

## 耕作方式与秸秆还田对土壤肥力的影响

陈丽, 马贤超, 田宝庚, 刘世平\*

(江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏省作物栽培生理重点实验室, 江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心, 扬州大学, 江苏扬州 225009)

**摘要** [目的]探讨不同耕作方式与秸秆还田对土壤肥力影响。[方法]利用扬州大学连续定位的稻麦两熟保护性耕作试验平台为主要技术, 试验共设置6个处理(连续免耕秸秆覆盖、轮耕1、轮耕2、翻耕秸秆全量还田、少耕秸秆半量还田、翻耕秸秆不还田)。[结果]秸秆还田, 特别是翻耕秸秆全量还田(CTS)有助于提高土壤耕层有机质的含量, 但土壤有机质含量受秸秆还田量的多少和翻耕程度影响不大。与其他处理相比, 少耕(MTS)和翻耕秸秆还田(CTS)处理均能提高土壤全氮含量。[结论]连续免耕秸秆覆盖处理显著提高了土壤表层的碱解氮、速效磷、速效钾含量。一定程度的秸秆还田也有助于土壤养分的提高。

**关键词** 耕作方式; 秸秆还田; 土壤肥力; 影响

中图分类号 S158 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)10-0064-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.10.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Tillage Methods and Straw Returning on Soil Fertility

CHEN Li, MA Xian-chao, TIAN Bao-geng et al (Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Key Laboratory of Crop Cultivation and Physiology of Jiangsu Province, Collaborative Innovation Center of Modern Industrial Technology of Food Crops of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009)

**Abstract** [Objective] The research aimed to explore the effects of different tillage methods and straw returning on soil fertility. [Method] Using Yangzhou University's continuously positioned rice and wheat two-crop conservation tillage test platform as the main technology, the experiment set up six treatments (no-tillage and straw mulching, rotation tillage 1, rotation tillage 2, convention tillage and full straw returning, minimum tillage and half straw returning and the convention tillage). [Result] The straw returning to the field, especially the convention tillage and convention tillage and full straw returning (CTS), could improve the organic matter content of the soil, but the soil organic matter content was affected by the straw returning amount. The amount and the degree of tillage had little effect. Compared with other treatments, both minimum tillage (MTS) and tillage and straw returning (CTS) treatment could increase soil total nitrogen content. [Conclusion] Continuous no-till straw mulching treatment significantly increased the content of alkali nitrogen, available phosphorus and available potassium in the soil surface. A certain degree of straw returning also contributes to the improvement of soil nutrients.

**Key words** Tillage methods; Straw returning; Soil fertility; Effect

保护性耕作最早起源于美国20世纪30年代, 至今已有80多年的历史<sup>[1]</sup>。美国保护性耕作信息中心将秸秆残茬覆盖至少30%的耕作方式称为保护性耕作, 如免耕、带状耕作、覆盖耕作等<sup>[2]</sup>, 对界定保护性耕作提出了一个量化指标。2002年, 我国农业部将保护性耕作定义为尽可能地对农田减少耕作, 只要保证种子发芽, 并将农作物秸秆及残茬覆盖地表, 以减少风蚀、水蚀的侵害, 提高土壤和抗旱能力的一项先进的农业耕作技术<sup>[3]</sup>。随着研究的不断深入, 其内涵也在不断更新, 目前综合国内外的研究认为保护性耕作是能保护土壤结构, 改善耕地环境, 将经济、生态、社会协同发展, 利用少免耕、适当密植及改造技术的较完善的可持续农业技术配套措施<sup>[4]</sup>。

作物秸秆是指农作物收获后残留的不能食用的茎叶等副产品, 含有丰富的氮、磷、钾及微量元素, 能弥补钾化肥的不足<sup>[5]</sup>。对农业生产具有很大的利用价值<sup>[6-7]</sup>。作物秸秆的高效利用成为发展可持续农业的重要方向。我国是农业大国, 秸秆资源丰富, 随着农业主产区大量过剩的秸秆资源

问题日趋突出, 近几年来受到了政府的关注及重视<sup>[8]</sup>。伴随着作物产量的提高, 秸秆量也在不断地增加, 据调查, 2000年全国秸秆资源总量为5.541亿t<sup>[9]</sup>, 2009年秸秆资源量达8.2亿t<sup>[10]</sup>, 但利用率却不高, 如何有效利用秸秆资源, 杜绝环境污染成了一个难题。而秸秆还田是解决秸秆浪费的重要措施之一<sup>[6]</sup>, 大量研究均表明, 秸秆还田能改善土壤物理性状、增加土壤肥力、提高作物产量, 因此推广秸秆还田技术<sup>[11]</sup>、优化还田方式具有重要的现实意义。

土壤耕作的目的是为作物提供一个良好的生长环境并较好地维持农田的生产力, 近几年来以免耕为主要措施的保护性耕作大受欢迎。目前, 关于免耕与秸秆还田对土壤质量的影响研究较多, 结果也大同小异, 但对土壤肥力还缺乏长期定位试验和一套总体的评价体系<sup>[12-15]</sup>, 为此, 笔者选择扬州大学试验田(稻麦两熟区)进行连续定位试验, 目的是进一步说明免耕与秸秆还田对土壤肥力的影响, 从而进一步推广正确的免耕与秸秆还田技术, 为促进该区域生态农业的发展提供理论参考。

### 1 材料与方法

**1.1 供试土壤理化性质** 该试验在扬州大学试验田进行, 试验田土壤为砂壤土, 有机质 17.66 g/kg、全氮 1.07 g/kg、碱解氮 80.6 mg/kg、速效磷 22.6 mg/kg、速效钾 95.5 mg/kg; 采用稻麦两熟的种植制度。

**1.2 试验设计** 试验采用随机区组试验, 共设置6个处理

**基金项目** 科技部重点研发计划项目(2016YFD0200107); 科技部国家科技支撑计划(2015BAD01B03); 江苏省重点研发计划(BE2015337); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)。

**作者简介** 陈丽(1994—), 女, 江苏靖江人, 硕士研究生, 研究方向: 作物栽培耕作新理论与新技术。\*通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事作物栽培与耕作的教学与科研工作。

**收稿日期** 2019-01-19

(表 1), 3 次重复, 分布在 18 个小区, 每个小区面积为 50 m<sup>2</sup>, 每个小区间筑埂隔离。

表 1 试验设计  
Table 1 Test design

处理 Treatment	耕作方式 Tillage methods	秸秆还田量 Straw returning amount
NTS	连续免耕秸秆覆盖还田	秸秆还田量为每季 4 500 kg/hm <sup>2</sup>
RT1	麦耕稻免	麦季翻耕稻季免耕, 秸秆还田量为稻季 3 000 kg/hm <sup>2</sup>
RT2	麦免稻耕	麦季免耕稻季翻耕, 秸秆还田量为麦季 3 000 kg/hm <sup>2</sup>
CTS	翻耕秸秆全量还田	秸秆还田量为 4 500 kg/hm <sup>2</sup>
MTS	少耕秸秆半量还田	秸秆还田量为 3 000 kg/hm <sup>2</sup>
CT	翻耕秸秆不还田	秸秆不还田

**1.3 测定方法及内容** 在 2016—2017 年, 稻后和麦后按 5 点取样法取 0~7、7~14、14~21 cm 3 层土壤, 风干后测定土壤有机质、全氮和速效氮磷钾含量。用半微量开氏法测定土壤全氮; 用重铬酸钾-外加加热法测定土壤有机质; 用碱解扩散法测定土壤碱解氮; 用 NaHCO<sub>3</sub> 法测定土壤速效磷的含量; 用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提-火焰光度计法测定土壤速效钾的含量。

**1.4 数据处理** 数据结果用 EXCEL 进行记录和汇总, 用 SPSS 数据分析工具获取试验所得数据的方差分析。

## 2 结果与分析

**2.1 对土壤有机质的影响** 土壤有机质是土壤的重要组成部分, 也是衡量土壤肥力的重要指标之一, 对土壤水肥气热、物理性状上也有着重要影响。在水稻收获后和小麦收获后对不同处理的土壤有机质含量进行测定, 土壤有机质含量在耕层之间有一定差异性, 中上层有机质含量较高, 各处理土壤有机质含量随耕层不断降低, 其中 NTS 处理有机质含量主要富集于耕作上层(0~7 cm), CT 处理和 RT1 处理在土壤上层(0~7 cm)显著低于其他处理, 其中 CT 与 CTS、MTS 差异显著。翻耕处理(CTS、MTS)以及轮耕处理(RT1、RT2)在土壤底层(14~21 cm)的有机质含量较免耕处理(NTS)略高。其原因可能是因为免耕没有人对土壤进行翻动, 施用的肥料及植物残渣很少地进入底层土壤, 而翻耕可以使土肥融合, 下层有机物质进入较多。秸秆还田处理(NTS、RT1、RT2、CTS、MTS)的有机质含量均高于无秸秆还田处理(CT)。

**2.2 对土壤全氮的影响** 由表 3 可见, 各处理土层全氮含量变化趋势基本与有机质一致。NTS 处理下土壤全氮含量主要集中于土壤表层(0~14 cm), 且呈明显的层次性分布。翻耕条件下, 土壤全氮含量均以 CT 处理较低, 但差异不显著, 说明秸秆还田能提高土壤全氮含量。秸秆还田处理下, 翻耕(CTS、MTS)以及轮耕处理(RT1、RT2)上下层全氮含量差距较小, 分布比较均匀, 原因是翻耕过程中来回交替了上下层土壤, 后期施用的肥料可以更好地溶入土层。CTS 处理在中下层(7~21 cm)土壤全氮含量略小于 MTS 处理。综上所述, 相较于其他处理, 少耕(CTS)和翻耕秸秆还田处理(MTS)均

能提高土壤全氮含量, 连续免耕影响全耕层土壤全氮含量的提高。

表 2 免耕与秸秆还田对土壤有机质含量的影响  
Table 2 Effect of no-tillage and straw returning on soil organic matter content

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	水稻收后 Rice after harvest	小麦收后 Wheat after harvest
0~7	NTS	19.66±0.74 a	20.85±0.02 a
	RT2	19.05±0.58 ab	20.46±0.36 a
	RT1	19.09±4.76 ab	18.45±1.24 ab
	CTS	20.07±2.81 a	19.90±2.67 a
	MTS	17.81±2.62 b	19.28±1.66 a
	CT	15.77±0.59 c	17.19±0.06 b
7~14	NTS	14.73±0.41 b	14.91±0.20 b
	RT2	17.02±2.23 a	17.62±1.25 a
	RT1	15.57±2.86 ab	16.61±2.27 ab
	CTS	16.82±0.40 a	18.26±2.26 a
	MTS	15.95±0.80 ab	16.56±1.00 ab
	CT	14.71±1.63 b	15.37±1.04 b
14~21	NTS	11.09±0.82 b	11.47±1.27 b
	RT2	12.90±1.07 a	13.32±0.99 ab
	RT1	13.33±1.00 a	13.74±0.61 ab
	CTS	12.90±0.16 a	14.78±3.30 a
	MTS	12.67±0.43 ab	15.17±0.45 a
	CT	11.70±0.21 b	12.31±2.49 b

注: 同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences

表 3 免耕与秸秆还田对土壤全氮含量的影响  
Table 3 Effect of no-tillage and straw returning on soil total nitrogen content

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	水稻收后 Rice after harvest	小麦收后 Wheat after harvest
0~7	NTS	1.22±0.13 a	0.82±0.04 b
	RT2	1.20±0.04 a	0.93±0.07 b
	RT1	1.13±0.02 a	0.81±0.04 b
	CTS	1.16±0.01 a	0.90±0.00 b
	MTS	1.12±0.09 a	1.13±0.04 a
	CT	1.08±0.17 a	0.81±0.03 b
7~14	NTS	0.95±0.06 ab	0.88±0.08 b
	RT2	1.09±0.05 a	1.29±0.11 a
	RT1	1.00±0.06 ab	1.11±0.07 ab
	CTS	1.07±0.04 a	1.13±0.14 ab
	MTS	1.09±0.12 a	1.17±0.05 ab
	CT	0.88±0.01 b	0.88±0.17 b
14~21	NTS	0.69±0.00 b	0.60±0.11 b
	RT2	0.81±0.09 b	1.05±0.08 ab
	RT1	0.75±0.02 b	0.91±0.11 ab
	CTS	0.83±0.03 b	1.01±0.14 ab
	MTS	1.07±0.05 a	1.13±0.15 a
	CT	0.78±0.04 ab	0.93±0.22 ab

注: 同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences

## 2.3 对土壤速效养分的影响

**2.3.1 对土壤碱解氮的影响。**由表4可知,各处理土壤碱解氮含量均随耕层的加深而降低。土壤上层(0~7 cm)CT处理下碱解氮含量最低,NTS处理最大。下层(14~21 cm)土壤碱解氮含量在NTS处理下最低,进一步说明免耕条件下土壤养分存在于土壤表面,不利于土肥相融。稻后轮耕(RT1)及翻耕处理(CTS、MTS)在7~21 cm土层中碱解氮含量大于NTS处理和CT处理,说明适当的轮耕或翻耕以及秸秆还田能够提高碱解氮含量。水稻收后碱解氮含量都低于麦后,其原因可能是水稻吸收氮素较多,而小麦相对较少。

表4 免耕与秸秆还田对土壤碱解氮含量的影响

Table 4 Effect of no-tillage and straw returning on soil alkaline nitrogen content mg/kg

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	水稻收后 Rice after harvest	小麦收后 Wheat after harvest
0~7	NTS	106.96±2.44 ab	109.65±1.05 a
	RT2	106.05±2.45 ab	108.70±1.20 a
	RT1	89.59±2.35 ab	93.80±3.50 b
	CTS	101.63±0.75 a	108.50±2.40 a
	MTS	98.97±1.77 ab	101.50±0.00 ab
	CT	81.90±2.10 b	92.75±1.75 b
7~14	NTS	79.80±2.80 b	79.10±1.40 b
	RT2	93.10±6.30 ab	105.70±4.20 a
	RT1	81.20±1.40 b	82.60±1.90 b
	CTS	92.40±1.00 a	93.45±2.45 ab
	MTS	86.59±1.61 ab	95.20±2.10 ab
	CT	78.40±1.40 b	84.22±3.72 b
14~21	NTS	64.96±1.64 b	57.40±2.10 b
	RT2	73.50±0.10 a	77.70±1.60 a
	RT1	65.26±0.87 b	72.45±2.45 a
	CTS	71.93±2.07 a	72.10±1.40 a
	MTS	72.10±1.90 a	80.85±2.35 a
	CT	67.33±1.27 ab	79.10±1.20 a

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences

**2.3.2 对土壤速效磷的影响。**土壤速效磷含量的结果表明(表5),水稻收后连续免耕秸秆覆盖还田(NTS)与CT中下层速效磷含量较低,但各处理的速效磷在土壤上层没有显著差异;小麦收后CTS和MTS处理中下土层(7~21 cm)的速效磷含量显著高于CT处理,耕作表层各处理间没有明显的差异。各处理不同层次之间基本上呈下降趋势,但翻耕处理下降幅度不大,各处理耕层间差异幅度也较小。因此,在土壤速效磷方面,适当翻耕和轮耕及秸秆还田可提高速效磷含量。

**2.3.3 对土壤速效钾的影响。**在水稻收后和小麦收后对土壤速效钾含量进行测定,结果发现(表6),速效钾含量在免耕处理(NTS)下,在土层0~7 cm处有明显的富集现象,各层次之间有较大差异,中下层速效钾含量仅高于CT处理。无论是水稻收获后还是小麦收获后,CT处理下土壤速效磷含量均最低,这也进一步地说明秸秆还田都能增加耕层土壤中

的速效钾含量。

表5 免耕与秸秆还田对土壤速效磷含量的影响

Table 5 Effect of no-tillage and straw returning on soil available phosphorus content mg/kg

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	水稻收后 Rice after harvest	小麦收后 Wheat after harvest
0~7	NTS	34.31±1.79 a	32.42±0.65 a
	RT2	34.04±0.97 a	31.97±2.58 a
	RT1	34.03±2.55 a	32.71±1.98 a
	CTS	31.57±1.95 a	34.08±0.52 a
	MTS	32.83±0.67 a	34.09±1.75 a
	CT	32.17±3.08 a	30.13±0.19 a
7~14	NTS	23.85±1.48 b	26.99±0.74 b
	RT2	36.53±0.64 a	28.28±1.98 ab
	RT1	29.85±1.57 b	28.10±0.55 ab
	CTS	33.49±2.02 ab	36.12±1.01 a
	MTS	35.08±0.25 ab	36.94±0.74 a
	CT	27.65±1.42 b	24.87±1.57 b
14~21	NTS	20.26±0.38 b	23.76±0.65 b
	RT2	31.94±1.62 a	23.40±2.30 b
	RT1	24.95±1.46 b	22.75±2.95 b
	CTS	32.65±0.05 a	31.51±1.65 a
	MTS	32.74±1.81 a	31.14±0.18 a
	CT	26.00±1.22 ab	21.46±0.37 b

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences

表6 免耕与秸秆还田对土壤速效钾含量的影响

Table 6 Effect of no-tillage and straw returning on soil available potassium content mg/kg

土层 Soil layer cm	处理 Treatment	水稻收后 Rice after harvest	小麦收后 Wheat after harvest
0~7	NTS	118.79±2.66 a	119.78±1.07 a
	RT2	113.11±2.65 ab	104.00±1.97 ab
	RT1	121.32±0.22 a	98.05±0.97 b
	CTS	118.79±0.11 a	115.92±1.84 a
	MTS	121.57±0.12 a	119.89±1.96 a
	CT	106.28±7.06 b	97.98±1.89 b
7~14	NTS	90.88±0.74 b	86.06±1.05 ab
	RT2	103.38±1.39 a	88.13±1.98 ab
	RT1	103.39±0.37 a	92.09±1.84 a
	CTS	104.68±1.21 a	97.98±2.86 a
	MTS	106.16±1.39 a	98.05±3.97 a
	CT	83.84±0.24 b	72.24±0.92 b
14~21	NTS	78.36±1.23 b	72.24±1.98 ab
	RT2	90.77±1.24 a	80.11±1.03 ab
	RT1	92.26±1.72 a	70.20±1.93 ab
	CTS	99.21±5.55 a	72.24±1.92 ab
	MTS	90.87±2.78 a	90.11±3.97 a
	CT	77.04±2.70 b	64.22±1.88 b

注:同一列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences

## 3 小结与讨论

经过多年连续定位试验发现,连续免耕秸秆还田处理中下层紧实度高,会对土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾产生富集于表层土壤的影响,提高了土壤上层养分含量。

(下转第69页)

田翻旋耕等人为因素影响而碎裂。

### 3 结论

(1) 山东省连续覆膜 4 年薯田中氧化生物双降解地膜残留量为  $19.92 \text{ kg/hm}^2$ , 残膜片数为  $180.0 \text{ 万片/hm}^2$ , 分别较聚乙烯地膜减少 51% 和 41%。

(2) 氧化生物双降解地膜残留主要集中在耕层中, 0~10 cm 层中最多, 约占总量的 58%; 10~20 cm 土层次之, 约占总量的 23%; 20~30 cm 最少, 只占总量的 19%, 相互之间差异显著。氧化生物双降解地膜较聚乙烯地膜大幅减少了残膜在耕层底部的分布比例。

(3) 氧化生物双降解地膜残留膜片以中块膜 ( $4 \sim 25 \text{ cm}^2$ ) 和小块膜 ( $<4 \text{ cm}^2$ ) 为主, 大块膜 ( $>25 \text{ cm}^2$ ) 数量仅占 1.4%, 残膜破碎程度大幅增加, 大大降低了大块残膜对农事操作的阻碍和影响。

### 参考文献

- [1] 陈奇恩. 中国塑料薄膜覆盖农业[J]. 中国工程科学, 2002, 4(4): 12-15, 21.
- [2] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 等. 我国地膜应用污染现状及其防治途径研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 533-538.
- [3] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业

(上接第 66 页)

而在翻耕或轮耕条件下, 秸秆还田可以最大程度地提高土壤中营养元素的含量。连续免耕 (NTS)、轮耕 (RT1、RT2) 和翻 (少) 耕秸秆还田处理 (CTS、MTS) 的土壤有机质含量, 无论在稻后还是麦后都维持在较高水平, 较 CT 相比有很大程度的提高。在连续翻 (少) 耕的条件下, 不同的秸秆还田量对土壤有机质、全氮、碱解氮的影响不大, 而秸秆半量还田处理有利于速效磷、速效钾含量的提高。

正确的耕作方式可以使土地利用趋于合理, 从而提高土壤肥力。长期使用单一的耕作方式容易恶化土壤理化性质, 流失土壤养分, 不利于作物产量提高。适当地转变不同的耕作方式能节省成本, 提高土壤养分含量。但如何将耕作方式与秸秆还田措施具体化以及如何与肥料结合利用, 使其发挥最佳效果, 仍需要做进一步更深层次的研究。

### 参考文献

- [1] 李安宁, 范学民, 吴传云, 等. 保护性耕作现状及发展趋势[J]. 农业机械学报, 2006, 37(10): 177-180.
- [2] 王幸, 王宗标, 齐玉军, 等. 保护性耕作研究与应用进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(5): 3-7.

- 工程学报, 2006, 22(11): 269-272.
- [4] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [5] MOLLER K, GEVERT T. Ane holmstrom examination of a low density polyethylene (LDPE) film after 15 years of service as an air and water vapour barrier[J]. Polymer degradation and stability, 2001, 73(1): 69-74.
- [6] 杨惠娣. 塑料农膜与生态环境保护[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 110-113.
- [7] 王敬国. 农用化学物质的利用与污染控制[M]. 北京: 北京出版社, 2001: 73.
- [8] 徐刚, 杜晓明, 曹云者, 等. 典型地区农用地膜残留水平及其形态特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(1): 79-83.
- [9] 袁俊霞. 农用残膜的污染与防治[J]. 农业环境与发展, 2003(1): 31-32.
- [10] 杜晓明, 徐刚, 许端平, 等. 中国北方典型地区农用地膜污染现状调查及其防治对策[J]. 农业工程学报, 2002, 2(2): 225-227.
- [11] 麻世华, 叶东平, 麻成军. 农用塑料薄膜的残留危害及控制措施[J]. 现代化农业, 1997(10): 5-6.
- [12] 袁海涛, 王丽红, 董灵艳, 等. 氧化-生物双降解地膜降解性能及增温、保墒效果研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(23): 166-170.
- [13] 袁海涛, 于谦林, 贾德新, 等. 氧化-生物双降解地膜降解性能及其对棉花生长的影响[J]. 棉花学报, 2016, 28(6): 602-608.
- [14] 刘蕊, 孙仕军, 张旺旺, 等. 氧化生物双降解地膜覆盖对玉米田间水热及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12): 1-7.
- [15] 严昌荣, 王序俭, 何文清, 等. 新疆石河子地区棉田土壤中地膜残留研究[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3470-3474.
- [16] 马辉, 梅旭荣, 严昌荣, 等. 华北典型农区棉田土壤中地膜残留特点研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 570-573.

- [3] 路明. 现代农业与生态文明[C]// 第四届中国杰出管理者年会论文集. 北京: 中国未来研究会, 2008.
- [4] 尹雪巍. 保护性耕作技术的发展[J]. 南方农机, 2018(19): 89.
- [5] PATHAK H, SINGH R, BHATIA A, et al. Recycling of rice straw to improve wheat yield and soil fertility and reduce atmospheric pollution[J]. Paddy and water environment, 2006, 4(2): 111-117.
- [6] 王宁堂, 王军利, 李建国. 农作物秸秆综合利用现状、途径及对策[J]. 陕西农业科学, 2007(2): 112-115.
- [7] 董志强, 朱红霞, 白昕欣, 等. 秸秆还田对小麦幼苗生长和土壤养分变化的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(6): 77-81.
- [8] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91.
- [9] 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242-247.
- [10] 全国农作物秸秆资源调查与评价报告[J]. 农业工程技术(新能源产业), 2011(2): 2-5.
- [11] 张芳. 谈秸秆还田的作用及影响[J]. 农机使用与维修, 2018(1): 76.
- [12] 刘世平, 陈后庆, 聂新涛, 等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 51-56.
- [13] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [14] 张志国, 徐琪, BLEVINS R L. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质及玉米产量的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 384-391.
- [15] 庄恒扬, 曹卫星, 沈新平, 等. 麦-稻两熟集约生产土壤养分平衡与调控研究[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 766-770.