

# 减量施肥对冬小麦生长及土壤养分的影响

张文伟<sup>1</sup>, 李利利<sup>2</sup>, 宋亚丽<sup>1</sup>, 王亚静<sup>1</sup>, 李可夫<sup>1</sup>, 高钰<sup>1</sup>, 李峰<sup>1</sup>

(1. 庆阳市农业科学研究所, 甘肃 庆阳 745000; 2. 平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000)

**摘要:** 研究了减量施肥对陇东旱塬区冬小麦生长及产量的影响。结果表明, 化肥减量施用配合有机肥模式可增加 0~60 cm 土层有机质、速效钾含量, 改善土壤肥力状况; 化肥减量施用配合秸秆还田模式在一定程度上增加实施当年 0~20 cm 土层全氮、全磷、全钾含量, 但短期内造成土壤 0~100 cm 土层内有机质、速效磷及 0~60 cm 土层土壤矿质氮和速效钾含量下降。氮磷钾肥配施有机肥、氮磷钾肥配秸秆还田的减肥措施均可有效提升冬小麦产量, 折合产量分别为 7 254.8、7 114.8 kg/hm<sup>2</sup>, 较不施肥模式分别增产 8.13%、6.05%。

**关键词:** 冬小麦; 生长; 土壤养分; 减肥模式

**中图分类号:** S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)01-0022-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2021.01.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2021.01.005)

我国是化肥、农药、地膜使用大国, 尤其化肥的使用, 对提高作物产量、确保粮食安全有重要意义<sup>[1]</sup>。但近年来我国过量施用化肥现象普遍, 导致肥料利用率偏低,

**收稿日期:** 2020-05-06; **修订日期:** 2020-10-10

**基金项目:** 甘肃省小麦产业技术体系植保与土肥岗位任务(GARS-01-07); 国家土壤质量数据中心观测监测任务(ZX02S280900); 国家农业环境数据中心观测监测任务(ZX03S2809); 庆阳市科技支撑项目(KN201307); 庆阳市财政预算专项项目“旱塬区冬小麦减肥减药技术及耕地质量提升研究与示范”; 第二次全国农业污染源普查任务“庆阳农业面源污染定位监测”; 甘肃省现代农业科技支撑体系区域创新中心重点科技项目(2020GAAS04-02)。

**作者简介:** 张文伟(1983—), 男, 甘肃镇原人, 高级农艺师, 主要从事粮食作物遗传育种及栽培技术研究工作。联系电话:(0)15339348489。Email: weiye-0333@163.com。

**通信作者:** 李利利(1983—), 男, 甘肃静宁人, 主要从事旱作农业土壤肥力和栽培技术研究工作。联系电话:(0)15339331735。Email: 94793242@qq.com。

- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 杨君林, 冯守疆, 车宗贤, 等. 大量元素水溶肥对河西绿洲灌区玉米经济性状及产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(12): 18-22.
- [16] 吴兵, 谢亚萍, 牛俊义, 等. 施磷对胡麻生长率和磷吸收利用率及其产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 114-119.
- [17] 崔红艳, 胡发龙, 方子森, 等. 不同水分处理对胡麻干物质积累与分配及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5): 34-40.
- [18] 候银莹, 叶祖鹏, 冯琳, 等. 施磷量对棉田土壤不同形态无机磷的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(12): 2834-2841.
- [19] HOLFORD I, PHOSPHORUS S. Its measurement and its up-take by plants[J]. Soil Research, 1997, 35(2): 229.
- [20] 俄胜哲, 杨志奇, 曾希柏, 等. 长期施肥黄绵土有效磷含量演变及其与磷素平衡和作物产量的关系[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3589.
- [21] 张少民, 郝明德, 柳燕兰. 黄土区长期施用磷肥对冬小麦产量、吸氮特性及土壤肥力的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(7): 159-163.

(本文责编: 郑立龙)

不仅没有促进作物增产,还造成了严重的环境污染,不利于农业可持续发展。为了在保证粮食增产稳产的基础上提升化肥利用率和耕地质量,农业农村部按照中央部署,坚持“一控两减三基本”目标,深入开展化肥农药使用量零增长行动。近年来,我国化肥利用率持续提高,2019年水稻、玉米、小麦三大粮食作物化肥利用率为39.2%,比2015年提高4.0%,比2017年提高1.4%,但与欧美等发达国家相比仍然有差距。推进化肥减量增效是一项长期任务,需要因地制宜、创新机制、强化措施,在质量兴农、绿色兴农的实践中持续推进,确保在2020年实现化肥农药利用率达到40%的目标<sup>[2]</sup>。过量单施化肥会造成土壤有机质含量降低、肥料利用率下降、速效养分含量降低、土壤微生物性状改变、土壤结构破坏等土壤肥力质量的改变<sup>[3-4]</sup>,施用有机肥和秸秆还田等有机物料具有增加土壤有机质、增加土壤有效养分、提高微生物及土壤酶活性、减少化肥使用量、提高肥料利用率、改善土壤结构的效果<sup>[5-7]</sup>。针对陇东旱塬区粮食种植的地域、土壤、气候等条件,我们于2017年冬小麦秋播时设置定位试验,研究了减量施肥对冬小麦生长及土壤养分的影响,以期为黄土高原旱塬区粮食作物生产提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

供试肥料为市售尿素(含N 46.4%)、普

通过磷酸钙(含 $P_2O_5$  12%)、硫酸钾(含 $K_2O$  51%),有机肥为腐熟羊粪(水分17.9%、总碳21.11%,总氮0.89%,总磷0.60%,总钾1.82%)。供试秸秆为小麦秸秆(总碳46.90%,总氮0.51%,总磷0.02%,总钾1.19%)。指示冬小麦品种为铜麦6号,由铜川市印台区农业技术推广中心和铜川市种子管理站选育,庆阳市农业科学研究院粮食作物研究所2015年从陕西大唐种业有限公司引进。

### 1.2 研究区概况

试验区位于甘肃省宁县和盛镇湫包头村( $107^{\circ} 47' 36'' E$ ,  $35^{\circ} 25' 07'' N$ ),海拔1233 m,土层深厚,光照充足,气候温和,属于旱半干旱气候。年均气温 $7 \sim 10^{\circ} C$ ,年日照 $2\ 250 \sim 2\ 600\ h$ ,无霜期 $140 \sim 180\ d$ ,年均降水 $480 \sim 660\ mm$ 。土壤为黑垆土,肥沃疏松,质地均一,通气性好,前茬小麦。土壤背景值样品于2017年9月24日采集(表1)。

### 1.3 试验方法

试验于2017年秋播开始设置化肥减施增效长期定位试验。共4个处理,即①不施肥(CK);②常规施肥(CF),即当地农户常规用量, $N\ 120\ kg/hm^2$ 、 $P_2O_5\ 100\ kg/hm^2$ 、 $K_2O\ 75\ kg/hm^2$ ;③氮磷钾肥配施有机肥(CF+M), $N$ 、 $P_2O_5$ 施用量比常规处理各减量50%, $K_2O$ 施用量减量30%,施入有机肥 $22.5\ t/hm^2$ ;④秸秆还田优化处理(OPT), $N$ 肥比常规减量15%, $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 各减量30%。小麦秸秆剪成 $2 \sim 3\ cm$ 小段,施入量 $3\ 750\ kg/hm^2$ 。肥料和秸秆人工均匀撒于地表,机械旋耕,均

表 1 0~20 cm 土壤养分背景值

土层/cm	有机质/(g/kg)	全氮/(g/kg)	矿质氮/(mg/kg)	全磷/(g/kg)	速效磷/(mg/kg)	全钾/(g/kg)	速效钾/(mg/kg)
0~20	13.00	0.80	11.06	0.75	11.87	20.78	115.42
20~40	10.30	0.60	10.82	0.60	4.22	21.33	93.93
40~60	10.69	0.53	13.88	0.45	2.06	22.94	90.44
60~80	11.69	0.60	16.03	0.50	1.38	21.34	88.69
80~100	11.70	0.59	10.01	0.54	1.47	21.49	85.94

作为基肥一次性施用。试验面积 400 m<sup>2</sup>(20 m × 20 m), 3 次重复, 随机区组排列。2017 年 9 月 26 日机械播种, 播量 187.5 kg/hm<sup>2</sup>, 行距 20 cm。2018 年 6 月 26 日收获。田间管理同当地大田。

#### 1.4 样品测定方法

小麦收获后于 2018 年 9 月 12 日采集 0 ~ 100 cm 土壤样品, 每 20 cm 为 1 个土层, 每小区分别取 3 个样点组成混合土样, 测定土壤养分含量。每小区随机选取 50 株考种, 收获 40 m<sup>2</sup> 计产。土壤有机质用重铬酸钾油浴法, 土壤全氮、全磷分别用浓硫酸 + 催化剂消煮和硫酸 + 高氯酸消煮, 流动分析仪测定; 土壤全钾用氢氧化钠熔融, 火焰光度计测定; 土壤矿质氮和速效磷分别用 1 mol/L 氯化钾浸提和 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提, 流动分析仪测定; 土壤速效钾用 1 mol/L 乙酸铵浸提, 火焰光度计测定。

#### 1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 整理数据、制图, 用 SPSS19.0 进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 有机质

由图 1 可以看出, 随着土壤剖面加深, 有机质含量呈先下降后增加趋势。0 ~ 100 cm 土层有机质含量以 CF+M 处理最高, 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60 cm 分别为 13.21、10.51、10.50 g/kg, 分别比 CK 增加 10.6%、4.3%、15.9%。可见减量化肥配施有机肥可以提高土壤 0 ~ 60 cm 土层有机质含量。OPT 处理在第 1 年会导致有机质含量下降, 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80 cm 各土层有机质含量比 CK 分别下降 8.7%、9.4%、13.0%、10.7%。CF + M 处理由于施入有机肥, 0 ~ 60 cm 土层有机质含量高出试验背景值, 同时 0 ~ 100 cm 各土层有机质含量均

显著高于其余处理; CK、CF、OPT 处理 0 ~ 100 cm 土层有机质含量均低于试验背景值。

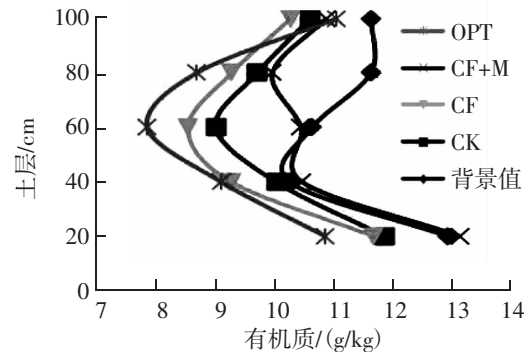


图 1 不同处理对土壤有机质含量的影响

### 2.2 全氮、矿质氮

2.2.1 全氮 通过图 2(a)可以看出, 各减量施肥处理下, 土壤全氮在 0 ~ 60 cm 土层内随着土层深度急剧下降, 之后随着土层加深缓慢增加。经过一季冬小麦生长, 0 ~ 100 cm 土层中的全氮含量与试验初始值无差异。其中 CK 处理 0 ~ 20 cm 土层的全氮含量低于背景值和其他处理。CF 处理的 40 ~ 60 cm 土层全氮含量低于背景值和其他处理。在 80 ~ 100 cm 土层中, 不同处理的土壤全氮含量均高于背景值。

2.2.2 矿质氮 土壤矿质氮主要包括铵态氮和硝态氮, 来源一是施入氮肥的残留, 二是土壤中有机的矿化<sup>[8]</sup>。从图 2(b)可以看出, 经过一季冬小麦生长, 矿质氮在经过作物吸收、损失后, 各处理下矿质氮含量显著低于背景值, 不同施肥处理对 0 ~ 60 cm 土层矿质氮影响明显。0 ~ 20 cm 土层内, CF+M 处理矿质氮含量较 CK 显著增加, 增幅为 27.29%, 其余处理较 CK 无明显差异; 20 ~ 60 cm 土层内, 3 个施肥处理土壤矿质氮含量较 CK 均有下降趋势, 但 CF 处理降幅最大, 20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm 土层土壤矿质氮分别下降 33.9%、16.1%。随着土层加深, 至 60 cm 以下, 矿质氮趋于稳定, 含量保持在 2.5 mg/kg 左右。

### 2.3 全磷、速效磷

2.3.1 全磷 由图 3(a)可知,各处理土壤全磷含量随土层加深呈先快速下降后缓慢升高的趋势,至 60 cm 左右全磷含量最少,60 cm 以下土层全磷含量又逐渐增加。种植一季冬小麦后,各处理在 40~60 cm 土层全磷含量均高于试验背景值,其他土层全磷含量无明显变化。不同施肥处理间对土壤剖面全磷含量的影响不明显,在 0~20 cm 土层,CF、CF+M、OPT 处理土壤全磷含量均高于 CK,20 cm 以下土层内,各施肥处理全磷含量均与 CK 无明显差异。

2.3.2 速效磷 从图 3(b)可以看出,速效磷含量在 0~60 cm 范围内随土层深度增加而呈不规则降低趋势,60 cm 以下无显著变化,这与磷在土壤中的扩散移动极弱有关<sup>[9]</sup>。所

有处理的 0~20 cm 土层中土壤速效磷含量低于试验背景值,而 40~100 cm 各土层种植小麦后较背景值有增加趋势,说明施肥、作物根系分泌物等可以促进磷的有效矿化。不同处理对土壤剖面速效磷含量的影响较显著。与不施肥处理相比,0~20 cm 土层 CF 处理和 CF+M 处理的速效磷含量增加,而 OPT 处理无明显变化;20~100 cm 土层中,3 个施肥处理土壤有效磷含量不规则下降,降幅为 9.34%~49.24%。

### 2.4 全钾、速效钾

2.4.1 全钾 由图 4(a)可以看出,不同施肥处理对 0~100 cm 土层全钾含量影响较大。冬小麦收获后,CF+M 处理土壤全钾含量在 0~100 cm 土层剖面分布较均匀,随着土层加深略有增加。OPT 处理在 20~40、80~

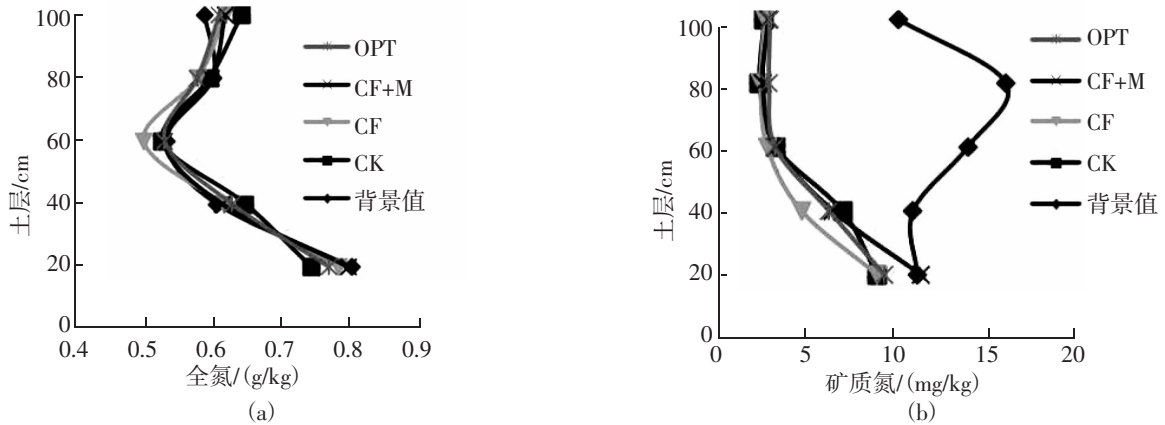


图 2 不同处理对土壤全氮、矿质氮含量的影响

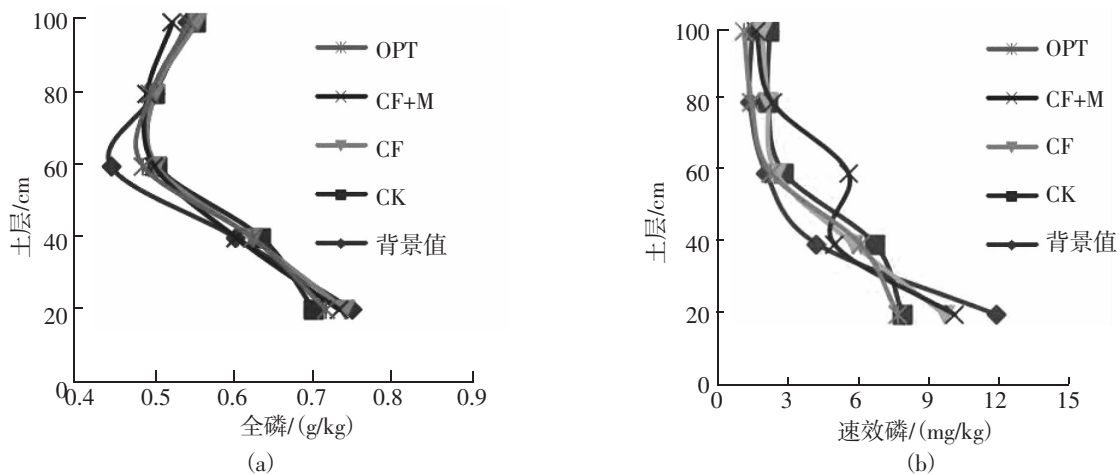


图 3 不同处理对土壤剖面全磷、速效磷含量的影响



100 cm 土层全钾分布较少, 在 0~20、40~80 cm 土层含量较高。CF 处理全钾含量随着土层加深快速下降, 至 40 cm 土层降到最低, 且显著低于 CK, 之后快速增加。不同处理 0~20 cm 和 60~100 cm 土层土壤中全钾含量均高于试验背景值, 在 40~60 cm 土层中均低于试验背景值, 与 CK 相比, 其他 3 个处理 0~40、80~100 cm 土层中全钾含量均降低, 说明种植冬小麦后, 经作物吸收和土壤固定, 各施肥处理未能显著增加土壤全钾的含量。

2.4.2 速效钾 从图 4(b)可以看出, 不同处理 0~100 cm 土层速效钾含量均高于试验背景值。各处理速效钾含量在 0~40 cm 土层显著高于 40 cm 以下, 且 40 cm 以下土层速效钾含量相对稳定, 维持在 93.2~99.0 mg/kg。与 CK 相比, CF+M 处理除 20~40 cm 土层外, 均可以增加其余土层土壤速效钾含量, 增幅为 1.1%~17.1%, OPT 处理增加了 60 cm 以下土层速效钾含量。而 CF 处理较 CK,

除 0~20 cm 外, 其余土层速效钾含量均略有下降, 降幅为 0.8%~3.8%。说明 CF+M 处理对提高收获期耕层和 60 cm 以下土层速效钾含量的效果优于 OPT, CF 处理未能提高土壤速效钾含量。

### 2.5 小麦主要性状及产量

通过表 2 可以看出, 施肥处理均可有效提高冬小麦产量。方差分析表明, 不同处理株高、有效穗数均较 CK 显著增加, 穗长、穗粒数、千粒重无显著差异。冬小麦折合产量以 CF+M 处理最高, 为 7 254.8 kg/hm<sup>2</sup>, 较 CK 增产 8.13%; 其次是 OPT 处理, 为 7 114.8 kg/hm<sup>2</sup>, 较 CK 增产 6.05%; CF 处理为 7 092.5 kg/hm<sup>2</sup>, 较 CK 增产 5.71%。

### 3 小结与讨论

试验表明, 在陇东旱塬条件下, 化肥减量施用配施有机肥模式可增加 0~60 cm 土层有机质速效钾含量, 改善土壤肥力状况; 化肥减量施用配合秸秆还田模式在一定程度上增加实施当年 0~20 cm 土层全氮、全磷、

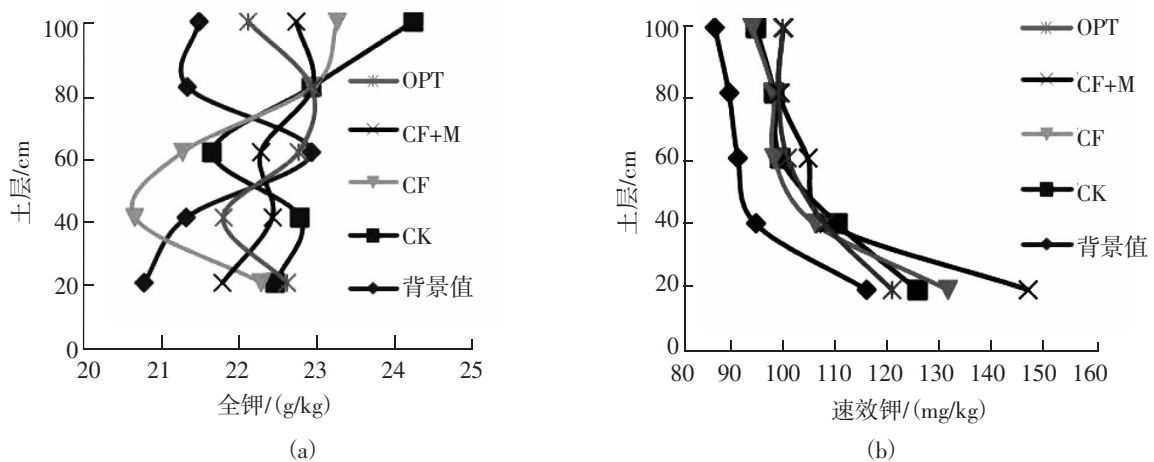


图 4 不同处理对土壤剖面全钾、速效钾含量的影响

表 2 不同处理冬小麦的主要性状及产量

处理	株高 /cm	穗长 /cm	穗粒数 /个	有效穗数 /(万穗/hm <sup>2</sup> )	千粒重 /g	折合产量 /(kg/hm <sup>2</sup> )	增产率 /%
CK	79.8	7.7	40.7	483.0	40.2	6 709.1	
CF	81.2*	8.3	40.7	501.0*	40.9	7 092.5	5.71
CF+M	82.0*	8.3	40.3	520.5*	40.6	7 254.8	8.13
OPT	82.4*	8.0	40.7	510.0*	40.4	7 114.8	6.05

全钾含量,但短期内造成土壤0~100 cm土层内有机质、速效磷及0~60 cm土层土壤矿质氮和速效钾含量下降。氮磷钾肥配施有机肥、氮磷钾肥配秸秆还田的减肥措施均可有效提升冬小麦产量<sup>[10]</sup>,折合产量分别为7 254.8、7 114.8 kg/hm<sup>2</sup>,较不施肥模式分别增产8.13%、6.05%,但各处理间的产量差异不显著。

与试验种植前相比,经过一季冬小麦种植后,由于作物生长进程中施入化肥、有机肥和秸秆还田,作物残体进入土壤,可以促进0~100 cm土壤剖面速效磷和速效钾的增加,但同时造成土壤矿质氮含量减少。长期大量单施化肥已被证明会对土壤肥力特征造成多方面的负面影响<sup>[3-4]</sup>,化肥处理中的氮多为无机态,易发生挥发和硝酸盐淋失<sup>[11]</sup>,除了被作物吸收利用以外,大多损失在环境中,造成养分大量浪费和引起环境污染。施用有机肥来改善土壤肥力质量是一项常规的生产措施,但其效果受到诸多因素的影响,如气候、土壤、作物、种植管理模式、有机、有机肥来源、施肥量等<sup>[12]</sup>。减施化肥,增施有机肥和秸秆还田措施可影响土壤微生物区系,进而影响作物产量<sup>[13-15]</sup>。同一地块若能连续多年采用该措施,土壤培肥效果会更显著。化肥减量施用配施有机肥和秸秆还田对土壤理化性状及剖面养分的影响,需通过长期监测数据进行综合系统分析。

#### 参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [2] 王田,李竞涵.我国化肥农药利用率最新数据公布 说说数字背后的事[J].农药市场信息,2020(1):19.
- [3] 汪建飞,邢素芝.农田土壤施用化肥的负效应及其防治对策[J].农业环境保护,1998,17(1):40-43.
- [4] 刘 骅,林英华,张云舒,等.长期施肥对灰漠土生物群落和酶活性的影响[J].生态学报,2008,28(8):3898-3904.
- [5] 宇万太,姜子绍,马 强,等.施用有机肥对土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1057-1064.
- [6] 宋震震,李絮花,李 娟,等.有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):525-533.
- [7] 吴其聪,张丛志,张佳宝,等.不同施肥及秸秆还田对潮土有机质及其组分的影响[J].土壤 2015(6):1034-1039.
- [8] 巨晓棠,李生秀.旱地土壤供氮能力研究进展[J].干旱地区农业研究,1993(11):43-48.
- [9] N HESKETH, P C BROOKES. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching [J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29: 105-110.
- [10] 董园园,张 娜,杭 杰.化肥减量对小麦生长发育及产量效益的影响[J].农业科技通讯,2019,12:142-146.
- [11] 黄 晶,高菊生,张杨珠,等.长期不同施肥下水稻产量及土壤有机质和氮素养分的变化特征[J].应用生态学报,2013,24(7):1889-1894.
- [12] 王 平,胡明芳,田长彦.施肥对北疆一年两作模式土壤质量的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(12):112-118.
- [13] 李永斌,李云龙,关国华,等.植物根际促生菌的筛选、鉴定及其对小麦的减肥增产效果[J].农业生物技术学报,2020,8:1471-1476.
- [14] 黄 涛,冯福学,车宗贤,等.免耕与秸秆覆盖对绿洲灌区冬小麦产量及土壤水分的影响[J].甘肃农业科技,2020(6):1-6.
- [15] 李 阳,张占军,胡相莉,等.有机发酵菌肥施用量对兰州百合生长发育的影响[J].甘肃农业科技,2020(3):27-30.

(本文责编:陈 伟)