

旱原地玉米农田免耕覆盖的土壤环境效应

晋凡生¹, 张宝林²

(1 山西省农业科学院旱地农业研究中心, 太原 030031; 2 山西省农业科学院农业资源综合考察研究所, 太原 030006)

摘 要: 免耕覆盖 4 500 kg/hm² 以上的处理比传统耕作增产 22. 15% ~ 25. 65%。土壤水分利用率提高 2. 9625 kg/(mm · hm²)。春播前 0~200 cm 土层速动易效水含量比传统耕作增加 17. 02 ~ 47. 9 mm。距地表 5, 10, 15 cm 处的地积温与覆盖量呈极显著直线负相关。0~10 cm 土壤容重随覆盖量增加而减小。土壤有机质、全 N、速效 P 与覆盖量呈极显著直线回归关系。脲酶比传统耕作增加幅度为 0. 04 ~ 0. 48 mg/g, 碱性磷酸酶增幅为 0. 05 ~ 1. 08 mg/g, 转化酶增幅为 1. 7 ~ 12. 8 mg/g; 脲酶、碱性磷酸酶、转化酶与免耕覆盖量的关系呈极显著直线相关关系。

关键词: 旱原地; 免耕覆盖; 玉米; 土壤环境

中图分类号: S513. 048 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2000) 04-0060-05

The Effects of No-tillage with Mulch on Soil Environment for Maize Dryland

JIN Fan-sheng¹, ZHANG Bao-lin²

(1 Arid Farming Research Centre, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, PRC; 2 Institute of Agricultural Resources Comprehensive Expedition, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030006, PRC)

Abstract: Under the condition of no-tillage with mulch which amount was above 4 500 kg/hm², increase of corn yields was 22. 15% ~ 25. 65%; the water utilized coefficient of soil can increase 2. 9625 kg/(mm · hm²); compared the treatments of no-tillage with mulch to the traditional tillage, the contents of quick-moving available water in 0~200 cm soil layers can increase 17. 02 ~ 47. 9 mm before spring sowing. There was a significant negative correlation between earth cumulative temperature in 5, 10, 15 cm soil layers and the amounts of stalk mulch; the more the mulch amounts were, the less the volume weight in 0~10 cm soil layers was; the significant relations of linear regression were formed between organic substance, total N, available P and mulch amounts. Compared the treatments of no-tillage with mulch to the traditional tillage, amounts increased of urease, basic phosphatase, invertase were 0. 04 ~ 0. 48 mg/g, 0. 05 ~ 1. 08 mg/g and 1. 7 ~ 12. 8 mg/g; there was a significant linear correlation between the three kinds of enzyme and the amounts of mulch.

Key words: dryland; no-tillage with mulch; corn; soil environment

随着人类社会和农业生产的发展使得生态环境日益恶化; 在传统的多耕多耙的农作中, 出现了水土流失加剧, 水分无效消耗增大, 土壤结构变坏, 有机质分解加快, 肥力下降, 作物产量低而不稳, 生产成本上升等一系列问题, 尤其是缺水已成为旱地农业

生产的制约因素。为此, 我们于 1992~1994 年在隰县后堰乡进行了旱原地保护性耕作研究, 以期达到土壤质量的持续良性循环, 使得旱原地作物能够高产稳产。

* 收稿日期: 2000-10-13

国家“九五”科技攻关项目黄土高原水土流失区农业综合发展技术研究第 6 专题——晋西残塬区高产型农业综合发展研究(96-004-05-06)的内容。

1 试验地基本情况与试验设计

1.1 试验地基本情况

1.1.1 气候特点 试验地设在隰县后堰乡旱塬地上, 年平均气温 8.8℃, 10℃ 积温为 3 689.3

(240 d), 10℃ 积温为 3 031.5 (162.7 d), 无霜期 163 d; 全年日照时数 2 740.9 h, 年辐射量为 5 233.5 MJ/m²; 年平均降水量 537.6 mm (1957 ~ 1991 年平均值)。

表 1 试验期间降水量季节分布

年份	冬季		春季		夏季		秋季		全年降水量/mm
	降水量/mm	占年降水量/%	降水量/mm	占年降水量/%	降水量/mm	占年降水量/%	降水量/mm	占年降水量/%	
1992	0.0	0.00	86.5	19.18	261.0	57.87	103.6	22.97	451.1
1993	8.2	1.28	50.9	7.92	424.0	65.99	159.4	24.81	642.5
1994	8.0	1.40	106.8	18.72	360.7	63.24	94.9	16.64	570.4

1.1.2 土壤特性 土壤为轻质黄土质碳酸盐褐土, 土层深厚, 质地均一, 透水持水性能好。土壤容重 1.25 g/cm³ 左右, 田间持水量为 20.5% ~ 23.4%, 饱

和含水量为 30.8% ~ 47.8%, 2 m 土层持水能力为 513 mm, 土壤渗透系数为 20.4 ~ 51.6 mm/h, 黏粒含量约为 16%, 水分养分库容大。

表 2 试验地土壤当量孔径的分布(占总孔隙容积%)

土壤水吸力/ 10 ⁵ Pa)	通气孔(> 0.02mm)	大毛管孔隙 (0.02~0.003 mm)	中度毛管孔隙 (0.003~0.001 mm)	细毛管孔隙 (0.001~ 0.0002mm)	毛管孔隙(0.02 ~0.0002mm)	非活性孔(< 0.0002mm)
<0.15	18.37	0	0	0	0	0
0.15~1.0	0	15.3	0	0	15.3	0
1.0~3.0	0	0	5.4	0	5.4	0
3.0~15.0	0	0	0	5.13	5.13	0
0.15~15.0	0	15.3	5.4	5.13	25.83	0
>15.0	0	0	0	0	0	7.49

注: 土壤质量分数按 2.65 g/cm³ 计, 总孔隙度为 51.69%。

1.2 试验设计

① 传统耕作; ④春耕覆盖; ④铁茬; ¼ 免耕覆盖。设 4 个覆盖量, 即 1 500, 4 500, 7 500, 10 500 kg/hm²。随机区组排列, 重复三次。施肥量为 N 225 kg/hm², P₂O₅ 112.5 kg/hm²。

2 结果与分析

2.1 玉米产量结果分析

可以看出, 免耕覆盖 4 500 kg/hm² 以上的处理产量最高, 与其它处理存在极显著差异, 比传统耕作增产 1 387.05 ~ 1 606.05 kg/hm², 提高了 22.15% ~ 25.65%。免耕覆盖 1 500 kg/hm² 与春耕覆盖 4 500kg/hm² 之间产量无差异, 与铁茬、传统耕作存在极显著差异, 比传统耕作增产 707.45 ~ 814.35 kg/hm², 提高了 11.46% ~ 13.00%。

表 3 玉米产量方差分析

变异来源	DF	SS	MS	F	F _{0.05}	F _{0.01}
区组	2	1375.008	687.504	4.73*	3.74	6.51
主处理	7	79124.382	11303.483	77.70**	2.77	4.28
Ea	14	2036.713	145.480			
主区总变异	23	82536.103				
年份	1	199731.994	199731.994	505.54**	4.49	8.53
处理×年份	7	15415.946	2202.278	5.57**	2.26	4.03
Eb	16	6321.420	395.089			
总变异	47	304005.463				

2.2 土壤环境效应分析

2.2.1 土壤水分状况 免耕覆盖直接影响降水的入渗和土面蒸发, 间接影响土壤水分的再分布过程, 从而形成免耕覆盖后土壤水分及其有效性变化的一系列特点。

(1) 土壤水分利用率。由表 4 可以看出, 覆盖处理的土壤水分利用率高于传统耕作和铁茬处理, 其原因是秸秆覆盖能减少土壤水分蒸发, 促进植株蒸

腾,使无效耗水转化为有效耗水。其中免耕覆盖 水与保水的互促进作用所致。

4 500 kg/hm² 的处理土壤水分利用率最高,这是导

表 4 各处理土壤水分利用率 kg/(mm·hm²)

处理	传统耕作	铁茬	春耕覆盖	免耕覆盖/(kg·hm ⁻²)			
				(1500)	(4500)	(7500)	(10500)
1993	11.715	12.300	13.545	13.515	15.240	14.985	14.460
1994	13.260	14.010	14.895	13.680	15.660	15.150	15.495

(2)土壤水分有效性变化。由表 5 可以看出,在休闲期降水量(195.7 mm)偏多的气候条件下,各处理不同土层总有效水含量均有不同程度增加,缓动易效水、难效水数量保持恒定,速动易效水变幅较大。在春播前 0~200 cm 的土层,各处理速动易效水含量排序为:免耕覆盖 10 500> 7 500> 铁茬> 4 500> 1 500 kg/hm²> 传统耕作,分别比传统耕作增加47.9,44.46,36.27,32.46,17.02 mm。总之,免耕覆盖具有一定的保墒作用,覆盖量在 4 500 kg/hm² 以上效果明显。在多雨年份的休闲期,土壤水分长期处于大气蒸发力控制,而免耕覆盖则可以减少土壤水分蒸发,促进春季返浆期土壤水分再分布,增加土壤深层水分储量,使土壤速动易效水量明显增加。

表 5 休闲期各处理土壤有效水状况

处 理/ (kg· hm ⁻²)	土 层/ cm	1993-10-18				1994-04-21			
		速 动 易 效水/mm	缓 动 易 效水/mm	难 效 水/ mm	总 有 效 水/mm	速动易效水 /mm	缓动易效水 /mm	难效水/mm	总 有 效 水/ mm
免 耕 覆 盖 (10500)	0~20	11.49	10.88	10.32	32.69	18.59	10.88	10.32	39.79
	20~100	63.74	54.40	51.60	169.74	99.97	54.40	51.60	205.97
	100~200	33.08	54.40	51.60	139.08	43.32	54.40	51.60	147.93
	0~200	96.82	108.80	103.20	308.62	142.29	108.80	103.20	353.90
免 耕 覆 盖 (7500)	0~20	12.34	10.88	10.32	33.54	18.10	10.88	10.32	39.30
	20~100	40.65	54.40	51.60	146.65	91.80	54.40	51.60	197.80
	100~200	28.75	54.40	51.60	134.75	47.05	54.40	51.60	153.05
	0~200	69.40	108.80	103.20	281.40	138.85	108.80	103.20	350.85
免 耕 覆 盖 (4500)	0~20	13.47	10.88	10.32	34.67	18.02	10.88	10.32	39.22
	20~100	42.24	54.40	51.60	148.24	88.99	54.40	51.60	194.99
	100~200	29.13	54.40	51.60	135.13	37.86	54.40	51.60	143.86
	0~200	71.37	108.80	103.20	283.77	126.85	108.80	103.20	338.85
免 耕 覆 盖 (1500)	0~20	9.93	10.88	10.32	31.13	13.82	10.88	10.32	35.02
	20~100	42.27	54.40	51.60	148.27	81.87	54.40	51.60	187.87
	100~200	23.09	54.40	51.60	129.09	29.54	54.40	51.60	135.54
	0~200	65.36	108.80	103.20	277.36	111.41	108.80	103.20	323.41
铁 茬	0~20	7.71	10.88	10.32	28.91	11.96	10.88	10.32	33.16
	20~100	42.37	54.40	51.60	148.37	87.04	54.40	51.60	193.04
	100~200	30.18	54.40	51.60	136.18	43.62	54.40	51.60	149.62
	0~200	72.55	108.80	103.20	284.55	130.66	108.80	103.20	342.66
传 统 耕 作	0~20	6.40	10.88	10.32	27.60	11.52	10.88	10.32	32.72
	20~100	30.72	54.40	51.60	136.72	67.02	54.40	51.60	173.02
	100~200	13.88	54.40	51.60	119.88	27.37	54.40	51.60	133.37
	0~200	44.60	108.80	103.20	256.60	94.39	108.80	103.20	306.39

注:测定时间为 1993~1994 年。

2.2.2 土壤温度效应 免耕覆盖后, 由于秸秆的阻隔、覆盖作用, 地表吸收辐射能减少, 热量传导受阻; 加上覆盖的保墒作用, 土壤热容量增大, 升温速度缓慢, 在土壤表层的表现尤为明显。

距地表 5, 10, 15 cm 处 20 d 的地积温 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 与覆盖量 X 呈极显著直线负相关, 其直线回归方程

分别为:

$$Y_1= 488.980\,5- 0.039\,9X \qquad r_1= -\,0.993\,8^{**}$$
$$Y_2= 488.097\,6- 0.036\,8X \qquad r_2= -\,0.997\,4^{**}$$
$$Y_3= 482.497\,6- 0.041\,3X \qquad r_3= -\,0.972\,0^{**}$$

随着覆盖量(0 ~ 10 500 kg/hm²) 的增加, 地积温呈直线下降, 日平均温度和覆盖量的关系也是如此。

表 6 不同处理日平均地温和地积温

处理/(kg · hm ⁻²)		距地表 5cm		距地表 10cm		距地表 15cm	
		日平均地温/ /	10 地积温/ 温/	日平均地温/ /	10 地积温/ 温/	日平均地温/ /	10 地积温/ 温/
免耕覆盖	(1000)	23. 09	461. 8	22. 60	455. 2	22. 81	456. 2
	(7500)	23. 46	469. 2	23. 04	460. 8	23. 00	460. 0
	(4500)	23. 74	474. 8	23. 43	468. 6	23. 31	466. 2
	(1500)	24. 26	485. 2	23. 81	476. 2	24. 05	481. 0
铁茬		24. 50	490. 0	24. 04	480. 8	24. 15	483. 0

注: 侧定时间为 1993 年 7 月 1 日到 7 月 20 日。

2.2.3 土壤结构、养分和酶活性 对土壤结构的影响, 免耕覆盖经过三个生产周期后, 0 ~ 10 cm 土壤

容重随覆盖量增加而减少。

表 7 各处理 0 ~ 30 cm 三相比变化 %

土层/ cm	三相比	铁茬	免耕覆盖/(kg · hm ⁻²)				深松覆盖 4500(kg · hm ⁻²)	传统耕作
			10500	7500	4500	1500		
0 ~ 10	固液气	50. 60	48. 34	48. 72	49. 25	50. 11	48. 04	48. 50
		44. 50	42. 10	43. 70	42. 80	42. 40	41. 10	40. 30
		4. 90	9. 56	7. 58	7. 95	7. 49	10. 86	11. 20
10 ~ 20	固液气	49. 66	49. 74	49. 51	49. 70	49. 81	47. 85	48. 42
		49. 60	44. 80	45. 80	44. 30	44. 50	40. 70	44. 70
		0. 74	5. 46	4. 69	6. 00	5. 69	11. 45	6. 88
20 ~ 30	固液气	48. 75	48. 49	48. 38	48. 60	48. 64	47. 70	48. 84
		44. 40	44. 60	43. 20	45. 28	45. 70	42. 40	47. 40
		6. 85	6. 91	8. 42	6. 12	5. 66	9. 90	3. 76

与铁茬相比, 减少 0. 013 ~ 0. 06 g/cm³; 与传统耕作、深松- 免耕覆盖处理相比, 增加幅度不大。该土层土壤固相部分比传统耕作增加, 气相部分减少。10 ~ 20 cm 土层不同覆盖量之间无明显差异, 但比传统耕作与深松- 免耕覆盖分别减少 0. 034 和 0. 049 g/cm³, 固相部分处理间差异不大, 气相部分铁茬最小, 深松- 免耕覆盖最大, 其它处理间无明显差异, 液相部分, 铁茬最大, 深松- 免耕覆盖处理最小, 其它处理无明显差异。20 ~ 30 cm 土层容重深松- 免耕覆盖处理最低, 其它无明显差异, 固相部分处理间无明显差异; 气相部分以深松- 免耕覆盖最高, 传统耕作最低, 其它处理相近。

综上所述, 免耕覆盖因秸秆保留在地表, 减少了

土壤耕作, 土壤有机质增加, 结构稳定, 尤其对 0 ~ 10 cm 土层作用明显。

对土壤养分状况的影响 免耕覆盖后, 由于年复一年的增加秸秆, 经夏秋高温高湿气候, 一年后茎叶成半腐解状态, 两年后近地表的秸秆基本腐烂, 根茬也呈半腐解状态, 从而增加了土壤有机质和养分含量, 提高了土壤肥力。

通过对各种肥力指标和覆盖量进行分析, 有机质(Y_1)、全氮(Y_2)、速效磷(Y_3) 与覆盖量(X) 呈极显著直线回归关系:

$$Y_1= 10. 41+ 0. 003\,267X \qquad r= 0. 981\,4^{**}$$
$$Y_2= 0. 495\,6+ 0. 000\,391\,8X \qquad r= 0. 992\,9^{**}$$
$$Y_3= 14. 06+ 0. 015\,87X \qquad r= 0. 998\,1^{**}$$

表 8 免耕覆盖处理三年后土壤养分状况

处理(kg/ hm ²)	土层/ cm	有机质/(g · kg ⁻¹)	全氮/(g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)
免耕覆盖(10500)	0 ~ 10	12. 61	0. 785	25. 20	135. 00
	10 ~ 20	10. 01	0. 482	13. 70	125. 00
	20 ~ 40	9. 32	0. 456	10. 80	120. 00
免耕覆盖(7500)	0 ~ 10	11. 98	0. 670	21. 80	135. 00
	10 ~ 20	10. 42	0. 501	14. 60	120. 00
	20 ~ 40	9. 63	0. 445	9. 50	120. 00
免耕覆盖(4500)	0 ~ 10	11. 67	0. 612	19. 20	125. 00
	10 ~ 20	9. 58	0. 450	13. 30	120. 00
	20 ~ 40	9. 40	0. 458	9. 20	115. 00
免耕覆盖(1500)	0 ~ 10	10. 80	0. 540	15. 30	125. 00
	10 ~ 20	9. 66	0. 485	12. 60	115. 00
	20 ~ 40	9. 22	0. 462	10. 10	120. 00
铁 茬	0 ~ 10	10. 21	0. 498	14. 20	130. 00
	10 ~ 20	9. 35	0. 461	12. 10	120. 00
	20 ~ 40	9. 48	0. 431	9. 80	120. 00
传统耕作	0 ~ 10	9. 84	0. 416	9. 50	120. 00
	10 ~ 20	10. 70	0. 487	12. 40	110. 00
	20 ~ 40	9. 52	0. 423	10. 30	110. 00

表 9 0~10cm 土层各处理土壤酶含量

处理/(kg · hm ⁻²)	脲 酶(NH- N)/(mg · g ⁻¹)	碱性磷酸酶/ (mg · g ⁻¹)	转化酶/(mg · g ⁻¹)
免耕覆盖(10500)	1. 41	2. 16	60. 2
免耕覆盖(7500)	1. 26	1. 87	57. 2
免耕覆盖(4500)	1. 19	1. 64	55. 1
免耕覆盖(1500)	1. 06	1. 25	51. 7
铁 茬	0. 97	1. 13	49. 1
传统耕作	0. 93	1. 08	47. 4

对土壤酶活性的影响 免耕覆盖各处理的脲酶比传统耕作增加幅度为 0. 04 ~ 0. 48 mg/ g, 碱性磷酸酶增幅为 0. 05 ~ 1. 08 mg/ g, 转化酶增幅为 1. 7 ~ 12. 8 mg/ g; 脲酶(Y_1)、碱性磷酸酶(Y_2)、转化酶(Y_3) 与免耕覆盖量(X) 的关系呈极显著直线相关关系。

$$Y_1= 0. 987\ 6+ 0. 000\ 595\ 1X \quad r= 0. 992\ 7^{**}$$

$$Y_2= 1. 134+ 0. 001\ 488X \quad r= 0. 996\ 6^{**}$$

$$Y_3= 49. 80+ 0. 015\ 20X \quad r= 0. 991\ 7^{**}$$

由此可见, 经过连续 3 年免耕覆盖后, 地表聚集了大量的处于腐熟状态的秸秆, 为土壤微生物活动提供了丰富的碳、氮、磷营养, 因而使土壤酶数量增加, 为培肥地力奠定了生物基础。

3 结 论

通过 3 年试验, 免耕覆盖4 500 kg/ hm² 以上的处理具有明显的增产效果; 2 m 土层含水量增加; 土壤水分利用率显著提高; 土壤容重减小, 有机质、全 N、速效 P 等土壤养分也有不同幅度增加, 脲酶、碱性磷酸酶、转化酶的增加大大地改善了土壤生态环境, 使旱塬地农田的保水保肥能力增强, 提高了旱塬地的抗旱能力, 有利于玉米等农作物的丰产。

参考文献

1 张宝林, 等. 旱塬地玉米免耕覆盖耕作试验研究[J] . 山西农业大学学报, 1994, 14(1): 43 ~ 51
2 晋凡生, 等. 旱塬地玉米降水生产潜势及其提高途径的研究[J] . 华北农学报, 1995, 10(增刊): 35 ~ 40
3 张宝林, 等. 旱塬地玉米深松——免耕覆盖、施肥模式化研究[J] . 华北农学报, 1995, 10(增刊): 23 ~ 29
4 陈奇恩, 等. 黄土高原残塬沟壑区高效农业生态系统发展研究[J] . 山西农业科学, 1993, 21(3): 1 ~ 8
5 山 仑, 等. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M] . 北京: 科学出版社, 1993