

10 a 保护性耕作下轮作系统土壤碳氮磷 生态化学计量特征

陆皎云, 王振南, 杨惠敏, 沈禹颖

(兰州大学 草地农业科技学院 草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘要: [目的] 研究长期免耕和秸秆覆盖对轮作系统土壤质量的影响规律和机制。[方法] 比较分析了 10 a 传统耕作、免耕、传统耕作+秸秆覆盖和免耕+秸秆覆盖的玉米—冬小麦—大豆轮作系统 0—200 cm 内土壤有机碳、全氮、全磷含量及其生态化学计量比变化。[结果] 长期免耕提高土壤表层 C 和 N 的含量, 仅秸秆覆盖对 C 和 N 含量的影响不大; 长期保护性耕作对土壤 P 含量没有显著影响; 保护性耕作使 N 和 P 最低含量均出现在 20—30 cm, 而传统耕作则在 30—60 cm 土层最低; 土壤 C/N, C/P 和 N/P 均普遍低于 10 a 前, C/P 和 N/P 的变化量随土层深度增加均呈现出先降低后增高的趋势。[结论] 10 a 保护性耕作对 C, N, P 的影响均不明显, 但 4 种耕作模式下, 土壤 C/N, C/P 和 N/P 均普遍低于 10 a 前。

关键词: 免耕; 秸秆覆盖; 土壤肥力; 生态化学计量比

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2015)01-0096-06

中图分类号: S158.5

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.018

Ecological Stoichiometric Characteristics of Soil Carbon, Nitrogen and Phosphorus After 10 Years Conservation Tillage in a Rotation System

LU Jiaoyun, WANG Zhennan, YANG Huimin, SHNE Yuying

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: [Objective] To study the effects and mechanisms of long-term no-tillage and straw mulch on soil quality. [Methods] With comparing the soil characteristics from 2001 to 2011, the conventional tillage, no-tillage, conventional tillage + straw mulch and no-tillage + straw mulch were set for 10 years in a corn-wheat-soybean rotation system. Soils of 0—200 cm layers were taken for analyzing organic carbon(C), total nitrogen(N) and total phosphorus(P). [Results] Long-term no-tillage improved C and N contents of surface soils, and straw mulch only had little effect on them. Long-term conservation tillage had no significant effect on soil P level. Conservation tillage resulted in the lowest N and P contents at 20—30 cm soil layer, while under conventional tillage, it was at 30—60 cm layer. Soil C/N, C/P and N/P were generally lower than that of a decade ago and with soil depth increased, the variation of C/N, C/P and N/P showed a drop—rise trend. [Conclusion] Long-term conservation tillage had no significant effect on soil C, N and P. In the four tillage patterns, soil C/N, C/P and N/P were generally lower than a decade ago.

Keywords: no-tillage; stubble retention; soil fertility; ecological stoichiometric ratio

土壤养分的有效、可持续供应决定了土壤系统的可持续性。传统农业耕作模式往往导致严重的水土流失,引起土壤营养耗竭,生态环境恶化,农业系统生产力难以为继。此外,为了维持生产力而大量使用化肥则进一步造成了土壤质量下降和生态环境恶化加剧。保护性耕作是现代农业的新模式,可能是解决上

述问题的有效措施。保护性耕作措施对土壤养分的影响已成为农业、生态研究的重要内容和热点问题之一^[1]。

美国拓荒时期的“黑风暴”事件导致了农田肥沃表土的大量流失,农田生产能力下降,催生了“保护性耕作”(conservation tillage)概念和实践的产生。环

收稿日期: 2014-01-13

修回日期: 2014-02-27

资助项目: 甘肃省科技重大专项“庆阳黄土高原生态治理和水资源高效利用的技术体系研究与示范”(1203FKDA035); 教育部科学技术研究重大项目(313028); 国家自然科学基金项目(31172248)

第一作者: 陆皎云(1989—), 女(汉族), 甘肃省兰州市人, 硕士, 研究方向为草类生态化学计量学研究。E-mail: lujiy09@lzu.edu.cn。

通信作者: 杨惠敏(1978—), 男(汉族), 湖北省应城市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物逆境生物学研究。E-mail: huimyang@lzu.edu.cn。

境恶化加剧、粮食安全问题以及人们日益增强的环境保护意识则进一步促进了保护性耕作的推广。实施保护性耕作是以秸秆覆盖留茬还田,少、免耕播种施肥复式作业为主要内容,具有防治农田扬尘和水土流失、增强蓄水墒、节本增效、减少秸秆焚烧和温室气体排放等作用^[2],促进农业可持续发展。保护性耕作措施减少了对农田地表土层的干扰,使土壤结皮并覆盖作物残茬,降低了土壤的水蚀和风蚀,还能够培肥土壤,提高土壤肥力。研究表明,免耕可以提高土壤表层肥力,增加有机碳、全氮和全磷含量^[3-4],秸秆覆盖可以改善养分循环,增加土壤养分,维持土壤地力。轮作与免耕和秸秆覆盖结合,能够提高土壤肥力,还能保证养分的均衡利用。随着时间延长,轮作、免耕和秸秆覆盖的正向作用效果表现出加强的趋势^[5]。然而,长期实施保护性耕作对土壤养分元素的特征有怎样的影响尚不明确。

生态化学计量学(ecological stoichiometry)是研究碳、氮、磷等化学元素协同变化和动态平衡的一种综合方法^[6-7]。从土壤碳、氮、磷生态化学计量特征变化的角度进行研究可能有助于阐明保护性耕作影响土壤质量的机制。本研究以 2001 年建立的玉米—冬小麦—大豆轮作系统为对象,比较 10 a 免耕和秸秆覆盖对土壤有机碳、全氮和全磷含量及其生态化学计量比的影响,分析长期保护性耕作改善土壤质量的机制,以期对轮作模式下的保护性耕作实践提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陇东黄土高原中部甘肃省庆阳市西峰区什社乡(东经 107°51',北纬 35°39')境内,兰州大学庆阳黄土高原试验站,海拔 1 298 m。自然气候冬春寒冷干燥,夏季炎热多雨,是典型的大陆性季风气候。年降雨量 480~660 mm,全年降雨 60%以上集中在 7—9 月,年蒸发量 1 100~1 500 mm,年均气温 8~10 °C,极端最高气温达到 39.6 °C,极端最低气温 -22.4 °C,年日照时数 2 300~2 700 h,无霜期 150~190 d,土壤质地为黑垆土,pH 值为 8~8.5。

1.2 试验设计

试验地完全随机区组排列,每个处理设 4 个重复,共计 16 个小区,每小区面积均为 52 m²(4 m×13 m),小区间距均为 1 m,区组间距为 2 m。

设有 4 个处理:传统耕作(t)、传统耕作+秸秆覆盖(ts)、免耕(nt)和免耕+秸秆覆盖(nts)。传统耕作处理分别于作物播种前和收获后各耕作 1 次,耕层

30 cm 左右;免耕处理在作物收获后至播种前不扰动土壤,用免耕播种机播种;秸秆覆盖处理,作物收获后除玉米按产量 50%的秸秆覆盖外,其余全部还田作为覆草处理;传统耕作+秸秆覆盖处理,分别于作物播种前和收获后各耕作 1 次,耕深 30 cm 左右,并将前茬作物收获后玉米按产量 50%的秸秆覆盖,其余秸秆全部还田。

作物的轮作序列是玉米—冬小麦—大豆。品种分别为:玉米(*Zea mays*)中单 2 号,冬小麦(*Triticum aestivum*)西峰 24 号,大豆(*Glycine max*)丰收 12 号,均为当地商用品种。

1.3 播种和管理

试验地为 2001 年开始的轮作系统。每年 4 月播种玉米,行距 38 cm,株距 40 cm,播量 30 kg/hm²,9 月下旬至 10 月上旬收获后立即播种小麦,行距为 15 cm,播量为 187 kg/hm²,次年 6 月收获小麦,及时播种大豆,其行距和株距均为 25 cm,10 月中旬收获后至下一年 4 月为休闲期。

小麦播种前以 300 kg/hm² 的磷二铵作为底肥,在拔节期以 150 kg/hm² 的尿素(含氮 46%)作为追肥;玉米播种前以 300 kg/hm² 的磷二铵作为底肥,再以 300 kg/hm² 的尿素作为追肥;大豆只在播种前施用 P₂O₅ 63 kg/hm² 的磷肥作为底肥。

1.4 土壤样品采集与指标测定

于 2001 和 2011 年,在玉米播种前,用土钻在每个小区内以五点取样法分层(0—5,5—10,10—20,20—30,30—60,60—90,90—120,120—150 和 150—200 cm)采集土样,同层混合。在 36 °C 下烘干后,过 0.5 mm 的筛测定土壤全磷,过 0.25 mm 的筛测定土壤有机碳和全氮。

采用重铬酸钾加热氧化法(K₂Cr₂O₇—H₂SO₄ 氧化法)、凯氏定氮法和 NaOH 熔融—钼锑抗比色法分别测定土壤有机碳(C)、全氮(N)和全磷(P)含量。

1.5 数据统计与分析

所有试验数据采用 Excel 2007 输入与整理,用 SPSS 16.0 和 Genstat 软件进行差异性分析。

元素生态化学计量学计算为:

$C/N = \text{有机碳含量} / \text{全氮含量}$; $C/P = \text{有机碳含量} / \text{全磷含量}$; $N/P = \text{全氮含量} / \text{全磷含量}$ 。

考虑到样地土壤初始条件的差异,10 a 后各模式下土壤指标参数的实测值无法准确体现处理效应,因此,对 10 a 后的指标参数进行换算,使用参数变化(Δ)来表示。如,10 a 保护性耕作后土壤 C 和 C/N 含量变化分别为:

$\Delta C = (\text{2011 年 C 含量实测值} - \text{2001 年 C 含量实$

测值)/2001 年 C 含量实测值

$\Delta C/N = (2011 \text{ 年 } C/N \text{ 含量实测值} - 2001 \text{ 年 } C/N \text{ 含量实测值}) / 2001 \text{ 年 } C/N \text{ 含量实测值}$

对其它指标参数做同样处理。正值表示 10 a 保护性耕作对土壤指标参数有正向效应,反之亦然。

2 结果与分析

2.1 10 a 保护性耕作下土壤有机碳含量

4 种耕作模式间相同土层 C 含量变化(ΔC)没有明显的差异(表 1)。同一耕作模式下,土壤 ΔC 随土

层的加深往往呈现出先降低后增高的趋势,nt 和 nts 处理下的土壤表层(0—5 cm)C 含量显著高于 20—30 cm 土壤 C 含量(表 1),而 t 处理下的则没有明显变化,免耕提高了土壤表层的 C 含量。土层 0—20 cm 下,t,nt 和 ntsC 含量明显高于 10 a 前,而 ts 下的则在各土层下均低于 10 a 前,秸秆覆盖对土壤 C 的积累影响不明显。4 种耕作模式下,20 cm 以下大部分土层 C 含量均低于 10 a 前,仅 nt 下 90—120 cm 土层、nts 下 120—200 cm 土层和 ts 下 120—150 cm 土层 C 含量大于 10 a 前。

表 1 轮作系统中不同耕作方式下土壤碳含量变化(ΔC)

土层深度/cm	土壤碳含量变化			
	免耕	免耕+秸秆覆盖	传统耕作	传统耕作+秸秆覆盖
0—5	0.16±0.09a	0.32±0.32ab	0.31±0.26ab	-0.04±0.27
5—10	0.13±0.09a	0.20±0.28abc	0.31±0.33a	-0.06±0.24
10—20	0.05±0.19abc	0.06±0.56abc	0.25±0.19ab	-0.08±0.37
20—30	-0.27±0.11d	-0.28±0.32c	-0.09±0.14ab	-0.22±0.36
30—60	-0.17±0.13cd	-0.14±0.12bc	-0.14±0.07b	-0.26±0.14
60—90	-0.03±0.13abcd	-0.32±0.24c	-0.02±0.25ab	-0.08±0.23
90—120	0.12±0.06ab	-0.07±0.41abc	-0.12±0.18ab	-0.02±0.23
120—150	-0.02±0.28abcd	0.20±0.15abc	-0.04±0.22ab	0.07±0.36
150—200	-0.16±0.31bcd	0.42±0.40a	-0.12±0.52ab	-0.14±0.24

注:(1)表中数据为平均值±标准误差,其中,平均值为参数变化(Δ)的平均值;(2)不同小写字母表示同一耕作模式下各土层之间差异显著。下同。

2.2 10 a 保护性耕作下土壤氮(N)含量

4 种耕作模式间相同土层 N 含量变化(ΔN)在 0—5 cm 土层 ts 与 nts 间,20—30 cm 土层 t 与免耕(nt 和 nts)间表现出差异显著性($p < 0.05$)。同一耕作模式下,土壤上层(0—20 cm) ΔN 往往大于下层,但土层间 ΔN 无明显差异(表 2),最低值出现在 30—

60 cm 土层(t)和 20—30 cm 土层(nt,ts 和 nts)。保护性耕作(nt,ts 和 nts)下,土壤表层(0—5 cm) ΔN 最高,而 t 处理下则在亚表层(5—20 cm)最高。4 种耕作模式下,大部分土层 N 含量均高于 10 a 前。免耕和免耕+秸秆覆盖能显著提高表层土壤 N 含量,仅秸秆覆盖对土壤 N 含量的影响不明显。

表 2 轮作系统中不同耕作方式下土壤氮含量变化(ΔN)

土层深度/cm	土壤氮含量变化			
	免耕	免耕+秸秆覆盖	传统耕作	传统耕作+秸秆覆盖
0—5	0.23±0.19aAB	0.48±0.17aA	0.14±0.26AB	0.05±0.28B
5—10	0.11±0.17ab	0.29±0.24ab	0.24±0.48	0.05±0.25
10—20	-0.01±0.24bc	0.18±0.52abc	0.30±0.40	0.04±0.20
20—30	-0.22±0.08cB	-0.23±0.08cB	0.02±0.19A	-0.11±0.19AB
30—60	-0.05±0.09bc	0.02±0.09bc	-0.08±0.11	-0.05±0.12
60—90	0.00±0.09bc	-0.08±0.25bc	0.09±0.24	0.02±0.08
90—120	0.09±0.08ab	0.05±0.23bc	0.15±0.18	0.12±0.29
120—150	-0.03±0.07bc	0.04±0.20bc	-0.07±0.16	0.14±0.15
150—200	-0.07±0.15bc	0.04±0.21bc	-0.04±0.35	0.15±0.19

注:(1)表中不同小写字母表示同一耕作模式下各土层之间差异显著;(2)不同大写字母表示同一土层在不同耕作模式之间差异显著。下同。

2.3 10 a 保护性耕作下土壤磷含量

与土壤 N 含量变化特征(表 2)类似,4 种耕作模式间相同土层 P 含量变化(ΔP)差异不明显(表 3),仅

0—5 cm 土层 t 与 ts 间,20—30 cm 土层传统耕作(t 和 ts)与免耕(nt 和 nts)间表现出显著性差异($p <$

0.05)。4 种耕作模式均表现为,表层的 P 含量最高。60 cm 土层(t)和 20—30 cm 土层(nt,ts 和 nts)($p < 0.05$)。4 种耕作模式下,土壤上层(0—20 cm) ΔP 大于下层,0.05)。4 种耕作模式下,土壤 P 含量明显大于 10 a 前,可能与长期施肥有关。

表 3 轮作系统中不同耕作方式下土壤磷含量变化(ΔP)

土层深度/cm	土壤磷含量变化			
	免耕	免耕+秸秆覆盖	传统耕作	传统耕作+秸秆覆盖
0—5	0.52±0.15aAB	0.49±0.13aAB	0.63±0.24aA	0.29±0.16B
5—10	0.47±0.20ab	0.40±0.29ab	0.50±0.19ab	0.27±0.14
10—20	0.35±0.15abc	0.29±0.21abc	0.50±0.17ab	0.30±0.05
20—30	0.08±0.12dB	0.08±0.12cB	0.32±0.07bcA	0.23±0.01A
30—60	0.15±0.07cd	0.22±0.05bc	0.24±0.13c	0.26±0.12
60—90	0.35±0.14abc	0.32±0.15abc	0.26±0.13c	0.25±0.02
90—120	0.31±0.14bc	0.28±0.15abc	0.27±0.05c	0.27±0.10
120—150	0.25±0.03cd	0.23±0.11abc	0.26±0.06c	0.28±0.12
150—200	0.30±0.08bc	0.26±0.02abc	0.27±0.09c	0.32±0.09

2.4 10 a 保护性耕作下土壤 C/N

4 种耕作模式间相同土层 C/N 变化($\Delta C/N$)无明显差异(表 4),仅在 0—5 cm 土层保护性耕作(nt,ts 和 nts)下 $\Delta C/N$ 显著低于 t 下 $p < 0.05$)。同一耕作模式下,土壤 $\Delta C/N$ 随土层深度增加呈现先降低后增高的趋势,与土壤 C 含量变化特征(表 1)类似。4 种耕作模式下,各土层 C/N 往往小于 10 a 前,但 t 下 0—20 和 120—200 cm 土层,nt 下 5—20 和 90—150 cm 土层,nts 下 120—200 cm 土层例外。

表 4 轮作系统中不同耕作方式下土壤 C/N 变化($\Delta C/N$)

土层深度/cm	土壤 C/N 变化			
	免耕	免耕+秸秆覆盖	传统耕作	传统耕作+秸秆覆盖
0—5	-0.04±0.11B	-0.11±0.16bcB	0.16±0.14aA	-0.09±0.03B
5—10	0.03±0.15	-0.07±0.12bc	0.13±0.33ab	-0.10±0.16
10—20	0.10±0.28	-0.11±0.22bc	0.01±0.23abc	-0.15±0.22
20—30	-0.06±0.10	-0.09±0.30bc	-0.09±0.18abc	-0.15±0.25
30—60	-0.12±0.16	-0.14±0.19bc	-0.06±0.10abc	-0.21±0.20
60—90	-0.02±0.19	-0.28±0.17c	-0.10±0.13abc	-0.09±0.27
90—120	0.03±0.11	-0.11±0.36bc	-0.24±0.12bc	-0.10±0.24
120—150	0.01±0.28	0.20±0.38ab	0.04±0.21abc	-0.06±0.25
150—200	-0.10±0.29	0.37±0.27a	0.13±0.17c	-0.26±0.16

2.5 10 a 保护性耕作下土壤 C/P

4 种耕作模式间相同土层 C/P 变化($\Delta C/P$)无明显差异(表 5)。同一耕作模式下,各土层间 $\Delta C/P$ 无明显差异(表 5),但 $\Delta C/P$ 呈现随土层深度增加先降低后增高的趋势。长期施肥使土壤 P 含量(表 3)普遍高于 10 a 前,可能是导致 C/P 低于 10 a 前(除 nts 下 150—200 cm 土层)的主要原因之一。

表 5 轮作系统中不同耕作方式下土壤 C/P 变化($\Delta C/P$)

土层深度/cm	土壤 C/P 变化			
	免耕	免耕+秸秆覆盖	传统耕作	传统耕作+秸秆覆盖
0—5	-0.23±0.06	-0.11±0.20abc	-0.20±0.09	-0.27±0.12
5—10	-0.22±0.13	-0.14±0.12abc	-0.13±0.15	-0.27±0.15
10—20	-0.22±0.16	-0.21±0.28abc	-0.16±0.09	-0.30±0.28
20—30	-0.32±0.11	-0.35±0.20bc	-0.31±0.07	-0.37±0.29
30—60	-0.28±0.13	-0.30±0.06bc	-0.30±0.08	-0.40±0.15
60—90	-0.27±0.15	-0.47±0.22c	-0.21±0.25	-0.26±0.18
90—120	-0.14±0.09	-0.24±0.38abc	-0.31±0.15	-0.23±0.13
120—150	-0.22±0.23	-0.01±0.22ab	-0.23±0.21	-0.16±0.28
150—200	-0.34±0.27	0.13±0.33a	-0.29±0.44	-0.35±0.18

2.6 10 a 保护性耕作下土壤 N/P

4 种耕作模式间相同土层 N/P 变化($\Delta N/P$)无明显差异(表 6),仅 0—5 cm 土层 t 与 nts 有显著差异

($p < 0.05$)。同一耕作模式下,土壤 $\Delta N/P$ 随土层深度增加呈现先减小后增大趋势(表 6)。4 种耕作模式下 N/P 普遍低于 10 a 前(除 nts 下 0—5 cm 土层)。

表 6 轮作系统中不同耕作方式下土壤 N/P 变化($\Delta N/P$)

土层深度/cm	土壤 N/P 变化			
	免耕	免耕+秸秆覆盖	传统耕作	传统耕作+秸秆覆盖
0—5	-0.19±0.14AB	0.00±0.19aA	-0.30±0.11B	-0.20±0.12AB
5—10	-0.24±0.11	-0.07±0.04ab	-0.18±0.28	-0.18±0.12
10—20	-0.28±0.11	-0.11±0.24ab	-0.13±0.22	-0.20±0.15
20—30	-0.28±0.06	-0.29±0.02b	-0.23±0.15	-0.28±0.15
30—60	-0.17±0.10	-0.16±0.10ab	-0.26±0.04	-0.25±0.07
60—90	-0.25±0.02	-0.28±0.25b	-0.11±0.27	-0.19±0.05
90—120	-0.16±0.10	-0.17±0.21ab	-0.09±0.15	-0.12±0.19
120—150	-0.22±0.07	-0.16±0.11ab	-0.26±0.13	-0.11±0.05
150—200	-0.28±0.14	-0.17±0.18ab	-0.25±0.26	-0.13±0.12

3 讨论

相比于传统耕作,保护性耕作具有改善表层土壤肥力的作用^[5]。长期免耕避免了耕作的培肥缺点,减少了土壤扰动次数,有利于土壤腐殖质的积累和土壤结构体的形成^[8-9],使得富含碳、氮的土壤团聚体数量和稳定性增加^[10],并使土壤养分向表层富集^[11]。但秸秆还田对作物生产的影响还存在争议^[12]。相较于传统耕作,免耕增加了土壤有机碳含量^[13-14],并且随着保护性耕作时间延长,土壤有机质增加^[15]。而本研究显示,10 a 后,相对于传统耕作,免耕效应不明显。可能因为经过长时间的保护性耕作后,土壤有机碳含量虽然提高,且在一个较高的水平上保持相对稳定,但各种耕作间在耕层造成的影响没有明显差异。此外,免耕下表层土壤有机碳含量最大^[16],而随着土壤深度的增加,土壤养分含量降低。同时,免耕降低了土壤可侵蚀性,减少了土壤有机质的流失^[17]。本研究也得到了类似结果。土壤全氮含量随土壤深度的增加呈降低趋势,且免耕下表层土壤全氮含量最高。本研究也得到了类似结果。长期免耕有利于浅层土壤硝态氮不断积累,减少了氮肥的淋溶损失。同时,免耕下土壤耕层变浅,植物根系大多聚集在表层,植物残体进入下层土壤的数量减少,而传统耕作使肥土相融,进入下层的植物残体相对较多,导致表层氮含量较低^[18]。长期的保护性耕作下,土壤全磷含量基本随土层的加深而降低,表层土壤(0—5 cm)的全磷含量最高,表现出土壤养分逐渐向表层富集化的现象,与前人研究结果一致^[3,11,19-20]。

各元素在全球生物地球化学循环中并不是单独进行的,而是存在相互作用。养分供应量是否充足是

影响有机体生长、种群结构、物种相互作用和生态系统稳定性的重要因素,可以根据生态化学计量学的计量比(C/N, C/P 和 N/P)来判断限制性元素^[21]。土壤的 C/N 与有机质的分解、土壤呼吸等密切相关^[22]。土壤 C/N 较低表明有机质具有较快的矿化作用,从而使土壤有效氮含量较高^[23]。本研究也表明,在保护性耕作下,土壤 C/N 明显低于传统耕作,在土壤表层(0—20 cm)尤为突出。同时,4 种耕作模式下,土壤碳含量相比于 10 a 前变化不大,而由于轮作系统中豆科植物固定了一定的氮素,使得土壤氮含量高于 10 a 前,从而使 C/N 普遍低于 10 a 前。目前,有部分土壤的氮储量估算和生态系统碳模型研究中将 C/N 视为常数,并根据这个比值和土壤碳含量近似估计土壤的氮储量^[24]。由于施肥管理,使 2011 年土壤磷含量明显大于 2001 年,从而使 4 种耕作模式的 C/P 普遍低于 10 a 前。有研究指出,土壤碳氮磷比可作为诊断养分限制、碳氮磷饱和的有效指标^[25-26]。本研究中,土壤 N/P 低于 10 a 前可能是全磷含量相对于全氮含量升高幅度更大所致。而免耕下 C/P 和 N/P 高于耕作,可能因为耕作促使土壤碳和氮转化为气相而挥发释放,从而使 C/P 和 N/P 变小。

4 结论

10 a 免耕促进了 C 和 N 的积累,但与传统耕作差异不大,而秸秆覆盖对 C 和 N 的影响不明显;保护性耕作对 P 累积没有明显的作用。4 种耕作模式下,土壤 C/N, C/P 和 N/P 均普遍低于 10 a 前。

[参 考 文 献]

[1] 赵如浪,刘鹏涛,冯佰利,等.黄土高原春玉米保护性耕

- 作农田土壤养分时空动态变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 69-74.
- [2] 师江澜, 刘建忠, 吴发启. 保护性耕作研究进展与评述[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 205-212.
- [3] 郑丽娜, 王先之, 沈禹颖. 保护性耕作对黄土高原塬区作物轮作系统磷动态的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(4): 19-26.
- [4] 杨晶, 沈禹颖, 南志标, 等. 保护性耕作对黄土高原玉米—小麦—大豆轮作系统产量及表层土壤碳管理指数的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(1): 75-82.
- [5] 罗珠珠. 不同耕作措施下黄土高原旱地土壤质量综合评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008.
- [6] Sterner R W, Elser J J. Ecological stoichiometry: the biology of elements from molecules to the biosphere [M]. Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2002.
- [7] 杨惠敏, 王冬梅. 草—环境系统植物碳氮磷生态化学计量学及其对环境因子的响应研究进展[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 244-252.
- [8] 许淑青, 张仁陟, 董博, 等. 耕作方式对耕层土壤结构性能及有机碳含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(2): 203-208.
- [9] Ouédraogo E, Mando A, Stroosnijder L. Effects of tillage, organic resources and nitrogen fertiliser on soil carbon dynamics and crop nitrogen uptake in semi-arid West Africa[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 91(1): 57-67.
- [10] 王栋, 李辉信, 李小红, 等. 覆草旱作对稻田土壤活性有机碳的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 75-83.
- [11] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 免耕对农牧交错带农田休闲期土壤风蚀及其相关土壤理化性状的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(9): 3778-3784.
- [12] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 等. 中国保护性耕作研究分析: 保护性耕作与作物生产[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1914-1924.
- [13] Roldán A, Caravaca F, Hernández M T, et al. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico)[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 72(1): 65-73.
- [14] 张洁, 姚宇卿, 金轲, 等. 保护性耕作对坡耕地土壤微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持学报, 2008(4): 126-129.
- [15] Dao T H. Tillage and crop residue effects on carbon dioxide evolution and carbon storage in a Paleustoll[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(1): 250-256.
- [16] Salinas-Garcia J R, Hons F M, Matocha J E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(1): 152-159.
- [17] 杨景成, 韩兴国, 黄建辉, 等. 土壤有机质对农田管理措施的动态响应[J]. 生态学报, 2003, 23(4): 787-796.
- [18] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤, 等. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 549-552.
- [19] 杨海涛. 保护性耕作不同施肥模式下土壤特性与春玉米生长发育研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [20] Triplett G B, Dick W A. No-tillage crop production: A revolution in agriculture! [J]. Agronomy Journal, 2008, 100(S): 153-165.
- [21] 曾德慧, 陈广生. 生态化学计量学: 复杂生命系统奥秘的探索[J]. 植物生态学报, 2005, 29(6): 1007-1019.
- [22] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 2-6.
- [23] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [24] 韩兴国, 李凌浩, 黄建辉. 生物地球化学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [25] Güsewell S, Koerselman W, Verhoeven J T A. Biomass N: P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands[J]. Ecological Applications, 2003, 13(2): 372-384.
- [26] Tessier J T, Raynal D J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation[J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40(3): 523-534.