

## 施用化肥和农家肥对白花麦品质的影响

王文新<sup>1,2</sup>, 任明见<sup>1,2</sup>, 钱小康<sup>1,2</sup>, 王忠妮<sup>3</sup>, 王怀玉<sup>1,2</sup>, 徐如宏<sup>1,2</sup>, 李鲁华<sup>1,2\*</sup> (1. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025; 2. 国家小麦改良中心贵州大学分中心, 贵州贵阳 550025; 3. 贵州省农业科学院水稻研究所, 贵州贵阳 550006)

**摘要** [目的] 研究施用化肥和农家肥对白花麦品质的影响。[方法] 通过对未施肥料、单施化肥和单施农家肥 3 个不同处理白花麦的蛋白质品质和淀粉品质分别进行综合评价分析和对应分析, 着重分析单施农家肥小麦具有的优良品质指标。[结果] 蛋白质品质分析结果表明, 与未施肥料相比, 施用农家肥和施用化肥都能够增强小麦面粉筋力(其形成时间和稳定时间以及粉质指数升高, 而软化度降低), 从而提高小麦的加工品质。RSR 综合评价分析表明, 施用化肥的白花麦小麦的蛋白综合品质优于未施肥料优于施用农家肥的; 进一步的对应分析表明, 施用化肥的小麦具有较高的稳定时间和吸水率等, 未施肥料的具有较高的沉降值和软化度等分别是其蛋白综合品质好的主要原因。淀粉品质分析结果表明, 施用农家肥使得小麦在淀粉糊化特性方面表现出明显优势, 其中峰值黏度、最终黏度、回升值、峰值温度和稀懈值均高于未施肥处理的, 从而提高了小麦的淀粉品质; 相反地, 施用化肥的则低于未施肥处理的。RSR 综合评价分析表明, 施用农家肥白花麦小麦的淀粉综合品质优于施用化肥和未施肥料的; 进一步的对应分析表明, 施用农家肥小麦淀粉综合品质好的主要原因是其具有较高的峰值黏度和较好的回升值等引起的。[结论] 施用农家肥能够提高小麦加工品质的面粉筋力部分指标和淀粉品质的糊化特性部分指标, 特别是提高了淀粉综合品质, 从而改善小麦品质。该研究为小麦减肥增效中农家肥的科学施用提供理论依据。

**关键词** 化肥; 农家肥; 小麦品质; 减肥增效; RSR 综合评价

**中图分类号** S512.1; S14 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)04-0158-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.04.043



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effect of Applying Chemical Fertilizer and Farmyard Manure on the Quality of Baihuamai

WANG Wen-xin<sup>1,2</sup>, REN Ming-jian<sup>1,2</sup>, QIAN Xiao-kang<sup>1,2</sup> et al (1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Guizhou Sub-center of National Wheat Improvement Center, Guiyang, Guizhou 550025)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the effect of applying chemical fertilizer and farmyard manure on the quality of Baihuamai. [Method] We carried out comprehensive evaluation analysis and correspondence analysis to protein quality and starch quality of Baihuamai which with three different treatments of no fertilizer, chemical fertilizer alone and farmyard manure alone, respectively. And the excellent quality traits of wheat with farmyard manure alone were analyzed emphatically. [Result] Protein quality analysis demonstrated: Application of chemical fertilizer and farmyard manure both could increase gluten strength of wheat flour (its development time and stability time as well as farinogram quality number increased, but degree of softening decreased), therefore improve processing quality in wheat. The comprehensive evaluation of RSR showed that the comprehensive quality of protein of Baihuamai wheat applied to chemical fertilizer was better than that of no fertilizer application, which was better than the application of farmyard manure; Further correspondence analysis demonstrated Baihuamai with chemical fertilizer possess higher stability time and water absorption et al and no fertilizer possess higher zeleny and degree of softening et al which contributed the better protein comprehensive quality of wheat, respectively. Starch quality analysis demonstrated: Baihuamai with farmyard manure treatment showed significant advantage in starch gelatinization properties, among which peak viscosity, final viscosity, setback, peak temperature and breakdown all were higher than those with no fertilization, therefore improve the starch quality of wheat. The comprehensive evaluation analysis of RSR showed that the comprehensive quality of protein of Baihuamai wheat applied to farmyard manure was better than that of chemical fertilizer and no fertilizer application. Further correspondence analysis demonstrated Baihuamai with farmyard manure possess higher peak viscosity and better setback et al which contributed the better starch comprehensive quality of wheat. [Conclusion] Application of farmyard manure can improve partly gluten strength traits of wheat flour in processing quality and partly starch gelatinization properties traits of starch quality especially improve the starch comprehensive quality, furthermore improve wheat quality. This study provides a theoretical basis for the scientific application of farmyard manure in wheat.

**Key words** Chemical fertilizer; Farmyard manure; Wheat quality; Weight loss and efficiency; RSR comprehensive evaluation

小麦是我国最重要的粮食作物之一。近年来随着人们生活水平的提高, 对小麦品质提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。研究认为小麦品质受到基因型和环境等因素的影响<sup>[2]</sup>, 其中肥料施用既为植物的生长发育提供直接的营养来源, 也影响着土壤的生态环境<sup>[3-4]</sup>。因此, 肥料施用与小麦品质紧密相关。氮肥施用对小麦品质有明显的调节作用, 在一定范围内增施氮肥可以提高小麦的品质<sup>[5-7]</sup>。然而, 过量肥料的投入会导致环境污染和土地退化等一系列问题。

土壤退化日渐成为影响作物产量和食品安全的全球性问题, Rashid 等<sup>[8]</sup>评估结果表明未来几十年将有 30% 的农田逐渐沦为退化土地。研究发现, 化肥特别是氮肥的过量使用造成的不同组分土壤碳的分解<sup>[9]</sup>和低碳投入引起的土壤有机质的严重下降<sup>[10]</sup>等是导致土地退化的重要原因。我国针对农业生产中化肥的过量使用现象, 已经提出化肥“减量增效”的绿色发展理念。Liu 等<sup>[11]</sup>研究表明施用农家肥有利于提高土壤有机碳含量。进一步研究发现施用农家肥能够增加土壤中的总碳量, 从而改善耕地土壤的质量以及提高小麦对氮素的吸收等<sup>[12-13]</sup>, 进而减缓土地退化。农家肥是普遍施用的 2 种有机肥料之一。与化学肥料相比, 有机肥具有增加土壤有机质、提高土壤保水能力以及减轻田间土壤侵蚀等优势<sup>[14-15]</sup>。早在 20 世纪 80 年代, 我国河南省南阳地区农业科

**基金项目** 国家自然科学基金项目(31660390); 贵州省农业成果转化计划项目(黔科合成果(2016)4022号); 国家“七大农作物育种”重点专项(2017YFD0100900); 贵州大学人才引进项目(贵大人基合字(2017)49号)。

**作者简介** 王文新(1996—), 男, 苗族, 贵州遵义人, 从事作物遗传育种研究。\*通信作者, 讲师, 博士, 从事作物遗传育种研究。

**收稿日期** 2018-10-01

学研究所已经报道通过有机肥和无机肥合理配合施用可以提高小麦产量和品质以及改善土壤等<sup>[16]</sup>。可见,施用农家肥对于改善土壤、减少环境污染以及提高小麦品质等方面均有一定的调节作用。

长期施用农家肥的土壤能够促进小麦生长和光合作用、提高小麦产量<sup>[17-18]</sup>、降低小麦对重金属镉的吸收<sup>[17,19]</sup>以及提高小麦对锌的吸收<sup>[19-20]</sup>,从而改善小麦的品质。虽然大量研究已经揭示了农家肥在影响小麦品质方面的重要作用,然而农家肥对小麦品质(如蛋白质品质和/或淀粉品质)中具体指标(如沉降值和/或糊化温度等)影响的报道相对较少。李燕青等<sup>[21]</sup>对施用当量(施氮 225 kg/hm<sup>2</sup>)鸡粪、猪粪和牛粪的小麦品质进行研究,发现单施鸡粪和猪粪对小麦各品质指标的提升作用与单施化肥相当,表明一定条件下施用鸡粪和猪粪可以替代化肥。笔者以未施肥料、单施农家肥和单施化肥 3 种常规施肥的小麦为试验材料,采用秩和比(RSR)综合分析和对应分析方法对不同施肥方式的小麦蛋白质品质和淀粉品质指标进行分析,着重分析单施农家肥小麦具有的优良品质指标,以期小麦减肥增效中农家肥的科学施用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

**1.1 试验地概况** 该试验地位于贵州省黔西南州贞丰县龙场镇坡柳村(105°32'E, 25°24'N),属亚热带高原季风湿润气候,年平均气温 15.3 ℃,年降水量 1 352 mm,无霜期 318 d。试验地土壤质地为弱酸性黄壤,种植制度为冬小麦-夏水稻或者冬小麦-夏高粱一年两熟轮作制。

**1.2 试验材料** 试验材料为小麦(品种为白花麦)。由于白花麦做出的面条口感好,因而受到当地居民的青睐,自 20 世纪 50 年代至今该地区一直延续种植该小麦品种。

**1.3 试验设计** 该试验设计 3 个处理:空白对照(不施任何肥料);只施用农家肥,小麦播种前一次性施入(农家肥, 7 500 kg/hm<sup>2</sup>);只施用化肥(尿素, 750 kg/hm<sup>2</sup>),小麦播种前一次性施入;试验中常规肥料用量是参考当地农民(生产实际)施肥量。随机区组排列,3 次重复,田间管理方式一致。

**1.4 样品处理和测定** 此次试验使用超微粉碎机粉碎进行全麦粉样品的制备,使用 Bradender 小型实验磨进行面粉样品的制备。

蛋白质含量采用 FOSS8400 型全自动定氮仪(凯氏定氮法)测定,参照 GB 5009.5—2016 方法进行,其中换算系数为 6.25;湿面筋含量采用仪器法进行测定,参照 GB/T 5506.2—2008 方法进行;沉降值采用 Zeleny 法测定,参照 NY/T 1095—2006 方法进行;总淀粉含量参照双波长法方法<sup>[22]</sup>进行;淀粉糊化特性采用粘度仪法测定,参照 GB/T 14490—2008 方法进行。

**1.5 数据处理及分析** 运用 Excel 进行数据统计及整理, SAS(statistics analysis system)进行数据的对应分析和 RSR(rank sum ratio)综合分析。

## 2 结果与分析

**2.1 不同处理对白花麦品种(系)蛋白质品质指标的影响** 小麦的蛋白质品质指标包括蛋白质含量(PC)、湿面筋含量(GC)、面筋指数(GI)、形成时间(DT)、吸水率(WA)、稳定时间(ST)、弱化度(DOS)以及粉质指数(FQN)等因子。其中蛋白质含量、湿面筋含量和沉降值是反映小麦蛋白质品质的重要因子。从表 1 可以看出,白花麦品种(系)蛋白质含量(13.74%±1.36%)和湿面筋含量(27.61%±3.73%)属于国标中筋标准蛋白质含量(11.5%~15.0%)和湿面筋含量(22%~35%)的范围内,基本判定为中筋小麦品种(系),适宜制作馒头和面条。

**2.1.1 蛋白质品质综合分析。**该试验运用 RSR 综合评价法对未施肥料、施用农家肥和施用化肥 3 种不同处理白花麦品种(系)的蛋白质品质指标进行综合分析(表 1),结果发现 3 种不同处理白花麦品种(系)的 RSR 值表现为施用化肥(0.79)>未施肥料(0.71)>施用农家肥(0.50)。该试验蛋白质品质综合分析结果表明,施用化肥的白花麦品种(系)的蛋白质综合品质优于未施肥料的,但是没有显著差异;施用化肥和未施肥料的蛋白质综合品质显著优于施用农家肥的( $P<0.05$ )(图 1A)。然而,施用化肥和农家肥使得白花麦品种(系)在小麦粉质指标方面表现出施用化肥的>施用农家肥的>未施肥料的趋势。施用农家肥小麦的形成时间(DT)和稳定时间(ST)以及粉质指数(FQN)高于未施肥料的,而弱化度(DOS)低于未施肥料的,表明施用农家肥能够增强小麦面粉筋力。

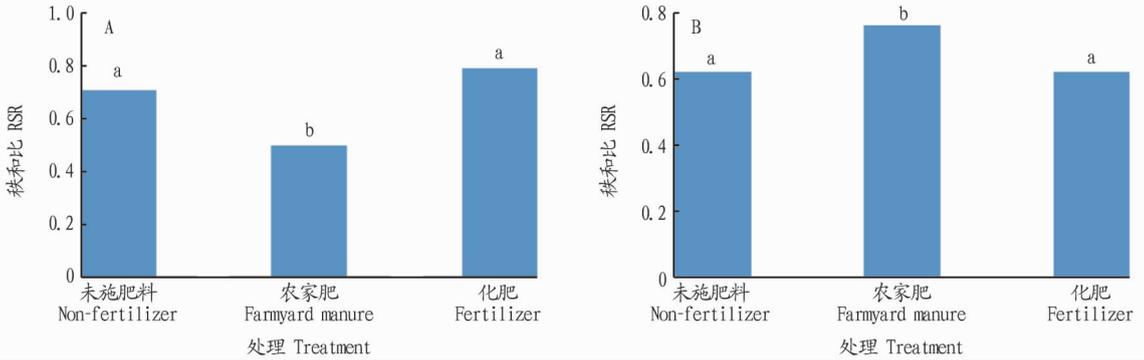
表 1 未施肥料、施用农家肥和施用化肥小麦的蛋白质品质指标

Table 1 The protein quality of wheat for non-fertilizer, farmyard manure and chemical fertilizer

| 肥料类型<br>Fertilizer type    | PC<br>% | GC<br>% | 沉降值<br>Zeleny//mL | DT<br>min | WA<br>% | ST<br>min | DOS<br>FE | FQN<br>mm |
|----------------------------|---------|---------|-------------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 未施肥料 No fertilizer applied | 14.90   | 31.01   | 57.37             | 2.215     | 60.45   | 1.735     | 168.5     | 33.5      |
| 农家肥 Farmyard manure        | 12.24   | 23.62   | 35.86             | 2.390     | 59.60   | 2.670     | 138.0     | 39.0      |
| 化肥 Fertilizer              | 14.09   | 28.20   | 46.32             | 2.605     | 63.20   | 2.725     | 125.5     | 44.5      |

**2.1.2 蛋白质品质对应分析。**进一步对 3 种不同处理白花麦品种(系)的蛋白质品质进行对应分析(图 2)。按照不同处理与性状的距离可以看出,施用化肥的白花麦品种(系)具有较高的形成时间(DT)和吸水率(WA),其次是较高的粉质

指数(FQN)和蛋白质含量(PC)等;未施肥料的白花麦品种(系)具有较高的沉降值和弱化度(DOS),其次是较高的湿面筋含量(GC)和蛋白质含量(PC)等。可见,施用化肥和不施肥料白花麦品种(系)具有更好的蛋白质综合品质分别是由



注:不同的小写字母代表显著性差异( $P<0.05$ )

Note: The different lowercase letters represent the significant differences ( $P<0.05$ )

图1 未施肥料、施用农家肥和施用化肥3种不同处理条件的白花麦小麦的蛋白质(A)和淀粉(B)综合品质分析

Fig.1 The protein quality (A) and starch quality (B) analysis of Baihuamai wheat in three different treatments of non-fertilizer, farmyard manure and fertilizer

上述蛋白质品质指标造成的。

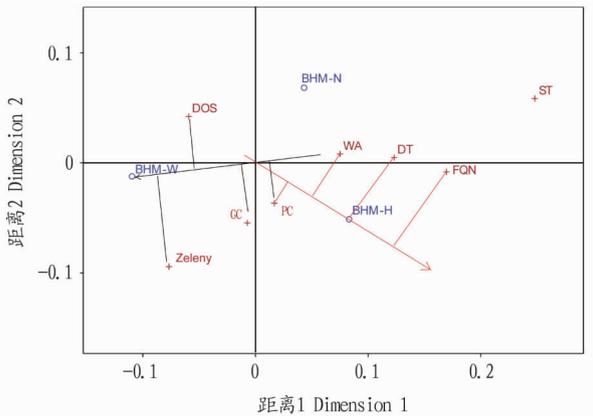


图2 未施肥料、施用农家肥和施用化肥3种不同处理条件的白花麦小麦的蛋白质品质对应分析

Fig.2 Correspondence protein quality analysis of Baihuamai wheat in three different treatment of non-fertilizer, farmyard manure and fertilizer

## 2.2 不同处理对白花麦品种(系)淀粉品质指标的影响

2.2.1 淀粉品质综合分析。该试验运用RSR综合评价法对未施肥料、施用农家肥和施用化肥3种不同处理白花麦品种

(系)的淀粉品质(包括淀粉含量SC、糊化温度GT、峰值黏度PV、峰值温度PT、最终黏度FV、稀懈值BD和回升值SB)进行综合分析(表2),结果发现3种不同处理白花麦品种(系)的RSR值表现出施用农家肥(0.76)大于施用化肥(0.62)和未施肥料(0.62)。该试验结果表明,施用农家肥的白花麦品种(系)的淀粉综合品质显著优于施用化肥和未施肥的( $P<0.05$ );施用化肥和未施肥的没有显著性差异(图1B)。同样的,从表2可以看出,施用农家肥使得白花麦品种(系)在淀粉糊化特性方面表现出明显的优势,其中PV、FV、SB、PT和BD均高于未施肥处理的;相反地,施用化肥的则低于未施肥处理的。可见施用农家肥能够提高小麦的淀粉品质。

2.2.2 淀粉品质对应分析。进一步对3种不同处理白花麦品种(系)的淀粉品质进行对应分析(图3)。总体观察可知施用农家肥的淀粉品质与未施化肥和施用化肥的不同,进一步分析3种不同处理与淀粉品质相关指标的距离发现,施用农家肥的白花麦品种(系)具有较高的峰值黏度(PV)和较好的回升值(SB),其次是最终黏度(FV)、稀懈值(BD)等,表明施用农家肥白花麦品种(系)具有更好的淀粉综合品质是由上述淀粉糊化特性指标的升高造成的,特别是PV和SB。

表2 未施肥料、施用农家肥和施用化肥小麦的淀粉品质指标

Table 2 The starch quality of wheat for non-fertilizer, farmyard manure and chemical fertilizer

| 肥料类型<br>Fertilizer type    | SC<br>% | GT<br>% | PV<br>BU | PT<br>°C | FV<br>BU | BD<br>BU | SB<br>BU |
|----------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 未施肥料 No fertilizer applied | 56.43   | 61.0    | 794.0    | 87.05    | 1 393.5  | 396      | 620.5    |
| 农家肥 Farmyard manure        | 57.67   | 60.6    | 1 427.5  | 90.45    | 1 911.5  | 508      | 914.5    |
| 化肥 Fertilizer              | 57.71   | 61.3    | 705.0    | 86.90    | 1 278.0  | 388      | 587.5    |

## 3 结论与讨论

小麦的蛋白质品质与施氮量有着直接的关系,研究发现施氮量在150~300 kg/hm<sup>2</sup>,施氮量增加能够提高面团和面粉等多项蛋白质品质指标<sup>[23-24]</sup>。该试验对未施肥料、施用农家肥和施用化肥的白花麦小麦品种(系)的蛋白质品质进行分析,发现施氮量增加提高了小麦面粉筋力,面粉筋力指标(形

成时间、稳定时间、粉质指数和弱化度)表现优良,从而使得小麦具有好的面团品质,有利于提高小麦粉的加工品质。RSR综合评价分析结果表明,施用化肥小麦的蛋白质综合品质优于未施肥料,未施肥料小麦的蛋白质综合品质优于施用农家肥的;对应分析发现,施用化肥和未施肥料良好的蛋白质综合品质分别由不同的蛋白质指标控制。虽然施用农家

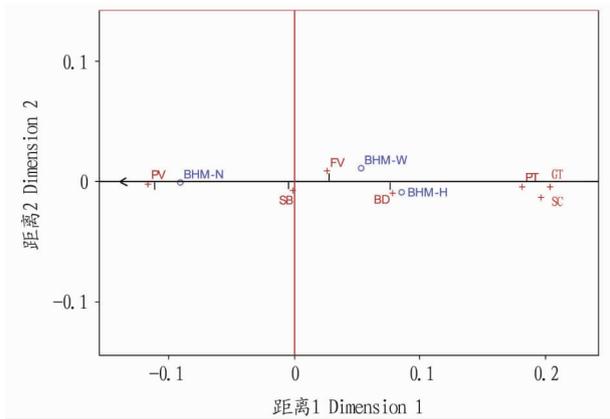


图3 未施肥料、施用农家肥和施用化肥3种不同处理条件的白花麦小麦的淀粉品质对应分析

Fig.3 Correspondence analysis of starch quality of Baihuamai wheat in three different treatments of non-fertilizer, farmyard manure and fertilizer

肥能够提高小麦粉的加工品质,然而由于受到蛋白质含量、湿面筋含量等其他蛋白质品质指标的影响,其蛋白质综合评价最低。可见,农业生产中为了提高小麦的蛋白质品质,采用农家肥加适量化肥的方法是切实可行的。

小麦籽粒中约有70%的淀粉含量,淀粉品质与小麦品质之间存在着非常密切的关系<sup>[25-26]</sup>。研究发现,氮肥施用对淀粉含量有一定的影响,适量增施氮肥能够促进淀粉积累<sup>[27-28]</sup>。该试验研究结果表明,施用农家肥的白花麦小麦品种(系)的淀粉综合品质明显优于施用化肥和未施肥料的,其中在淀粉糊化特性方面(特别是峰值黏度、回升值、最终黏度和稀懈值4个指标)表现出明显优势。研究表明淀粉的糊化特性是影响小麦品质的主要因素之一<sup>[25]</sup>。因此,可以通过施用农家肥调节小麦的糊化特性,进而影响小麦品质。

#### 参考文献

[1] 王海龙, 聂俊华, 赵敬美, 等. 高肥力土壤小麦品质的主成分分析及施肥方案研究[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(4): 377-381.

[2] EDWARDS N M, GIANIBELLI M C, MCCAIG T N, et al. Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes[J]. Journal of cereal science, 2007, 45(2): 140-149.

[3] LIN Z A, CHANG X H, WANG D M, et al. Long-term fertilization effects on processing quality of wheat grain in the North China Plain[J]. Field crops research, 2015, 174: 55-60.

[4] SHEN J C, TREU R, WANG J Y, et al. Modeling nitrous oxide emissions from three United Kingdom farms following application of farmyard manure and green compost[J]. Sci Total Environ, 2018, 637/638: 1566-1577.

[5] 徐凤娇, 赵广才, 田奇卓, 等. 施氮量对不同品质类型小麦产量和加工品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 300-306.

[6] 王洪州, 毛凤梧. 肥料运筹对小麦品质形成的影响[J]. 现代农业科技, 2012(8): 66-67.

[7] GODFREY D, HAWKESFORD M J, POWERS S J, et al. Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end use quality[J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(5): 3012-3021.

[8] RASHID M I, MUJAWAR L H, SHAHZAD T, et al. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils[J]. Microbiol Res, 2016, 183: 26-41.

[9] NEFF J C, TOWNSEND A R, GLEIXNER G, et al. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon[J]. Nature, 2002, 419(6910): 915-917.

[10] LU M, ZHOU X H, LUO Y Q, et al. Minor stimulation of soil carbon storage by nitrogen addition: A meta-analysis[J]. Agric Ecosyst Environ, 2011, 140(1/2): 234-244.

[11] LIU E K, YAN C R, MEI X R, et al. Long-term effect of manure and fertilizer on soil organic carbon pools in dryland farming in Northwest China[J]. PLoS One, 2013, 8(2): 1-9.

[12] SADAF J, SHAH G A, SHAHZAD K, et al. Improvements in wheat productivity and soil quality can accomplish by co-application of biochars and chemical fertilizers[J]. Sci Total Environ, 2017, 607/608: 715-724.

[13] HU W G, JIAO Z F, WU F S, et al. Long-term effects of fertilizer on soil enzymatic activity of wheat field soil in Loess Plateau, China[J]. Ecotoxicology, 2014, 23(10): 2069-2080.

[14] WANG J Y. Decentralized biogas technology of anaerobic digestion and farm ecosystem: opportunities and challenges[J]. Front Energy Res, 2014, 2: 1-12.

[15] YILMAZ E, ALAĞÖZ Z. Effects of short-term amendments of farmyard manure on some soil properties in the Mediterranean region Turkey[J]. J Food Agric Environ, 2010, 8(2): 859-862.

[16] 河南省南阳地区农科所. 有机无机肥料配合施用 提高小麦产量和品质[J]. 农业科技通讯, 1987(10): 23.

[17] REHMAN M Z U, RIZWAN M, KHALID H, et al. Farmyard manure alone and combined with immobilizing amendments reduced cadmium accumulation in wheat and rice grains grown in field irrigated with raw effluents[J]. Chemosphere, 2018, 199: 468-476.

[18] TLUSTO S P, HEJCMAN M, H ULKA M, et al. Mobility and plant availability of risk elements in soil after long-term application of farmyard manure[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2016, 23(23): 23561-23572.

[19] GRÜTER R, COSTEROUSSÉ B, BERTONI A, et al. Green manure and long-term fertilization effects on soil zinc and cadmium availability and uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) at different growth stages[J]. Sci Total Environ, 2017, 599/600: 1330-1343.

[20] HELFENSTEIN J, MÜLLER I, GRÜTER R, et al. Organic wheat farming improves grain zinc concentration[J]. PLoS One, 2016, 11(8): 1-20.

[21] 李燕青, 林治安, 温延臣, 等. 不同类型有机肥与化肥配施对小麦品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1513-1522.

[22] 刘襄河, 郑丽璇, 郑雨勉, 等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉、支链淀粉及总淀粉含量[J]. 广东农业科学, 2013, 40(18): 97-100.

[23] 赵广才, 常旭虹, 刘利华, 等. 施氮量对不同强筋小麦产量和加工品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(5): 723-727.

[24] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 施氮量对小麦籽粒蛋白质组含量及加工品质的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1071-1078.

[25] 王晓曦, 苏东民. 小麦淀粉与小麦品质之间的关系[J]. 粮食与饲料工业, 2000(9): 4-5.

[26] 宋亚珍, 闫金婷, 胡新中. 面粉糊化特性与鲜湿及煮后面条质构特性关系[J]. 中国粮油学报, 2005, 20(6): 12-24.

[27] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 氮素营养水平对小麦开花后碳素同化、运转和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 55-59.

[28] 尹静, 胡尚连, 肖佳雷. 小麦淀粉与品质的关系[J]. 东北农业大学学报, 2006, 36(3): 369-372.