

秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响*

劳秀荣 孙伟红 王 真 郝艳如 张昌爱

(山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018)

摘 要 以山东省齐河县低肥力潮土为供试土壤, 15 年盆栽土培定位试验结果表明, 长期秸秆还田并配施适量的化肥, 是培肥地力, 提高产量的有效措施之一。在秸秆还田量分别为 2 250、4 500、6 750 kg hm^{-2} 范围内, 土壤有机质积累量, 速效氮磷钾的生物有效性, 脲酶活性强度等指标与秸秆还田量呈极显著正相关, 并与气候、作物生长季节、土壤质地等因素有关。

关键词 秸秆还田, 土壤肥力

中图分类号 S147. 2

农作物的秸秆既含有相当数量的作物必需的碳、氮、磷、钾等营养元素, 又具有改善土壤的理化性状和生物学性状、提高土壤肥力, 增加作物产量等作用^[1], 所以它是重要的有机肥源之一。我国是农作物秸秆资源十分丰富的国家, 可就地取材、直接还田, 省工省本, 简便易行^[2]。利用秸秆还田, 既可充分利用秸秆资源, 减轻焚烧秸秆对生态环境的负面影响, 又是发展有机可持续农业不可替代的有效途径^[3]。有关秸秆还田技术的资料较多^[4], 但秸秆还田与化肥配施的增产效应报道较少^[5]。为此, 我们于 1984 年开始, 利用长期定位试验, 研究秸秆还田与化肥配施的生物学效应, 为合理利用秸秆资源, 培肥地力提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

1.1.1 供试土壤 采自山东省齐河县华店乡和焦斌乡两地的潮土, 系山东省分布面积最大的四大土类之一。土壤质地: 华店土为中壤土, 焦斌土为砂壤土。

1.1.2 定位试验 在山东农业大学网室, 采用盆栽土培。盆面积为 0.196 m^2 , 每盆装土 80 kg。于 1984 年 10 月至 1999 年 9 月, 秸秆直接还田与化肥氮磷配施。玉米-小麦轮作体系, 一年两熟。玉米为农大 108, 小麦为鲁麦 22。每年在种麦前将粉碎玉米秸秆与氮磷肥作基肥一次施入, 不施任何钾肥。

1.1.3 试验方案 试验设计 6 个处理, 3 次重复, 随机排列, 试验方案示于表 1。

1.2 测定项目与方法

1999 年小麦返青至夏玉米成熟期于 3 月 1 日、4 月 26 日、6 月 2 日、6 月 22 日、8 月 24 日分 5 次取样, 采集 0~20 cm 耕层土壤, 速效氮、磷、钾、有机质均用常规分析法测定, 脲酶活性(NH_4^+-N mg kg^{-1}) 的测定方法参见文献[6]。

2 结果与分析

2.1 长期秸秆还田与化肥配施对土壤氮、磷、钾养分生物有效性的影响

2.1.1 秸秆与化肥配施对土壤速效氮的影响 将 1999 年 5 次取样各处理土壤速效氮示于表 2。由表 2 看出: 在化肥用量相同的条件下, 随秸秆还田量的增加, 中壤土速效氮逐渐增加, 两者之间呈正相关。在秸秆还田量或化肥用量相同的情况下, 秸秆与化肥配施($\text{N}_1\text{P}_1\text{M}_2$) 能显著提高土壤速效氮含量是单施化肥($\text{N}_1\text{P}_1\text{M}_0$) N_1P_1 的 1.4 倍, 是单施秸秆(M_2) 的 1.27 倍。不论是单施化肥($\text{N}_1\text{P}_1\text{M}_0$) 还是单施秸秆

* 山东省科委薄地培肥资助项目

收稿日期: 2001-11-30; 收到修改稿日期: 2003-03-10

表 1 秸秆还田长期定位试验方案

Table 1 Scheme of long-term pot experiment(1984~1999)

土壤质地 Soil texture	处理 编号 No	处理代码 Code of treatment	化肥与秸秆还田量 Amount of straw and fertilizer(kg hm ⁻²)
中壤土 * (华店)	1	N ₀ P ₀ M ₀	0 + 0
	2	M ₂	0 + 秸秆 4 500
	3	N ₁ P ₁ M ₀	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 0
	4	N ₁ P ₁ M ₁	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 秸秆 2 250
	5	N ₁ P ₁ M ₂	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 秸秆 4 500
	6	N ₁ P ₁ M ₃	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 秸秆 6 750
砂壤土 (焦斌)	1	N ₀ P ₀ M ₀	0 + 0
	2	M ₂	0 + 秸秆 4 500
	3	N ₁ P ₁ M ₀	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 0
	4	N ₁ P ₁ M ₁	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 秸秆 2 250
	5	N ₁ P ₁ M ₂	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 秸秆 4 500
	6	N ₁ P ₁ M ₃	N ₁₆₅ P ₁₂₀ + 秸秆 6 750

注: 氮肥用尿素, 磷肥用过磷酸钙。N₁₆₅表示年施纯N 165 kg hm⁻², P₁₂₀表示年施 P₂O₅ 120 kg hm⁻²; M₀、M₁、M₂、M₃表示每年玉米秸秆还田量分别为 0、2 250、4 500、6 750 kg hm⁻²

表 2 秸秆还田对土壤速效氮的影响

Table 2 Effect of returning straw to soil on rapidly available N(mg kg⁻¹)

取样时间 (月-日) Time of sampling (month-day)	中壤土(华店) Medium loam soil (Hua dian)						砂壤土(焦斌) Sandy loam soil (Jiao bin)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
03-01	50.3	71.0	57.7	73.0	88.8	115.2	46.2	59.2	48.2	67.2	68.5	72.0
04-26	74.5	76.9	68.8	85.6	103.1	116.9	55.9	67.0	56.3	76.6	86.6	99.4
06-02	90.0	119.0	107.0	135.9	159.9	181.1	82.7	100.6	89.9	110.1	116.2	133.6
06-22	49.2	77.8	86.6	70.8	100.2	109.1	45.6	65.8	51.6	62.0	77.8	91.7
08-24	72.0	94.3	76.9	96.8	106.8	120.6	55.5	78.9	63.4	85.1	93.7	103.7
平均	67.2	87.8	79.4	92.4	111.8	128.6	57.2	74.3	61.9	80.2	88.6	100.1

(M₂)均不如两者配施,而且三者均明显优于对照(N₀P₀M₀)。两种质地土壤各处理的结果有类似的趋势,即: N₁P₁M₃> N₁P₁M₂> N₁P₁M₁> M₂> N₁P₁M₀> N₀P₀M₀。

为进一步说明秸秆还田量与土壤速效氮的关系,对秸秆还田量(处理 N₁P₁M₀、N₁P₁M₁、N₁P₁M₂、N₁P₁M₃)与速效氮含量进行回归分析得方程: $y = 15.006x - 1053.9$, $r = 0.9974^{**}$ ($r_{0.05} = 0.95$, $r_{0.01} = 0.990$)。回归分析结果说明了秸秆还田量与土壤速效氮呈极显著正相关。

将同一处理不同生长季节两种土壤速效氮进行比较。土壤速效氮随作物生长季节及气候的变化而有规律性的变化,且两种土壤各处理变化规律完全相似,即年速效氮变化动态与采样时的土温、作物种类及生育期密切相关。同一处理中均以6月2日土壤速效氮含量为最高,此期正是小麦收获期,由于小

麦根氮外溢所致,而使土壤速效氮普遍偏高。6月22日各处理土壤速效氮均是最低,此期是玉米3~5叶期,玉米根吸氮能力强,又因土温高,土壤脲酶活性低,而使根际土壤氮亏缺。

综上所述,两种不同质地土壤秸秆还田与化肥配施的增氮效应是一致的。同时表明中壤土保氮能力高于砂壤土。

2.1.2 秸秆还田与化肥配施对土壤速效磷的影响 1999年土壤速效磷测定值示于表3。两种质地土壤各处理速效磷存有共同的规律;即 $N_1P_1M_3 > N_1P_1M_2 > N_1P_1M_1 > N_1P_1M_0 > M_2 > N_0P_0M_0$ 。秸秆还田量与速效磷呈正相关,经回归分析得方程: $y = 0.0866x + 85.08$, $r = 0.9877^{**}$,说明两者呈极显著正相关。中壤土单施N、P肥与单施秸秆相比,N、P肥对土壤的增磷效果优于秸秆,但不如N、P与秸秆配施增磷效果好。试验结果还表明,长期不施任何肥料($N_0P_0M_0$),光靠作物残留根茬归还土壤磷,土壤速效磷会趋于耗竭^[7]。

在小麦和玉米生长时期,两种土壤速效磷季节性变化动态,除 $N_0P_0M_0$ 和 M_2 速效磷季节变化较平缓外,其它各处理速效磷季节变化趋势类似,即6月2日普遍偏高,6月22日普遍偏低,与速效氮季节变化动态有些相似。

表3 秸秆还田对土壤速效磷的影响

Table 3 Effect of returning straw to soil on Olsen-P ($mg\ kg^{-1}$)

取样时间(月·日) Time of sampling (month·day)	中壤土(华店) Medium loam soil (Hua dian)						砂壤土(焦斌) Sandy loam soil (Jiao bin)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	03-01	2.0	10.0	80.0	90.0	140.0	192.0	2.0	3.0	50.0	98.0	110.0
04-26	2.3	34.0	105.0	123.0	136.0	168.3	2.0	14.0	51.3	96.0	124.0	154.0
06-02	11.0	17.7	79.9	131.0	152.0	178.7	7.7	23.0	81.7	97.0	130.0	160.0
06-22	8.0	11.3	71.4	70.8	72.3	100.4	1.5	8.8	68.8	72.0	83.8	90.3
08-24	11.0	14.0	91.0	118.0	140.0	159.0	11.0	11.0	91.0	95.0	100.0	145.0
平均	6.9	17.4	85.5	106.6	128.1	159.7	4.8	12.0	68.6	91.6	109.6	143.9

2.1.3 秸秆还田与化肥配施对土壤速效钾的影响 秸秆还田与化肥配施15年定位盆栽试验,土壤速效钾测定结果示于表4。两种质地土壤速效钾与秸秆还田量及化肥配施的增钾效应完全相同,即: $N_1P_1M_3 > N_1P_1M_2 > N_1P_1M_1 > M_2 > N_1P_1M_0 > N_0P_0M_0$ 。在N、P化肥用量完全相同的情况下,土壤速效钾与秸秆还田量呈正比,经回归分析 $r = 0.9961^{**}$,两者呈极显著正相关。单施秸秆的增钾效应明显好于单施N、P肥及对照,但明显不如两者配合施用。在不施用任何化学钾肥的条件下,通过秸秆还田也能有效地缓解土壤速效钾亏损和维持钾平衡。

表4 秸秆还田对土壤速效钾的影响

Table 4 Effect of returning straw to soil on NH_4Ae -extractable K of soil ($mg\ kg^{-1}$)

取样时间(月·日) Time of sampling (month·day)	中壤土 Medium loam soil						砂壤土 Sandy loam soil					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	03-01	90	150	147	159	298	338	60	101	88	113	133
04-26	97	152	141	152	202	294	55	107	95	122	115	156
06-02	86	161	151	189	237	320	43	105	101	145	152	172
06-22	84	110	100	135	149	260	56	98	84	123	114	127
08-24	80	114	105	187	202	282	62	115	102	115	146	181
平均	87	137	129	164	220	299	55	105	94	125	132	158

由表 4 可以看出两种质地土壤各处理速效钾季节变化动态规律也大致相同, 即 6 月 2 日最高, 6 月 22 日最低。与速效氮、磷季节变化动态相类似。

2.2 秸秆还田与化肥配施对土壤有机质的影响

有机质是土壤供肥特性的一项重要指标^[8]。连续 15 年秸秆还田与化肥配施盆栽定位试验的土壤有机质含量示于表 5。两种质地土壤有机质积累量有类似的规律性, 即 $N_1P_1M_3 > N_1P_1M_2 > N_1P_1M_1 > M_2 > N_1P_1M_0 > N_0P_0M_0$ 。在同一时期内 N、P 用量相同时, 秸秆还田量与有机质积累量呈极显著正相关, 回归方程为 $y = 0.0008x + 1.028, r = 0.9983^{**}$ 。秸秆与 N、P 配施更有利于有机质积累, 单施秸秆优于 N、P, 更优于 $N_0P_0M_0$ 。说明秸秆还田配施适量化肥是增加土壤有机质最有效的措施之一。单施 N、P 肥也能增加有机质含量, 可能是因为提高作物产量的同时, 使土壤中根茬存留量也随之增加的结果。

表 5 秸秆还田对土壤有机质积累的影响

Table 5 Effect of returning straw to soil on O. M. accumulation(mg kg⁻¹)

取样时间(月·日) Time of sampling (month·day)	中壤土 Medium loam soil						砂壤土 Sandy loam soil					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	03-01	7.9	11.7	8.8	12.0	14.8	16.4	7.8	9.8	5.6	9.7	10.6
04-26	9.5	12.2	11.0	14.3	15.6	18.3	7.3	10.8	7.1	10.8	12.2	14.5
06-02	10.1	14.2	1.04	12.1	17.6	20.9	7.2	10.4	8.2	11.0	12.1	13.6
06-22	9.1	10.6	10.5	12.6	13.4	15.4	5.6	8.5	8.8	10.5	10.9	12.9
08-24	8.1	14.6	9.6	13.2	17.3	21.5	7.6	11.1	8.6	10.7	11.9	14.5
平均	8.9	12.7	10.1	12.8	15.7	18.5	7.1	10.1	7.7	10.5	11.5	14.0

在一年中两种质地的土壤, 其有机质季节积累动态也完全相似, 即 6 月 2 日最高, 6 月 22 日最低, 与土壤养分生物有效性的变化规律基本一致。

2.3 秸秆还田与化肥配施对土壤脲酶活性的影响

土壤酶活性也是衡量土壤肥力高低的可靠的生物学指标之一。土壤中所有的生物化学反应主要取决于微生物酶的活性^[2]。15 年连续秸秆还田与化肥配施定位试验, 土壤脲酶活性测定结果示于表 6。两种质地土壤脲酶活性强度变化趋势是 $N_1P_1M_3 > N_1P_1M_2 > N_1P_1M_1 > M_2 > N_1P_1M_0 > N_0P_0M_0$ 。在 N、P 肥用量相同的各处理中, 秸秆还田量与土壤脲酶活性呈极显著正相关, $y = 1301.9x - 682.64, r = 0.9990^{**}$ 。因此, 秸秆与化肥配施提高酶活性强度均优于单施秸秆, 更优于单施 N、P 肥。对土壤脲酶活性与速效氮、

表 6 秸秆还田对土壤脲酶活性的影响

Table 6 Effect of returning straw to soil on activity of soil urease(NH₄⁺-N mg kg⁻¹)

取样时间(月·日) Time of sampling (month·day)	中壤土 Medium loam soil						砂壤土 Sandy loam soil					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	03-01	0.08	0.37	0.39	0.30	0.67	0.68	0.01	0.30	0.19	0.23	0.23
04-26	0.10	0.81	0.45	0.96	1.02	1.48	0.01	0.40	0.30	0.50	0.65	0.87
06-02	0.34	1.03	0.91	1.73	1.94	2.50	0.01	0.82	0.70	1.50	1.54	1.60
06-22	0.10	0.33	0.30	0.38	0.42	0.71	0.00	0.29	0.27	0.30	0.34	0.64
08-24	0.14	0.45	0.40	0.58	0.62	0.68	0.00	0.41	0.37	0.55	0.56	0.57
平均	0.15	0.60	0.49	0.79	0.93	1.21	0.01	0.44	0.37	0.62	0.66	0.79

有机质之间进行回归分析,得方程和 r 值: $y = 72.573x + 39.894$, $r = 0.9983^{**}$; $y = 1.0996x + 0.4508$, $r = 0.9989^{**}$ 。表明土壤脲酶与速效氮、有机质均呈极显著正相关。长期秸秆还田并配施适量化肥,可改善土壤结构,为微生物创造良好的生态环境,激发酶活性,促进有机质积累与矿质养分的生物有效性。

气候与季节因子是影响土壤微生物的重要因素之一,土壤脲酶作用的最适温度是 6 月 2 日。3 月 1 日土温低,脲酶活性最低,6 月 22 日气温太高,脲酶活性也受到抑制。两种质地土壤脲酶活性时空变化动态很相似,并与土壤养分、有机质积累季节性变化动态完全类同。

2.4 秸秆还田与化肥配施的产量效应

通过长期秸秆还田与化肥配施,培肥地力,从而优化根系生态环境,为作物稳产高产创造了良好的土壤条件。1999 年定位试验的小麦产量示于表 7。表 7 表明,两种质地土壤,不同处理间小麦产量差异很大,但存有共同的规律,即 $N_1P_1M_3 > N_1P_1M_2 > N_1P_1M_1 > N_1P_1M_0 > M_2 > N_0P_0M_0$ 。对产量和秸秆还田量作回归分析,得回归方程: $y = 0.0347x + 97.4$, $r = 0.9934^{**}$ 。当 N、P 用量相同时,产量与秸秆还田量呈极显著正相关。当秸秆还田量相同时($N_1P_1M_0$ 与 M_2 相比较),秸秆与化肥配施优于单施秸秆。单施秸秆与单施 N、P 相比,化肥对作物的增产效果大于单施秸秆。

表 7 秸秆还田对小麦产量的影响

Table 7 Effect of returning straw to soil on yield of wheat (kg hm^{-2})

处理代号 Code of treatment	中壤土 Medium loam soil	砂壤土 Sandy loam soil
1	1 632.73	1 224.55
2	3 571.62	3 265.48
3	5 000.26	4 694.13
4	5 510.49	5 204.36
5	5 918.68	5 612.54
6	6 633.00	6 428.91

3 结论

通过 15 年在两种质地的潮土进行秸秆直接还田与化肥 N、P 配施的长期盆栽定位试验,结果表明:

1. 秸秆直接还田与化肥配施对提高土壤有机质积累,改善土壤结构,减缓地力衰竭,培肥土壤有极显著的效果。
2. 长期秸秆直接还田与化肥配施对提高土壤各项养分指标明显优于单施秸秆或单施化肥,其基本规律是 $N_1P_1M_3 > N_1P_1M_2 > N_1P_1M_1 > M_2 > N_1P_1M_0 > N_0P_0M_0$ 。
3. 在长期不施任何钾肥的条件下,秸秆还田与 N、P 肥的配施对提高土壤速效性钾的效果显著。
4. 土壤各项养分指标及土壤脲酶活性与气候和季节、土壤质地等因素密切相关。
5. 秸秆还田与化肥配施比单施秸秆或化肥的增产效应显著。

参考文献

1. 周鸣铮. 土壤肥力概论. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1985. 118~ 154
2. 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998. 111~ 151
3. 钱宏兵. 稻麦秸秆直接还田技术的研究. 土壤肥料, 1998, (2): 26~ 28
4. 杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望. 土壤学报, 1996, 33(4): 414~ 420
5. 郑兰君. 有机肥、化肥长期配合施用对水稻产量及土壤养分的影响. 中国农学通报, 2001, 17(3): 48~ 50
6. 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 297~ 298
7. 闫鹏, 徐世良. 山东土壤. 北京: 中国农业出版社, 1994. 323~ 428
8. 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998. 111~ 154

EFFECT OF MATCHING USE OF STRAW AND CHEMICAL FERTILIZER ON SOIL FERTILITY

Lao Xiu-rong Sun Wei-hong Wang Zhen Hao Yan-ru Zhang Chang-ai

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Summary

Experiment was carried out with flouvo-aguic soils of low fertility coming from Qihe, Shandong Province. The results of 15 years application showed that matching use of straw and chemical fertilizer is an effective measure to increase yield and improve soil fertility. As straw application rate at the range of 2 250, 4 500, 6 750 kg hm⁻², the accumulation of O.M., available nutrient and activity of urease have markedly positive correlation to amount of straw and are effected by climate, growing season, soil texture et al.

Key word Soil fertility, Straw, Nutrient