

Effects of Returned-Straw on Potassium Cycle in Wheat-Maize Rotation Systems

Liang Dong^{1,2*}, Shenzhong Tian^{1,2}, Yufeng Zhang^{1,3}, Honghai Guo^{2#}, Ruiqin Li^{1,2},
Ye Tian^{1,3}, Jiifa Luo²

¹Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Science, Jinan Shandong

²Key Laboratory of Agro-Environment in Huanghuaihai Plain Ministry of Agriculture, Jinan Shandong

³Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer Shandong Provincial, Jinan Shandong

Email: dl_xm@163.com, #honghaig@163.com

Received: Dec. 6th, 2019; accepted: Dec. 19th, 2019; published: Dec. 26th, 2019

Abstract

In order to discuss potassium cycle in farmland ecosystem under returned-straw condition, we decorate field experiment to study effects of different returned-straw quantity on potassium cycle in wheat-maize rotation systems. The results showed that returned-straw could increase the contents of water-soluble potassium, exchangeable potassium and total potassium in different soil layers. The total potassium content increased the most when the straw was returned to the field by 150%, and the soil available potassium content was the highest when the straw was returned to the field by 100%. Straw no-returning to the field or too low amount of returning to the field would lead to the deficiency of soil potassium and decrease soil potassium supply capacity. Due to the interception of straw, straw mulching could reduce the amount of potassium taken away by runoff and leached water, and increase the water and fertilizer conservation performance of soil. 150% straw returning to the field could reduce runoff and leached amount, and reduce the amount of potassium carried away by runoff and leached water to the maximum, so as to ensure a relatively enriched or surplus state of soil potassium pool.

Keywords

Wheat-Maize Rotation Systems, Returned-Straw, Potassium Cycle, Farmland Ecosystem, Annual Apparent Profit and Loss of Potash Fertilizer

小麦/玉米轮作下秸秆还田对钾循环的影响

董亮^{1,2*}, 田慎重^{1,2}, 张玉凤^{1,3}, 郭洪海^{2#}, 李瑞琴^{1,2}, 田叶^{1,3}, 罗加法²

¹山东省农业科学院农业资源与环境研究所, 山东 济南

²农业农村部黄淮海平原农业环境重点实验室, 山东 济南

*第一作者。

#通讯作者。

³山东省植物营养与肥料重点实验室, 山东 济南
Email: dl_xm@163.com, honghaig@163.com

收稿日期: 2019年12月6日; 录用日期: 2019年12月19日; 发布日期: 2019年12月26日

摘要

为探讨秸秆还田条件下农田生态系统钾循环规律, 通过田间试验, 研究了不同秸秆还田量对麦-玉轮作体系下农田生态系统钾循环的影响。结果表明, 秸秆还田能增加不同土层中土壤不同形态钾含量, 土壤水溶性钾、交换性钾及全钾含量随土层加深呈现增多趋势。从不同秸秆还田量来看, 以150%秸秆还田处理的全钾含量增幅最大, 以100%秸秆还田处理的土壤速效钾含量最高。秸秆不还田及还田量过低会导致土壤钾素表现为亏缺状态, 土壤供钾能力降低。由于秸秆的截获作用, 秸秆还田可以减少随径流及淋溶水带走的钾量, 增加土壤的保水、保肥性能。150%秸秆还田在减少径流、淋溶量, 降低随径流、淋溶水带走的钾素量最多, 能保证土壤钾库一个相对较富集或盈余状态。

关键词

小麦/玉米轮作, 秸秆还田, 钾循环, 农田生态系统, 钾肥年表观盈亏量

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

农田生态系统是人工生态系统, 其养分循环过程受人类活动的影响, 不合理的人类活动会对农田生态系统造成不利影响[1], 例如不合理的施肥会造成生态环境的恶化。农业的持续发展不能只依靠化肥和能源的投入, 还必须摸清农田生态系统内部养分循环规律和平衡特性[2], 才能对土壤养分水平的发展趋势进行预测, 并采取合理的调控措施[3], 从而使有限的养分得到最大限度的利用。目前有关氮循环和磷循环研究较多, 钾循环研究却很少。而众所周知, 钾是动植物生长发育过程中所必需的元素, 是地壳中第7个最丰富的元素[4], 但由于农业生产过程中施肥的不均衡, 长期以来人们忽略了钾肥的使用, 土壤缺钾已成为中国农业生产中普遍存在的限制因子。因此, 通过科学途径提高土壤的供钾能力, 减少土壤对钾的固定, 提高钾肥的利用率, 这对提高作物产量、降低生产成本以及保护生态环境将起到重要的作用。

秸秆还田是缓解中国钾肥资源紧缺以及发展可持续农业的有效途径[5], 在补充土壤钾含量和克服土壤钾赤字方面具有意义。研究表明, 作物体内80%以上的钾存在于秸秆中, 秸秆还田后释放的钾素可不同程度地替代钾肥施用[6], 但目前秸秆有效利用现状却不容乐观[7]。据统计, 中国农作物秸秆总量约 6.2×10^8 t, 可收集利用的秸秆约为 4.8×10^8 t, 其中能用于还田培肥的秸秆 2.4×10^8 t, $3.25 \times 10^8 \sim 4.2 \times 10^8$ t 的秸秆还是作为薪柴被直接燃烧掉, 即被直接烧掉的秸秆占秸秆总量的65%~84% [8]。以草木灰为例, 在南方主要用于蔬菜地和部分油料作物, 归还大田的不多, 在北方草木灰往往和有机肥混合施用, 反而造成大量氮损失[9] [10]。并且在黄淮海区域小麦-玉米1年2熟的轮作制度下, 由于秸秆还田引起的作物出苗率低、病害草等问题日趋凸显[11], 更加影响了人们秸秆还田的积极性。

研究表明,在实际农业生产中秸秆在不能有效分解的情况下,秸秆还田量问题会影响秸秆的培肥改土作用[12][13]。秸秆还田后农田生态系统发生变化,因此需要结合作物的生长、种植管理措施等,探明农田生态环境尤其是耕作层土壤情况。因此,本研究选定黄淮海区域的一处粮食高产区——德州市平原县,当地亦存在大量秸秆资源利用率低、环境污染的问题,在当地1年2熟的小麦-玉米轮作制度下,探讨秸秆不同还田量条件下对农田生态系统钾循环的影响,从钾素的投入、支出、地表径流、深层土壤入渗及形态变化,摸清农田生态系统钾循环规律,明确秸秆还田对农田生态系统钾循环的影响,从而达到提高秸秆资源的利用效率、指导钾肥科学施用、实现资源的循环利用。

2. 材料与方法

2.1. 试验时间、地点

田间试验于2013年10月在德州市平原县张华镇进行。

试验点位于鲁西北黄河冲积平原,东经115°45'~117°36'、北纬36°24'25"~38°0'32"之间。南北长39 km,东西宽48 km,总面积1047 km²,南依泰山,北望京津,距德州市30 km。属于暖温带大陆性季风气候,四季分明,干湿季明显,春季干旱多风,夏季湿热多雨,秋季凉爽,冬季干冷少雨雪,年平均降水535 mm,年平均日照时数2592小时。地形平坦,土层深厚,种植业发达,实行小麦-玉米1年2作的种植制度。当地土壤类型为潮土,其基本理化性质见表1。

Table 1. Basic physical and chemical properties of soil

表 1. 土壤基本理化性质

有机质/%	碱解氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)	pH 值
1.34	65.12	23.45	156.01	8.47

2.2. 试验材料

供试肥料:速效尿素施用大颗粒尿素,N含量46%;速效磷肥施用过磷酸钙,P₂O₅含量44%;速效钾肥施用硫酸钾,K₂O含量50%。

供试作物:玉米,品种“登海605”;小麦,品种“济麦21”。

2.3. 试验方法

2.3.1. 试验设计

试验共设4个处理,每个处理重复3次:1) 秸秆不还田(CK);2) 50%两季秸秆还田(50% ST);3) 100%两季秸秆还田(100% ST);4) 150%两季秸秆还田(150% ST)。

2.3.2. 施肥量及施肥方法

所有处理的施肥均按照当地农民习惯,小麦季施肥量为N 240.0 kg/hm²,P₂O₅ 132 kg/hm²,K₂O 105 kg/hm²,玉米季施肥量为N 240.0 kg/hm²,P₂O₅ 120 kg/hm²,K₂O 105 kg/hm²,磷钾肥作基肥一次施入,氮肥的基追比小麦季为5:5、玉米季为6:4。

2.3.3. 试验小区布置

采用长期定位试验,修建定位池。每个定位池设计面积为42.5 m²。定位池土下四周用水泥板隔断,每个定位池内设置用于接收淋溶水、径流水的装置,试验地安装自动气象站,以收集降水信息。试验地紧挨水渠,满足试验灌溉用水需求。具体定位试验现场见图1。

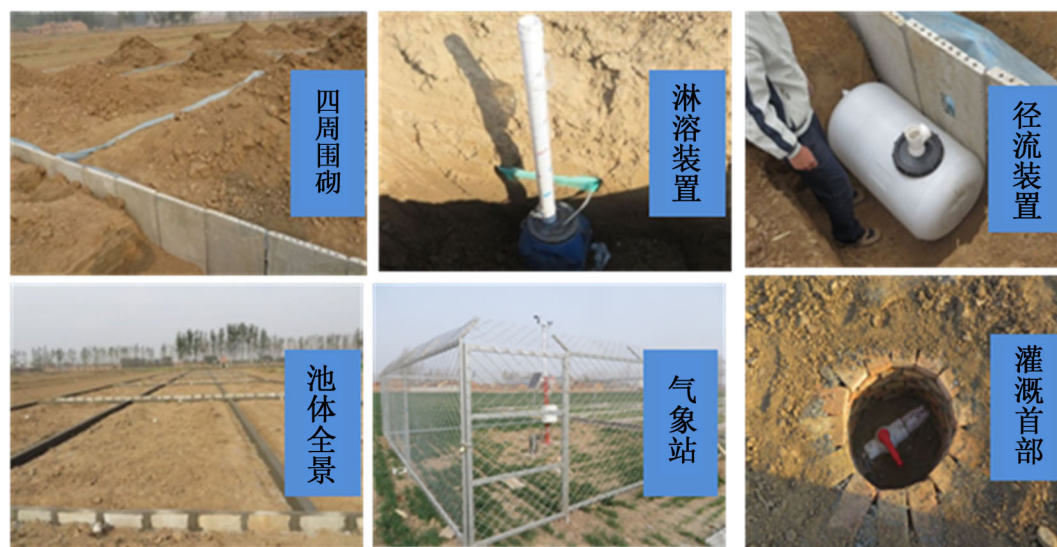


Figure 1. Field diagram of long-term positioning test

图 1. 长期定位试验现场图

2.3.4. 秸秆还田处理方法

小麦季为秸秆粉碎后翻耕入土、玉米季为小麦秸秆粉碎后地表覆盖。秸秆还田量按照每年作物产量与秸秆系数之间换算得出具体数量。

2.3.5. 日常管理及取样方法

日常管理按照当地农民习惯。收获后计产，统计产量，测定籽粒及秸秆全钾含量、0~100 cm 土层土壤水溶性钾、交换性钾、非交换性钾及全钾含量，测定淋溶水、径流水中钾含量，计算钾素年表观盈亏量。试验数据截至 2016 年玉米季收获。

2.3.6. 指标测定方法

作物钾含量采用浓 H_2SO_4 消煮 - 火焰光度计法测定，土壤水溶性钾采用 H_2O 浸提 - 火焰光度计法测定，土壤速效钾采用醋酸铵浸提 - 火焰光度计法测定，土壤缓效钾采用硝酸浸提 - 火焰光度计法测定，土壤全钾采用氢氧化钠熔融 - 火焰光度计法测定[14]。钾肥年表观盈亏量 = 年钾肥投入量 - 作物吸钾量，钾肥产量效应 = 施钾增产量/施钾量。

2.4. 统计分析

用 DPS 软件进行数据方差分析，用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

3. 结果与分析

3.1. 不同秸秆还田量对土壤中钾形态的影响

通过 3 年定位试验，研究了秸秆不同还田量对土层中不同形态钾含量的影响。由表 2 可以看出，秸秆还田可以增加不同土层中土壤水溶性钾、交换性钾及全钾含量，并且随着土层的加深，土壤水溶性钾、交换性钾及全钾含量呈现增多趋势。在 0~100 cm 土层，与对照处理相比，50%秸秆还田、100%秸秆还田、150%秸秆还田处理的土壤水溶性钾分别增加 12.22%、141.37%、137.05%，土壤交换性钾分别增加 4.51%、6.43%、2.51%，土壤全钾分别增加 6.47%、9.09%、13.25%。原因可能是因为秸秆还田增加土壤通透能力，秸秆分解的部分钾随水分向下淋洗的缘故。秸秆还田后非交换性钾在不同土层的分布及 0~100 cm 土层总

的分布没有表现明显规律，这可能是因为非交换性钾受土壤矿物学组成和风化程度影响，是衡量土壤长期供钾能力，短期内通过秸秆还田不会使土壤非交换性钾产生较大变幅。

在与在不同秸秆还田量处理中，以 150% 秸秆还田处理的全钾含量增幅最大。但是，以作物直接吸收的速效钾(速效钾 = 水溶性钾 + 交换性钾)来看，以 100% 秸秆还田处理的土壤速效钾含量最高，达 809.84 mg/kg。

Table 2. Effect of straw mulching amount on soil potassium morphology

表 2. 秸秆还田量对土壤钾形态的影响

处理	土层深度 (cm)	不同土层水溶性钾 (mg/kg)	水溶性钾 (mg/kg)	不同土层交换性钾 (mg/kg)	交换性钾 (mg/kg)	不同土层非交换性钾 (mg/kg)	非交换性钾 (mg/kg)	不同土层全钾 (10^4 mg/kg)	全钾 (10^4 mg/kg)
CK	0~20	3.01		138.67		179.67		1.20	
	20~40	2.68		137.67		168.00		1.29	
	40~60	4.01	16.12	149.33	731.00	161.67	827.34	1.27	6.49
	60~80	3.52		151.00		169.67		1.41	
	80~100	2.90		154.33		148.33		1.32	
50% ST	0~20	3.33		145.33		165.67		1.39	
	20~40	4.21		153.33		177.67		1.35	
	40~60	3.54	18.09	149.00	764.00	152.33	815.33	1.40	6.91
	60~80	3.12		155.67		152.33		1.38	
	80~100	3.89		160.67		167.33		1.39	
100% ST	0~20	4.33		141.67		149.00		1.42	
	20~40	5.85		154.00		177.33		1.34	
	40~60	6.21	26.84	158.67	778.00	152.67	804.00	1.45	7.08
	60~80	4.46		164.33		162.00		1.40	
	80~100	5.99		159.33		163.00		1.47	
150% ST	0~20	5.00		139.00		159.67		1.45	
	20~40	5.45		143.00		174.67		1.38	
	40~60	4.57	26.36	149.00	749.33	149.33	798.33	1.46	7.35
	60~80	4.96		153.33		151.33		1.52	
	80~100	6.38		165.00		163.33		1.54	

3.2. 不同秸秆还田量对作物带入、带出钾量的影响

由表 3、表 4 可以看出，秸秆还田量影响秸秆带入、秸秆带出与籽粒带出的钾量。

显而易见的，随着秸秆还田量的增多，还田秸秆带入的钾量增多，50% ST、100% ST、150% ST 还田带入土壤的钾量分别为 277.09 kg/hm²、597.83 kg/hm²、891.68 kg/hm²，相应的移出的秸秆钾量减少，分别为 554.18 kg/hm²、597.83 kg/hm²、594.45 kg/hm²。表 4 数据显示，与对照相比，50% ST、100% ST、150% ST 处理通过籽粒移出土壤的钾量分别增加 41.3 kg/hm²、94.5 kg/hm²、77.37 kg/hm²，这与秸秆还田后增加小麦、玉米产量这一规律相符。

Table 3. Influence of straw mulching amount on potassium (K_2O) brought in and taken out by straw**表 3.** 秸秆还田量对秸秆带入及带出的钾量(K_2O)的影响

处理	小麦秸秆平均含钾量(%)	玉米秸秆平均含钾量(%)	作物三年秸秆还田量(kg/hm^2)	秸秆还田带入钾量(kg/hm^2)	未还田秸秆带出钾量(kg/hm^2)
CK	0.42	1.46	0	0	531.00
50% ST	0.49	1.48	27,000.00	277.09	554.18
100% ST	0.56	1.57	54,000.00	597.83	597.83
150% ST	0.57	1.55	81,000.00	891.68	594.45

Table 4. Effect of straw mulching amount on potassium K_2O (K_2O) taken out by grain**表 4.** 秸秆还田量对籽粒带出钾量(K_2O)的影响

处理	小麦籽粒平均含钾量(%)	玉米籽粒平均含钾量(%)	小麦三年产量(kg/hm^2)	玉米三年产量(kg/hm^2)	籽粒带出钾量(kg/hm^2)
CK	0.15	0.22	21,617.61	30,658.83	99.88
50% ST	0.21	0.28	22,890.45	33,252.11	141.18
100% ST	0.29	0.35	23,836.46	35,787.28	194.38
150% ST	0.30	0.33	22,932.27	32,864.34	177.25

3.3. 降水及灌溉带入水量

通过自动气象站记录 3 年降水量数据, 每次降水从气象站接水器中收取降水样, 根据降水中平均钾含量及累积降水量等, 计算 3 年由降水带入的钾量。

其中, 小麦季降水量累积 759 mm, 2014 玉米季降水量累积 1021 mm, 累积 3 年由降水带入钾量为 $6.41 kg/hm^2$; 在灌溉方面, 小麦季累积平均灌水量为 $1800 m^3/hm^2$, 玉米季累积平均灌水量为 $1500 m^3/hm^2$ 。根据灌溉水中平均钾含量, 累积三年由灌溉带入钾量为 $52.40 kg/hm^2$ 。

3.4. 不同秸秆还田量对径流及淋溶钾的影响

由表 5 可以看出, 由于还田秸秆的截获作用, 秸秆还田降低了径流及淋溶量, 也相应减少了由径流或淋溶带走的钾素。尤其是 150% ST。说明秸秆对径流或淋溶及养分起到了截获的作用, 保水、保肥能力增强。

Table 5. Effects of straw mulching amount on runoff and leached potassium**表 5.** 秸秆还田量对径流及淋溶带走的钾量的影响

处理	平均径流量(l/hm^2)	径流液平均钾浓度(mg/l)	径流带走钾(kg/hm^2)	平均淋溶量(l/hm^2)	淋溶液平均钾浓度(mg/l)	淋溶带走钾(kg/hm^2)
0 ST	221,940.51	12.20	2.71	66,073.90	5.27	0.35
50% ST	184,950.43	4.60	0.85	48,708.37	4.00	0.19
100% ST	134,124.48	8.35	1.12	44,472.82	9.90	0.44
150% ST	84,004.20	6.70	0.56	39,531.46	3.65	0.14

3.5. 不同秸秆还田量对农田生态系统钾循环的影响

由表 6 可以看出, 秸秆不还田条件下, 虽然正常投入钾肥, 但基于土壤系统来说, 钾素处于不断亏缺状态, 而实施秸秆还田措施, 基于土壤系统的钾素处于盈余状态, 说明在正常施用钾肥的条件下, 秸

秆还田能使土壤一直处于钾素持续富集的状态。

Table 6. Effect of straw returning amount on potassium circulation in farmland ecosystem
表 6. 秸秆还田量对农田生态系统钾循环的影响

处理	移入钾量(kg/hm ²)				移出钾量(kg/hm ²)				盈亏核算(盈余+, 亏损-)(kg/hm ²)
	秸秆	钾肥	灌溉水	降水	径流	淋溶	籽粒	秸秆	
0 ST	0	525	52.40	6.41	2.71	0.35	99.88	531.00	-50.13
50% ST	277.09	525	52.40	6.41	0.85	0.19	141.18	554.18	164.50
100% ST	597.83	525	52.40	6.41	1.12	0.44	194.38	597.83	387.87
150% ST	891.68	525	52.40	6.41	0.56	0.14	177.25	594.45	703.09

注: 钾盈余核算 = (秸秆 + 钾肥 + 灌溉水 + 降水) - (径流 + 淋溶 + 籽粒 + 秸秆)。

由表 7 可以看出, 基于土壤系统来说, 秸秆还田条件下如果投入钾肥为 0 kg/hm², 则只有 150% 秸秆还田的土壤处于钾素盈余状态, 其余处理的土壤钾素均处于持续消耗的状态。因此, 虽然秸秆还田能增加农田环境中钾素含量, 但钾肥投入仍非常必要。如果钾肥投入过少, 势必依靠耗竭土壤钾库来维持土地生产力, 长此以往, 土壤钾素持续亏缺、土壤自身调节功能持续减弱, 在一定程度上会限制农田生产力的继续提高, 所以在秸秆还田条件下仍然应该重视适量化学钾肥的施用[15]。

Table 7. Influence of straw returning amount without potassium fertilizer on potassium circulation in farmland ecosystem
表 7. 假设不投入钾肥下秸秆还田量对农田生态系统钾循环的影响

处理	移入钾量(kg/hm ²)				出移出钾量(kg/hm ²)				盈亏核算(盈余+, 亏损-)(kg/hm ²)
	秸秆	钾肥	灌溉水	降水	径流	淋溶	籽粒	秸秆	
0 ST	0	0	52.40	6.41	2.71	0.35	99.88	531.00	-575.13
50% ST	277.09	0	52.40	6.41	0.85	0.19	141.18	554.18	-360.50
100% ST	597.83	0	52.40	6.41	1.12	0.44	194.38	597.83	-137.13
150% ST	891.68	0	52.40	6.41	0.56	0.14	177.25	594.45	178.09

4. 结论

1) 秸秆还田可以增加不同土层中土壤水溶性钾、交换性钾及全钾含量, 并且随着土层的加深, 土壤水溶性钾、交换性钾及全钾含量呈现增多趋势。从不同秸秆还田量来看, 以 150% 秸秆还田处理的全钾含量增幅最大。但以作物直接吸收的速效钾来看, 以 100% 秸秆还田处理的土壤速效钾含量最高。

2) 由于秸秆的截获作用, 秸秆还田措施可以减少田间径流及淋溶水量, 并且减少随径流及淋溶水带走的钾素量, 亦说明秸秆还田可以增加土壤的保水、保肥性能。150% 秸秆还田在减少径流、淋溶量, 降低随径流、淋溶水带走的钾素量最大, 且能保证土壤钾库一个相对较富集或盈余状态。但考虑实际田间操作、可行性, 建议选取与之差异不显著的 100% 秸秆还田量, 亦能达到较好的效果。

3) 秸秆不还田及还田量过低, 会导致土壤钾素由于作物籽粒及不还田部分秸秆带走的钾而一直表现为亏缺状态, 致使土壤钾素逐渐耗竭, 土壤供钾能力降低, 因此需要科学实施秸秆还田以实现钾素养分的持续利用。

4) 小麦/玉米两作秸秆全量还田下施用钾肥, 土壤本底钾含量与秸秆还田带入钾量不能替代钾肥功效, 秸秆还田条件下科学施用钾肥仍毋庸置疑。

基金项目

山东省重点研发计划(公益类)“麦玉两熟农田的秸秆承载力及化肥减施技术研究与示范”(2018GNC111001);山东省大科学计划(优势特色主导产业发展专项)“黄河三角洲盐碱地智慧用养技术集成与示范”(20190103);海外泰山学者建设工程专项经费。

参考文献

- [1] 傅庆林, 俞劲炎, 王兆骞. 易旱农田生态系统养分循环的研究[J]. 应用生态学报, 1993, 4(2): 146-149.
- [2] 鲁如坤. 可持续农业与红壤利用[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1999: 8-15.
- [3] 张坤民, 朱达, 张世秋. 中国可持续发展[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 35-40.
- [4] Schroeder, D. (1978) Structure and Weathering of Potassium Containing Minerals. *Proceedings 11th Congress of the International Potash Institute*, Bern, 43-63.
- [5] 魏建林, 崔荣宗, 江丽华, 等. 潮土区小麦-玉米轮作周年秸秆还田及施钾效应研究[J]. 山东农业科学, 2018, 50(9): 61-65, 71.
- [6] 徐嘉翼, 牛世伟, 安景文, 等. 基于秸秆还田条件下辽北地区适宜耕作方式及施肥量研究[J]. 玉米科学, 2018, 26(5): 102-109.
- [7] 张锡洲, 刘岱. 资中县农田养分平衡与土壤养分变化初探[J]. 西南农业学报, 2001, 14(12): 21-25.
- [8] 杨林书, 阎成. 秸秆资源化研究[J]. 农业环境保护, 1993, 12(6): 271-273.
- [9] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 I. 农田养分支出参数[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 145-150.
- [10] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 II. 农田养分收入参数[J]. 土壤通报, 1996, 27(4): 151-154.
- [11] 高飞, 贾志宽, 路文涛, 等. 秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(3): 612-619.
- [12] 黄凯, 王娟, 何万春, 等. 秸秆还田量对土壤和马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019, 519(3): 26-31.
- [13] 李彬彬, 武兰芳. 秸秆还田条件下剖面土壤溶解性有机碳含量及其组分结构的变化[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(7): 1567-1577.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 146-292.
- [15] 张玉铭, 胡春胜, 毛任钊, 等. 华北太行山前平原农田生态系统中氮、磷、钾循环与平衡研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1863-1867.