-332.2	-272.9	-152.3
1994—1996 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	199.0	404.0	404.0	404.0	603.0
	携 K 量	67.6	160.6	462.5	598.7	348.0	652.9	681.5	755.9
	平衡值	-67.6	-160.6	-462.5	-399.7	56.0	-248.9	-277.5	-172.9
1997—1999 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	299.0	404.0	404.0	404.0	703.0
	携 K 量	97.8	200.7	437.6	596.2	401.8	642.8	645.8	806.8
	平衡值	-97.8	-200.7	-437.6	-297.2	2.2	-238.9	-241.8	-103.8
2000—2002 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	299.0	404.0	404.0	404.0	703.0
	携 K 量	118.4	138.8	496.8	593.8	456.1	687.4	706.4	789.9
	平衡值	-118.4	-138.8	-496.8	-294.8	-52.1	-283.4	-302.4	-86.9
2003—2005 年	投 K 量	0.0	0.0	0.0	299.0	404.0	404.0	404.0	703.0
	携 K 量	130.8	134.0	518.4	586.8	377.9	725.1	777.8	922.5
	平衡值	-130.8	-134.0	-518.4	-287.8	26.1	-321.1	-373.8	-219.5
总施 K 量	0.0	0.0	0.0	1 942.0	2 989.0	2 989.0	2 989.0	4 931.0	
总携 K 量	1 534.5	1 989.7	3 905.7	4 701.2	3 607.9	5 338.1	5 437.8	6 154.7	
总平衡值	-1 534.5	-1 989.7	-3 905.7	-2 759.2	-618.9	-2 349.1	-2 448.8	-1 223.7	

2.2 农田氮素投产平衡状况

氮素投入产出项只计算有机肥、化肥施入量和作物携带量, 化学氮肥按速效 N 计, 有机肥按全 N 计。氮素平衡状况因不同施肥方针而异, 氮素化肥平衡连施(NP, NPK)总平衡值为正平衡, 平均盈余率(平衡值占携带量比率)为 8.6%~19.1%, 有机肥单施平均为 28.2%; 有机肥与化肥平衡配施(MNP, MN-PK)盈余率平均为 56.4%~61.5%。

从平衡变化动态来看, 前期(1982—1990年)氮素平衡值较小, 其中化学氮肥处理(NP, NPK)和有机肥单施(M)投入不抵作物携带量出现赤字, 化学氮肥处理盈余率由-0.25%~0.7%向-15.1%~-21.9%逐步降低; 有机肥单施盈余率由3.8%下降到-17.8%。说明化肥和有机肥分别施用氮素亏缺是逐步扩大的趋势。化肥和有机肥结合施用氮素投入量是二者分别施用量之和, 氮素投入产出为正平衡, 但平衡值是减少的趋势, 盈余率由第1轮作期的53.3%~62.7%逐步降低到24.7%~33.2%。它主要是作物产量不断提高, 携带量增加的因素所致。此阶段化肥连施氮素投入量偏低不能保持土壤养分收支平衡。也影响作物增产之需要^[5, 11]。

1991—2005年这一时期, 化肥、有机肥投入量经过了两次提高, 氮素的投入产出为正平衡状态, 而且平衡值呈逐渐增加的趋势。但是不同施肥处理平衡状况有较大的差别, 化学氮肥处理(NP, NPK)的平衡值较低且增幅较小, 盈余率由3.8%~14.0%提高了到34.1%~47.1%。

有机肥单施平衡值不稳定, 盈余率是降低的趋势。化肥与有机肥结合施用氮素携带量和平衡值较高, 盈余率由1991—1993年的55.1%~63.1%提高到57.0%~84.7%。这种变化动态对土壤氮素肥力的提高是非常有利的, 从表5中土壤养分含量变化情况看, 有机肥与化学氮肥配施土壤全N含量大于相应化肥处理, 化肥处理对土壤全N影响大于无氮处理, 变化规律与氮素平衡值变化有一致的趋势。氮素化肥长期单施(N)总盈余率达95.6%, 高的氮素盈

余率会对生态环境造成极大的影响, 这种方式是不可取的。

施入土壤的氮素除作物吸收携带外, 盈余的氮素并非完全残留在土壤中, 有一部分通过淋失, 挥发而损失, 尤其引起注意的是氮素化肥长期单施作物产量逐步降低, 携带量减少, 表观平衡值偏高会引起生态安全问题, 这种不合理的施肥方法不是科学的。氮素化肥与磷钾化肥平衡施用, 化肥与有机肥平衡施用, 作物携带量、土壤残留量、氮素损失量都与投入量有密切关系。

据金绍龄, 毛端明、李仲林等人在同类地区水浇地上研究, 种植小麦、玉米氮素化肥尿素深基施, 深追施损失率20.0%~47.0%, 平均33.3%。本研究化学氮肥连施总盈余率为8.6%~19.1%, 扣除损失量后为负平衡。我国氮素研究证明, 有机肥与化肥配合施用, 氮的损失率大致等于二者分别单施代数和, 并无明显地交互作用。同时证明厩肥氮素损失率24.0%~28.0%, 平均26.0%^[2]。

本研究化肥与有机肥配合施用氮素总平衡值为2 928.7~3 095.3 kg/hm², 扣除化肥氮损失1 544.4 kg/hm², 有机肥氮素损失896.0 kg/hm²后实际平衡值为488.6~654.9 kg/hm², 盈余率9.4%~10.9%。1997—2005年是肥料平衡施用量最高阶段, 每个轮作期化学氮肥投入量720 kg/hm², 按33.3%损失率估计, 化肥氮素损失率237.6 kg/hm², 化肥养分配合施用(NP, NPK)处理, 扣除损失后氮素实际为负平衡, 平均亏缺0.5%~17.7%, 表明化学氮肥投入量不能保持土壤氮素库平衡。

有机肥与化肥氮素平衡配施处理(MNP, MN-PK)氮素平衡值平均为473.2~515.8 kg/hm², 扣除化肥氮素损失(237.6 kg)和有机肥氮素损失(121.2 kg/hm²), 实际平衡值平均为114.4~157.0 kg/hm², 盈余率平均为16.1%~23.4%。说明有机肥与化肥氮素配合施用氮素实际为正平衡, 但盈余率并不高。证明有机肥和氮素化肥现有投入量能保持氮素收支平衡, 达到增产培肥的目的。

表5 长期施用不同肥料土壤养分含量测定(2000年)

项目	CK	N	NP	NPK	M	MN	MNP	MNPK
全 N/(g·kg ⁻¹)	0.800	0.900	1.010	1.290	1.510	1.550	1.280	1.410
全 P/(g·kg ⁻¹)	0.780	0.690	0.813	0.830	0.830	0.874	0.874	0.900
速效 N/(mg·kg ⁻¹)	54.000	99.400	64.000	71.400	107.000	109.000	94.000	98.000
速效 P/(mg·kg ⁻¹)	3.500	4.200	15.000	15.000	41.000	39.000	45.000	46.000
速效 K/(mg·kg ⁻¹)	100.000	110.000	70.000	114.000	190.000	230.000	160.000	240.000

2.3 农田磷素养分平衡状况

磷素养分投入项化肥按速效 P 计, 有机肥按全 P 计。农田磷素投入量始终大于作物携带量, 土壤库收支为正平衡, 平衡值因投入量增加而提高, 因吸收支出量提高而下降。有机肥与化学磷肥配合施用(MNP, MNPK)平衡值和盈余率(平衡值占携带量的比率)始终大于化肥处理, 化肥磷素处理(NP, NPK)均较低。化肥磷素长期施用(NP, NPK)平均盈余率为 57.4%~68.3%。前期(1982—1990 年)平衡值较低, 而且是逐步下降的趋势, 盈余率由 40.0%递减到 11.0%~20.0%。1991—2005 年磷肥投入量经过两次提高, 化肥磷素处理盈余率在 47.0%~61.0%至 90.1%~106.9%的范围内呈非线性增长的动态。表明后期化学磷肥投入量偏高。有机肥磷连施土壤磷素收支为正平衡, 随着投入量的增加作物产量及磷携带量不稳定的减少, 盈余率由 192.0%提高到 204.0%, 但有机肥单施是不科学的施肥方式, 作物产量水平受到限制, 平衡值不稳定。有机肥与化学磷肥配合施用(MNP, MNPK)磷素投入量是二者分别施用之和, 作物产量及磷携带量, 平衡值及盈余率始终大于同期化肥处理, 平均盈余率 249.9%~265.6%。1982—1990 年投入量较低, 随着作物产量及磷携带量提高, 盈余率在较高幅度的前提下呈递减趋势, 由 252.0%~263.0%递减为 180.0%~187.0%; 1991—2005 年这一时期投入量经过两次提高, 平衡值提高了一个台阶, 盈余率提高到 248.2%~302.0%, 表明有机肥与化学磷肥配施磷素养分投入量偏大。

这个结果告诉我们在充分利用有机肥基础上适量减少化学磷肥投入量是保持土壤磷素养分平衡, 保护生态环境, 节约资源的科学之举。农田磷素投入正平衡对土壤含磷量产生正向效应, 土壤磷素养分变化(表 5)与磷素平衡状况有相同趋势, 化学磷素能提高土壤含磷量但影响较小。有机肥与化学磷肥配施对土壤含磷量影响最显著, 是培养土壤磷素肥力的有效的措施。

2.4 农田钾素平衡状况

河西地区农田钾素投入量始终小于作物携带量, 土壤钾素库长期处于负平衡状态, 亏缺程度与施钾途径有密切关系^[7]。本地区长期以来一直依赖有机肥归还土壤钾素, 连施有机肥(MNP)投入的钾素不抵作物携带量, 平均亏缺率达 45.0%, 连续 24 a 消耗土壤母质钾素 2 448.8 kg/hm², 年均消耗 102.0 kg/hm²。本项研究设计的化学钾素投入量为每年 49.8

~149.4 kg/hm², 亏缺率为 49.1%~69.5%, 平均亏缺 58.7%, 平均每年消耗母质钾素 115.0 kg/hm²。有机肥与化学钾肥配合施用(MNPK)投入钾素是二者分别施用之和, 亏缺率迅速减少为 19.6%, 这个结果表明在传统的施用有机肥基础上增施化学钾肥且提高投入量才能保持土壤钾素平衡和持续增产效应。因有机肥资源不足, 当地约 30%左右的农田长期不施有机肥和任何钾肥, 完全依靠土壤钾素增产, 年均消耗土壤母质钾素 162.7 kg/hm², 应引起充分的重视。增施钾肥对土壤速效钾有直接影响, 有机肥与化学钾肥配合施用农田钾素相对平衡, 但投入的速效钾能补充速效钾库, 保持和提高土壤速效钾含量。

3 讨论

农田养分平衡是受人为调控的具有时间变量的动态过程, 只有不断从土壤—作物系统之外输入养分来补偿作物消耗的养分, 同时考虑作物吸收途径之外的耗损, 使输入量等于甚至大于输出量才能维持养分平衡。因此养分投入产出平衡状况决定着土壤持续供肥力的发展方向^[8]。连续 24 a 的试验进程中随着作物产量提高, 养分携带量的不断增加, 肥料投入量也在不断调整。使投入产出向相对平衡的方向发展。化肥为 3 个投入量阶段, 有机肥为两个投入量阶段。养分投入量增加的同时作物携带量及平衡值均是不断提高的过程。

氮素养分投入产出有正平衡, 也有负平衡; 化学氮肥长期连施前期(1982—1990 年)为负平衡。中、后期为正平衡, 表观平衡值是增加的趋势, 1997—2005 年投入最高时氮素盈余率 29.1%~48.5%, 但氮素投入量小于作物携带量和损失量之和, 农田氮素实际为负平衡, 平均亏缺 0.5%~17.7%。氮素化肥与有机肥配合施用(MNP, MNPK)氮素投入产出始终为正平衡, 平均盈余率为 56.4%~61.5%, 扣除氮肥损失后盈余率为 9.4%~10.9%, 实际盈余率并不高。1997—2005 年平衡值最高, 盈余率平均达 66.4%~88.9%, 扣除氮素损失后实际理论盈余率 16.1%~23.4%, 说明有机肥与化学氮肥结合施用土壤氮素库能保持相对平衡, 略有盈余, 这对保持和提高持续供 N 能力是有利的。

农田磷素养分投入产出始终为正平衡, 化学磷肥连施平均盈余率为 57.4%~68.2%; 化学磷肥与有机肥配合施用平均盈余率 250.0%~265.7%, 表明磷素投入量偏高, 应在有机肥基础上适量减少化学磷肥用量比较科学。

(下转第 76 页)

[参 考 文 献]

- [1] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义 [J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(3): 278—283.
- [2] 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 93—95.
- [3] Giancarlo G B, Nicholas M I. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland [J]. Nature, 1999, 397: 515—517.
- [4] 赵强, 王乃昂, 程弘毅, 等. 青土湖沉积物粒度特征及其古环境意义 [J]. 干旱区地理, 2003, 26(1): 1—5.
- [5] 史兴民, 李有利, 杨景春, 等. 新疆玛纳斯河蘑菇湖沉积物的粒度特征与环境意义 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(3): 99—104.
- [6] 王国平, 刘景双, 汤洁. 半干旱区沼泽沉积物粒度特征及环境意义 [J]. 干旱区研究, 2003, 20(3): 211—216.
- [7] 王建力, 李吉均, 方小敏, 等. 临夏盆地三千万年来沉积物粒度特征及其构造意义 [J]. 地理研究, 1998, 17(1): 39—47.
- [8] 赵景波, 周晓红. 咸阳市近代渭河洪水演变研究 [J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2005, 33(2): 103—109.
- [9] 赵景波, 李胜利. 西安高陵距今 1400—1100 年间渭河洪水演变研究 [J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2004, 32(4): 103—107.
- [10] 史兴民. 全新世古洪水研究进展 [J], 水文, 2007(3): 24—27.
- [11] 赵景波, 蔡晓薇, 王长燕. 西安高陵渭河近 120 年来的洪水演变 [J], 地理科学, 2007, 27(2): 225—230.
- [12] 中国大百科全书《化工》编辑委员会. 中国大百科全书: 化工 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1987: 607—608.
- [13] 桑广书. 秦末以来秦都咸阳地貌演变 [J], 地理科学, 2005, 25(6): 709—715.
- [14] 徐馨, 曹琼英, 王雪瑜, 等. 第四纪环境研究方法 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1992: 74—94.
- [15] 李胜利, 赵景波. 渭河西安高陵耿镇历史时期古洪水研究 [J], 中国沙漠, 2007, 27(3): 379—383.

(上接第 58 页)

农田钾素一直是负平衡状态, 化学钾肥(NPK)、有机肥钾素(MNP)分别连施亏缺率较大, 平均为 58.7%和 45.0%, 二者配合施用投入钾素是分别施用之和, 亏缺率平均为 19.6%。说明有机肥与化学钾肥配施是平衡土壤钾素的必须措施, 应该引起足够重视^[9]。

4 结论

连续 24 a 试验研究证明, 生产 100 kg 小麦籽粒需吸收氮(N)3.119 1、磷素(P)0.502 3、钾素(K)4.086 4; 生产 100 kg 玉米籽粒吸收氮(N)2.214 7; 磷素(P)0.3643、钾素(K)1.906 4。长期连施化肥或单施有机肥是不科学的施肥技术。氮素、钾素投入量不抵作物携带量和损失量之和, 土壤氮、钾养分收支为负平衡, 磷素收支虽为正平衡, 但盈余率较低。

传统的“有机肥+氮、磷化肥”的施肥模式不适应现代作物生产, “有机肥+氮、磷、钾化肥”为平衡施肥的科学结构。充分施用有机肥, 增施化学钾肥, 适量减少化学磷肥用量, 保持氮素化肥现行投入量, 就实现了有机无机平衡, 氮磷钾平衡, 投入产出平衡。

[参 考 文 献]

- [1] 鲁如坤. 土壤—植物营养学原理和施肥 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [2] 沈善敏. 中国土壤肥力 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [3] 黄绍文, 金继运, 左余宝, 等. 农田养分平衡状况及其评价的试点研究 [J]. 土壤肥料, 2002(6): 14—19.
- [4] 赵振达, 张金盛, 任顺荣, 等. 津郊旱地土壤氮素平衡 [C] // 中国农科院土壤肥料研究所. 国际平衡施肥学术讨论会论文集. 北京: 农业出版社, 1983: 62—68.
- [5] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992: 213—249.
- [6] 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值 [J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 1—9.
- [7] 索东让, 王平. 河西走廊灌漠土主要粮食作物钾吸收效率及钾平衡定位研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(4): 6—10.
- [8] 中国农科院农业自然资源和区划研究所. 中国耕地 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 95—118.
- [9] 高祥照, 马文奇, 崔勇, 等. 我国耕地土壤养分变化与肥料投入状况 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 364—369.