植物营养与肥料学报 2016, 22(6): 1513–1522
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer
doi: 10.11674/zwyf.16020
http://www.plantnutrifert.org

# 不同类型有机肥与化肥配施对小麦品质的影响

李燕青[1,2]，林治安[3]，温延臣[3]，车升国[3]，孙文彦[3]，赵秉强[2*]
（1 中国农业科学院果树研究所，辽宁兴城 125100；2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，农业部植物营养与肥料重点实验室，北京 100081；3 中国农业科学院德州盐碱土改良实验站，山东德州 253015）

**摘要:**【**目的**】综合分析不同类型有机肥与化肥配施对小麦籽粒、面粉、面团品质指标的影响，为提升小麦品质提供有机肥科学施用基础。【**方法**】以鸡粪、猪粪和牛粪为供试有机肥料，冬小麦品种济麦 22 为供试作物进行了田间试验。在施 N 225 kg/hm$^2$ 前提下，设单施化肥（尿素）、鸡粪、猪粪、牛粪处理，及三种有机肥各自分别以25%、50% 和 75% 配合75%、50%、25% 的化肥处理，以及化肥、鸡粪、猪粪、牛粪施肥料量加倍处理，共 18 个处理。小麦收获后，分析了 3 个籽粒品质指标、5 个面粉品质指标、7 个面团品质指标，运用多元统计分析方法评价了三种有机肥的不同利用方式和用量对小麦品质的影响。【**结果**】施 N 225 kg/hm$^2$ 条件下，单施鸡粪、猪粪对小麦各品质指标的提升作用与单施化肥处理相当，明显优于牛粪；与单施牛粪处理相比，单施鸡粪、猪粪、化肥处理的平均面团形成时间延长了 50.85%，平均粉质指数提高了 25.75%，平均湿面筋含量提升了 19.71%，平均沉淀值提升了 18.17%，平均粗蛋白含量提升了 14.37%，面团拉伸比降低了 36.84%。增加肥料用量一倍对小麦品质指标的提升作用不显著。常量处理中，25% 有机肥+75% 化肥最有利于籽粒蛋白含量的提高。将 15 个品质指标分为 3 个主成分组，以湿面筋为代表的第一主成分方差贡献率占到 60.2%，代表了大部分的数据信息。根据各施肥处理对品质指标影响的相似性，将18种施肥方式聚为四类：1) 不施肥；2) 单施常量、加倍牛粪处理；3) 常量鸡粪、猪粪、化肥单施及常量配施处理；4) 加倍化肥、加倍鸡粪和加倍猪粪处理，从 1）至 4）小麦多数品质指标呈现依次升高的趋势。【**结论**】以常规施氮量 (225 kg/hm$^2$) 为前提，鸡粪、猪粪配施少量或者不配施化肥，牛粪配施75%化肥都可以显著提升小麦品质，单施牛粪提升小麦品质作用不显著。因此，在有机肥源充足的条件下，在总施氮量不增加的前提下，鸡粪、猪粪氮的施用比例可提高至75%，牛粪的实用比例控制在25%，以获得优质的小麦籽粒品质。

**关键词:** 有机肥类型；化肥；有机无机配施；冬小麦品质；多元统计

**中图分类号:** S141.2; S143.1; S512.1.02　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008–505X(2016)06–1513–10

# Effects of combined application of chemical fertilizers with different sources of organic manure on the grain quality of winter wheat

LI Yan-qing[1,2], LIN Zhi-an[3], WEN Yan-chen[3], CHE Sheng-guo[3], SUN Wen-yan[3], ZHAO Bing-qiang[2*]
( *1 Institute of Pomology of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng, Liaoning 125100; 2 Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Ministry of Agriculture/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3 Dezhou Experiment Station, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Dezhou, Shandong 253015, China* )

**Abstract:**【**Objectives**】The objectives of this study were to improve winter wheat grain quality and provide a theoretical basis for efficiently using different types of organic fertilizers by optimizing fertilization techniques.【**Methods**】A field experiment was conducted in whinter wheat using chicken fest, pig manure and cattle manure as orgain N resources. At base of total N input of 225 kg/hm$^2$, single applicaion of chicken, pig and cattle manure and urea, combined application of the three manures with urea in ratio of 25%, 50% and 75%, and the

**收稿日期:** 2016–01–13　　**接受日期:** 2016–05–18
**基金项目:** 国家科技支撑计划（2015BAD23B02）资助。
**作者简介:** 李燕青（1987—），男，山东聊城人，博士研究生，主要从事土壤培肥研究。E-mail：abcd7931@163.com
* 通信作者 E-mail：zhaobingqiang@caas.cn

double single N input treatments (total 18 treatments) were designed. Three wheat grain indexes, 5 flour indexes, and 7 dough indexes were measured. Principal component and cluster analyses were applied to assess the effects of different fertilization treatments in wheat quality.【**Results**】At the N input level of 225 kg/hm$^2$, single application of chicken and pig manure had the same effect on wheat quality with urea, and distinctly superior to cattle manure. Compared with the cattle manure, the average dough development time of applying chicken manure, pig manure, or chemical fertilizer alone was extended by 50.85%. As well, the average farinogram quality number was increased by 25.75%, the average wet gluten was increased by 19.71%, the average sedimentation value increased by 18.17%, the average crude protein content increased by 14.37%, and the average dough viscoelastic ratio decreased by 36.84%. When N input was doubled, the wheat quality indices were not increased obviously. In the urea and manure combination treatments, lower manure proportion (25%) were more effective to increase grain protein contents and winter wheat quality under normal N rate. 15 indexes of wheat quality were divided into 3 priciple components. The variance proportion of the first component was 60.22% and it also contained the most data information (e.g. wet gluten).With the the tested indices from high to low, the 18 fertilization treatments were classified to 4 clusters: no fertilizer treatment; conventional cattle and double cattle manure treatments; conventional chicken manure, pig manure, and chemical fertilizer treatments, combined under conventional rates; double chemical fertilizer, chicken manure, and pig manure treatments.【**Conclusions**】Under conventional N rate, chicken or pig manure can be applied alone or combined with 25% of urea, cattle manure have to be combined with large proportions of urea. Overuse of urea or manures should not be recommonded for good winter wheat quality.

**Key words:** organic manure; chemical fertilizer; application of organic manure with chemical fertilizer; wheat quality; multi-factor analysis

小麦是我国最重要的粮食作物之一。随着人们生活水平的逐步提高，在关注小麦产量的同时，对小麦品质也提出了越来越高的要求[1]。基因型遗传因素是小麦品质特性的基础，不同品种间品质存在明显差异，但环境因素同样强烈影响着小麦品质[2–3]。施肥作为可以人工控制的重要措施，深刻影响着农田生态环境，因此不同的施肥制度对作物品质也会产生不同影响[4–5]。氮肥用量和施用时期是影响小麦品质的重要因素，在一定范围内，增加施氮量，可显著增加籽粒蛋白质、面筋含量，进而影响小麦其它品质指标，使得小麦产量和品质同步提高；小麦氮肥后移对籽粒蛋白质含量有显著影响[6–9]。长期定位试验表明，氮磷钾适当配比或在此基础上配施有机物料，对于提高小麦产量，改善小麦营养品质和加工品质均有重要作用[10–12]。虽然大量研究揭示了各种施肥措施在影响小麦品质方面的重要作用，但在同一个施氮水平下研究不同类型有机肥对小麦品质的影响鲜有报道。

小麦籽粒品质包括形态品质、加工品质以及营养品质，其中加工品质的好坏直接影响其利用价值与经济效益。小麦籽粒的加工品质指标有许多，且很多指标相互影响，存在复杂的联系，直接进行简单比较不易得出简明的规律。多元统计分析是从经典统计学中发展起来的一个分支，是一种综合分析方法，能够在多个对象和多个指标互相关联的情况下分析它们的统计规律，可以作为综合分析评价小麦品质指标的重要手段[13–16]。

本研究选取了牛粪、鸡粪、猪粪三种农田常用的有机肥种类，设置常规及加倍两个施肥水平，并且在常规施肥水平下设置有机肥与化肥不同配比的多种施肥方式，利用多元统计方法，分析研究三种有机肥与化肥的不同配施方式对小麦品质的影响，以期从小麦品质调优的角度为不同类型有机肥的科学利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

本试验位于中国农业科学院禹城试验基地(116°34′E，36°50′N)，属暖温带半湿润季风气候，年平均气温13.4℃，大于10℃积温4441℃，年降水量569.6 mm，年蒸发量2095 mm，无霜期206 d。试验地土壤类型为盐化潮土，土壤质地为轻壤土，成土母质为黄河冲积物。种植制度为冬小麦–夏玉米一年两熟轮作制。试验开始前土壤表层养分含量见表1。

表 1　试验地基础养分含量

Table 1　Basic nutrients of the experiment soil

| 土层 Soil layer (cm) | 有机质 OM (g/kg) | 全氮 Total N (g/kg) | 有效磷 Olsen-P (mg/kg) | 速效钾 Avail. K (mg/kg) | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| 0—20 | 12.64 | 0.73 | 14.2 | 78.59 | 8.69 |
| 20—40 | 7.35 | 0.43 | 4.23 | 57.63 | 8.50 |

### 1.2　试验设计

试验从 2014 年 10 月小麦季开始，设置一个对照 (不施肥，CK) 处理和四个常量施肥处理。常量施肥分别为化肥 (CF)、鸡粪 (CHM100)、猪粪 (PM100)、牛粪 (CM100)；三个牛粪与化肥常量配施处理，分别为 25% 牛粪配施 75% 化肥 (CM25)、50% 牛粪配施 50% 化肥 (CM50)、75% 牛粪配施 25% 化肥 (CM75)；三个鸡粪与化肥常量配施处理，分别为 25% 鸡粪配施 75% 化肥 (CHM25)、50% 鸡粪配施 50% 化肥 (CHM50)、75% 鸡粪配施 25% 化肥 (CHM75)；三个猪粪与化肥常量配施处理，分别为 25% 猪粪配施 75% 化肥 (PM25)、50% 猪粪配施 50% 化肥 (PM50)、75% 猪粪配施 25% 化肥 (PM75)；四个加倍施肥处理，分别为加倍化肥 (DCF)、加倍鸡粪 (DCHM)、加倍猪粪 (DPM)、加倍牛粪 (DCM)。共 18 个处理，随机区组设计，重复3次。

试验中常规肥料用量是参考当地农民施肥量。常量化肥处理 (CF) 具体肥料用量为每季作物氮肥 225 kg/hm$^2$ (以 N 计)，磷肥 75 kg/hm$^2$ (以 $P_2O_5$计)，钾肥 75 kg/hm$^2$ (以 $K_2O$ 计)，氮肥基追比为 1∶1，全年磷、钾肥在小麦播前一次性施入。常量有机肥处理 (CM100、CHM100、PM100) 具体肥料用量为每季作物施氮量 225 kg/hm$^2$，有机肥具体肥料用量根据所用粪肥风干样品中养分分析测定结果，以全氮含量为标准折算，全年的有机肥在小麦播前一次性施入，不再施用磷、钾肥。本试验 2014～2015 年度施用的三种有机肥具体养分含量及性质见表 2。常规配施的处理具体为：每季作物中有机肥氮和化肥氮的加和为 225 kg/hm$^2$，磷、钾肥用量根据化学氮肥的比例依次施入，全年的有机肥和磷、钾肥在小麦播前一次性施入。加倍肥料用量为常规肥料用量的 2 倍。化学氮肥用尿素 (N 46%)，磷肥为磷酸二铵 (N 18%、$P_2O_5$ 46%)，钾肥用硫酸钾 ($K_2O$ 50%)。各处理具体肥料用量及施用时期见表 3。

表 2　鸡粪、猪粪、牛粪养分含量 (%，dry basis)

Table 2　Nutrient contents of chicken manure, pig manure and cow manure

| 有机肥 Organic manure | 养分含量 Nutrient content | | | | 含水量 Moisture content |
|---|---|---|---|---|---|
| | 全氮 Total N | 速效氮 Available N | 全磷 Total P | 全钾 Total K | |
| 鸡粪 Chicken manure | 1.73 | 0.04 | 2.65 | 2.40 | 30 |
| 猪粪 Pig manure | 2.72 | 0.05 | 3.95 | 1.96 | 70 |
| 牛粪 Cattle manure | 1.55 | 0.02 | 0.96 | 1.98 | 70 |

### 1.3　样品采集及测定

容重按 GB 5498-1985《粮食、油料检验容重测定法》测定；湿面筋含量采用瑞典波通公司面筋分析仪测定，参照 GB/T14608-1993 方法进行；沉降值测定参照 GB/T 15685-1995 方法进行；粉质参数采用德国 Brabender 粉质仪测定，参照 AACC-54-20 方法进行；拉伸参数采用德国 Brabender 拉伸仪测定，参照 AACC-54-20 方法进行；小麦籽粒粗蛋白含量 = 5.70 × N%。

### 1.4　数据处理及分析

数据用 Excel 整理后进行方差分析，LSD 法进行多重比较；数据标准化处理后，用 SAS 9.2 进行多元相关分析、主成分及聚类分析。

## 2　结果与分析

### 2.1　各指标间的简单相关

由表 4 中可以看出，15 个指标中共有 28 对指标间 $|r| > 0.7$，表现出了高度相关性，且相关系数的 $P$ 值到达了极显著水平。其中，与面团形成时间 (DT) 表现出高度相关性的有 7 个指标，分别是吸水率 (WA)、粉质指数 (FQN)、面团延伸线 (EX)、拉伸比 (VR)、湿面筋 (WG)、沉淀值 (SV)、粗蛋白 (PC)；与 FQN 表现出高度相关性的指标有 5 个，分别是 DT、稳定时间 (ST)、籽粒硬度 (HA)、WG、SV；与 VR 表现出高度相关性的指标有 5 个，分别是 DT、EX、最大拉伸阻力 (MR)、WG、PC；与 WG 表现出高度相关性的有 7 个指标，分别是 WA、DT、FQN、EX、VR、SV、PC；与 SV 表现出高度相关性的指标有 6 个，分别是 WA、DT、FQN、HA、WG、PC；与 PC 表现出高度相关性的指标有 5 个，分别是 DT、EX、SV、VR、WG。出粉率 (FY)、面筋指数 (GI)、容重 (VW) 未与任何其它指标达到高度相关。

本试验中相关性分析表明，籽粒品质指标粗蛋白含量 (PC)和面粉品质指标粉质指数 (FQN)、沉淀值 (SV)、湿面筋含量 (WG)，面团品质指标形成时间 (DT)、拉伸比 (VR) 6 个指标与多数指标间存在高度相关性，可作为反映小麦品质状况的重要因子。

表 3 各处理肥料用量

Table 3 Fertilizer rates of different treatments

| 处理 Treatment | 小麦季 Wheat season | | | | | 玉米季 Maize season | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 播前 Before sowing | | | | 拔节期 Jointing stage | 播前 Before sowing | 八叶期 8th leaf stage |
| | 有机肥 (N kg/hm$^2$) Organic manure | 化肥 Chemical fertilizer (kg/hm$^2$) | | | | 化肥 Chemical fertilizer (kg/hm$^2$) | |
| | | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | N | N |
| CK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CF | 0 | 112.50 | 150 | 150 | 112.50 | 112.50 | 112.50 |
| CHM100 | 450 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PM100 | 450 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CM100 | 450 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CHM25 | 112.50 | 84.38 | 112.50 | 112.50 | 84.38 | 84.38 | 84.38 |
| CHM50 | 225 | 56.25 | 75 | 75 | 56.25 | 56.25 | 56.25 |
| CHM75 | 337.50 | 28.13 | 37.50 | 37.50 | 28.13 | 28.13 | 28.13 |
| PM25 | 112.50 | 84.38 | 112.50 | 112.50 | 84.38 | 84.38 | 84.38 |
| PM50 | 225 | 56.25 | 75 | 75 | 56.25 | 56.25 | 56.25 |
| PM75 | 337.50 | 28.13 | 37.50 | | 28.13 | 28.13 | 28.13 |
| CM25 | 112.50 | 84.38 | 112.50 | 112.50 | 84.38 | 84.38 | 84.38 |
| CM50 | 225 | 56.25 | 75 | 75 | 56.25 | 56.25 | 56.25 |
| CM75 | 337.50 | 28.13 | 37.50 | 37.50 | 28.13 | 28.13 | 28.13 |
| DCF | 0 | 225 | 300 | 300 | 225 | 225 | 225 |
| DCHM | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DPM | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DCM | 900 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 2.2 不同施肥处理对部分小麦加工品质指标的影响

2.2.1 面团形成时间 由表 5可以看出，施氮量为 450 kg/hm$^2$ 时，化肥、鸡粪、猪粪处理的面团形成时间差异不显著，但三者均显著长于施用牛粪的处理，平均延长了 50.85%；施氮量为 225 kg/hm$^2$ 时，化肥处理的面团形成时间显著长于施用鸡粪和牛粪的处理，猪粪处理的面团形成时间显著长于牛粪处理，而与施用鸡粪的处理没有显著性差异，施用牛粪处理的面团形成时间与 CK 处理之间无显著性差异。与常规施肥量相比，加倍施用化肥、鸡粪、猪粪、牛粪的处理面团形成时间均有所延长，但均未达到显著性水平。施氮量为 225 kg/hm$^2$ 时，牛粪与化肥配施的三个处理之间，鸡粪与化肥配施的三个处理之间，猪粪与化肥配施的三个处理之间面团稳定时间均没有显著性差异；但化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 面团的形成时间较长。

2.2.2 粉质指数 由表 5 可以看出，在加倍施肥和常规施肥条件下，单施化肥、鸡粪、猪粪处理之间的粉质指数均无显著性差异；施用化肥、鸡粪、猪粪的处理在加倍施肥条件下与牛粪处理间没有显著性差异，但常规施肥条件下平均比牛粪处理的粉质指数高出 25.75%。加倍施肥量与常规施肥量相比，施用化肥、鸡粪、猪粪、牛粪处理的粉质指数均有所提高，但差异不显著。施氮量为 225 kg/hm$^2$ 时，牛粪与化肥配施的三个处理之间，鸡粪与化肥配施的三个处理之间，猪粪与化肥配施的三个处理之间粉质指数均没有显著性差异；但是化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 面粉粉质指数均较高。

2.2.3 拉伸比 由表 5 可以看出，在加倍施肥量和常规施肥量条件下，化肥处理的面团拉伸比均为最小

**表 4　各指标间的相关系数**

**Table 4　Correlation coefficients between wheat quality properties**

| 指标 Index | WA | DT | ST | FQN | AR | EX | MR | VR | FY | HA | WG | GI | SV | VW | PC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| WA | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| DT | 0.7070** | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| ST | 0.1875 | 0.3721** | 1 | | | | | | | | | | | | |
| FQN | 0.5350** | 0.7028** | 0.8860** | 1 | | | | | | | | | | | |
| AR | –0.1074 | 0.1655 | 0.5196** | 0.3929** | 1 | | | | | | | | | | |
| EX | 0.7820** | 0.8660** | 0.3426* | 0.6473** | 0.1227 | 1 | | | | | | | | | |
| MR | –0.6632** | –0.49150** | 0.1710 | –0.1473 | 0.6742** | –0.6335** | 1 | | | | | | | | |
| VR | –0.7781** | –0.7446** | –0.2160 | –0.5176** | 0.1475 | –0.9231** | 0.8183** | 1 | | | | | | | |
| FY | 0.2499 | 0.2209 | 0.0982 | 0.2142 | –0.0754 | 0.1341 | –0.1764 | –0.2077 | 1 | | | | | | |
| HA | 0.5273** | 0.6935** | 0.6216** | 0.7476** | 0.4774** | 0.7239** | –0.1601 | –0.5888** | 0.2014 | 1 | | | | | |
| WG | 0.7761** | 0.8355** | 0.5188** | 0.7859** | 0.1400 | 0.8961** | –0.5256** | –0.8035** | 0.1546 | 0.7438** | 1 | | | | |
| GI | –0.4426** | –0.4024* | 0.0612 | –0.1611 | –0.0477 | –0.42274** | 0.3532* | 0.3898** | 0.0165 | –0.1246 | –0.3738** | 1 | | | |
| SV | 0.7988** | 0.8119** | 0.5472** | 0.7800** | 0.2332 | 0.8380** | –0.4308** | –0.7657** | 0.2541 | 0.7898** | 0.8763** | –0.3463* | 1 | | |
| VW | 0.1860 | 0.2815* | 0.5008** | 0.4714** | 0.2308 | 0.3219* | –0.0220 | –0.2422 | 0.2074 | 0.4930** | 0.3315* | 0.0668 | 0.3854** | 1 | |
| PC | 0.6794** | 0.8281** | 0.3528** | 0.6280** | 0.04126 | 0.8517** | –0.5779** | –0.7796** | 0.1691 | 0.6085** | 0.8355** | –0.3605** | 0.7312** | 0.2479 | 1 |

注（Note）：WA—吸水量 Water absorption; DT—形成时间 Development time；ST—稳定时间 Stability time；FQN—粉质质量指数 Farinogram quality number; AR—拉伸面积 Stretching area; EX—延伸性 Extensibility; MR—最大抗延阻力 Max resistance; VR—拉伸比例 Viscoelastic ratio; FY—出粉率 Flour yield; HA—硬度 Hardness; WG—湿面筋 Wet gluten; GI—面筋指数 Gluten index; SV—沉淀值 Sedimentation value; VW—容重 Volume weight; PC—粗蛋白 Crude protein content.

值 (0.73、0.97)，其次是施用鸡粪 (0.93、1.30) 和猪粪 (0.80、1.33) 的处理，牛粪处理的拉伸比值达到了 1.83 和 1.90，与不施肥的处理接近。加倍施肥量与常规施肥量相比，施用化肥、鸡粪、猪粪、牛粪的处理面团拉伸比值均有所降低，但均无显著性差异。施氮量为 225 kg/hm$^2$ 时，三种有机肥与化肥不同配比配施的处理之间没有显著性差异，化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 拉伸比值相对较小。

2.2.4 湿面筋含量　由表 5 可以看出，加倍施肥条件下，鸡粪、猪粪和化肥处理之间，小麦面粉的湿面筋含量无显著性差异，且均显著高于牛粪处理。常规施肥量条件下，单施鸡粪、猪粪和化肥处理间的湿面筋含量无显著性差异，且均显著高于施用牛粪的处理，平均比牛粪处理高出 19.71%。与常规施肥量相比，加倍施用化肥、鸡粪、猪粪、牛粪处理的面粉湿面筋含量均有所提高，其中加倍化肥处理与常规化肥处理没有表现出显著性差异，而加倍施用鸡粪、猪粪、牛粪处理的湿面筋含量与常规肥料用量之间均表现出了显著性差异。常规配施时，三种有机肥与化肥不同配比配施的处理之间没有表现出显著性差异，化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 湿面筋含量相对较高。

2.2.5 沉淀值　由表 5 可以看出，加倍施肥的 4 个处理中，鸡粪、猪粪和化肥处理之间小麦面粉的沉淀值无显著性差异，但均显著高于牛粪处理的沉淀值。常规施肥量的四个处理中，化肥和猪粪处理的面粉沉淀值最大，显著高于施用牛粪的处理，其次是施用鸡粪的处理，三者沉淀值平均比牛粪处理提升 18.17%。加倍施肥量与常规施肥量相比，施用化肥、鸡粪、猪粪、牛粪处理的面粉沉淀值均有所增加，但均无显著性差异。常规配施时，三种有机肥与化肥不同配比配施的处理之间差异均不显著，化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 面粉沉淀值较大。

2.2.6 粗蛋白　由表 5 可以看出，加倍施肥的 4 个处理中，鸡粪、猪粪和化肥处理之间小麦籽粒粗蛋白含量无显著性差异，但均显著高于牛粪处理的粗蛋白含量。常规施肥量的四个处理中，施用化肥的处理粗蛋白含量最高，明显高于施用鸡粪和猪粪的处

表 5 不同施肥方式对小麦品质指标的影响

Table 5 Effect of different fertilization strategies on wheat quality properties

| 处理 Treatments | 形成时间 DT (min) | 粉质指数 FQN | 拉伸比 VR | 湿面筋 WG (%) | 沉淀值 SV (mL) | 粗蛋白 PC (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CK | 1.35 ± 0.20 h | 28.00 ± 5.29 d | 1.97 ± 0.21 a | 15.97 ± 4.62 h | 16.60 ± 2.86 g | 9.34 ± 0.35 i |
| CF | 2.78 ± 0.22 ab | 49.67 ± 2.52 abc | 0.97 ± 0.15 def | 31.80 ± 1.05 abcd | 23.43 ± 1.10 abcde | 12.80 ± 0.54 abcde |
| CM100 | 1.64 ± 0.11 hg | 41.00 ± 12.12 cd | 1.90 ± 0.87 ab | 24.87 ± 2.10 g | 19.93 ± 0.15 fg | 10.12 ± 0.81 hi |
| CM75 | 2.11 ± 0.75 cdefg | 48.67 ± 11.59 abc | 1.50 ± 0.44 abcde | 26.00 ± 7.10 defg | 22.23 ± 3.21 bcdef | 11.17 ± 1.35 efghi |
| CM50 | 1.93 ± 0.31 efgh | 45.33 ± 9.29 abc | 1.60 ± 0.20 abcd | 25.5 ± 3.20 fg | 20.93 ± 1.85 ef | 10.25 ± 1.31 ghi |
| CM25 | 2.37 ± 0.38 bcdef | 49.67 ± 2.52 abc | 1.30 ± 0.36 bcdef | 28.80 ± 1.13 defg | 24.60 ± 1.04 abc | 11.59 ± 0.51 cdefgh |
| CHM100 | 2.10 ± 0.08 defg | 49.33 ± 3.21 abc | 1.30 ± 0.10 bcdef | 27.97 ± 0.90 defg | 23.20 ± 0.62 abcdef | 11.15 ± 0.82 efghi |
| CHM75 | 2.42 ± 0.58 abcdef | 54.00 ± 6.00 abc | 1.27 ± 0.50 bcdef | 29.83 ± 3.57 bcdefg | 23.23 ± 1.46 abcdef | 12.56 ± 2.29 abcdef |
| CHM50 | 2.67 ± 0.18 abcd | 49.33 ± 7.51 abc | 1.53 ± 0.49 abcde | 26.9 ± 3.48 defg | 23.63 ± 2.28 abcde | 11.96 ± 1.13 bcdefgh |
| CHM25 | 2.44 ± 0.44 abcdef | 52.00 ± 3.61 abc | 1.07 ± 0.21 def | 29.57 ± 2.41 cdefg | 23.67 ± 0.59 abcde | 12.08 ± 0.60 bcdef |
| PM100 | 2.52 ± 0.33 abcdef | 55.67 ± 6.81 ab | 1.33 ± 0.45 abcdef | 29.53 ± 2.87 cdefg | 24.03 ± 1.33 abcde | 10.78 ± 1.80 fghi |
| PM75 | 2.54 ± 0.12 abcde | 43.33 ± 16.26 bc | 1.57 ± 0.55 abcde | 28.77 ± 1.35 defg | 22.00 ± 4.36 cdef | 11.56 ± 1.78 defgh |
| PM50 | 2.4 ± 0.18 abcdef | 50.33 ± 2.52 abc | 1.20 ± 0.10 cdef | 31.2 ± 1.28 abcdef | 24.30 ± 0.69 abcd | 11.67 ± 0.69 cdefgh |
| PM25 | 2.73 ± 0.55 abc | 50.33 ± 6.51 abc | 1.00 ± 0.17 def | 31.4 ± 1.49 abcde | 24.10 ± 0.46 abcde | 13.18 ± 1.28 abcd |
| DCF | 2.93 ± 0.39 ab | 48.67 ± 4.93 abc | 0.73 ± 0.06 f | 35.53 ± 0.96 ab | 24.73 ± 0.38 abc | 13.61 ± 0.66 ab |
| DCM | 1.90 ± 0.69 fgh | 44.33 ± 9.61 abc | 1.83 ± 0.74 abc | 25.93 ± 6.28 fg | 21.10 ± 3.58 def | 10.86 ± 1.40 fghi |
| DCHM | 2.89 ± 0.19 ab | 52.67 ± 3.06 abc | 0.93 ± 0.06 ef | 34.80 ± 0.78 abc | 25.93 ± 0.90 a | 13.47 ± 0.21 abc |
| DPM | 3.02 ± 0.09 a | 56.67 ± 10.02 a | 0.80 ± 0.10 f | 36.90 ± 1.56 a | 25.53 ± 2.43 ab | 14.18 ± 0.32 a |
| *CV*(%) | 19.31 | 13.47 | 27.87 | 16.72 | 9.77 | 3.81 |

注（Note）：DT—Development time; FQN—Farinogram quality number; VR—Viscoelastic ratio; WG—Wet gluten; SV—Ssedimentation value, ml; PC—Protein content. 同列数据后不同小写字母表示处理间在 5% 水平差异显著 Values followed by different lowercases in the same column are significantly difference among treatments at the 0.05 level.

理，三者平均比施用牛粪处理的粗蛋白含量高出 14.37%。与常规施肥量相比，加倍施用化肥和牛粪没有显著提高籽粒粗蛋白含量，而加倍鸡粪与加倍猪粪处理小麦籽粒的粗蛋白含量均显著高于常量单施鸡粪和猪粪的处理。施氮量为 225 kg/hm$^2$ 时，三种有机肥与化肥不同配施比例的处理之间无显著性差异，化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 籽粒粗蛋白含量较高。

根据表 5 中变异系数可知，各种不同施肥方式对面团拉伸比 (VR) 产生了较大的影响，变异系数达到了27.87%。其次是面团形成时间 (DT)、湿面筋含量 (WG)、面粉指数 (FQN)、沉淀值 (SV)、粗蛋白 (PC)。

### 2.3 小麦加工指标的主成分分析

各主成分的特征根与方差贡献率(表 6)，前三个特征根的方差累积贡献率已经超过 80%，基本可以反映出系统的变异信息。

由表 6 及各主成分表达式可知，第一主成分的方差贡献率占到 60.22%，代表了大部分的数据信息，其中 WA、DT、FQN、EX、VR、WG、SV、PC 等指标在特征向量中的系数均达到了 0.3 左右 (VR 为负值)，其次是 HA 的特征向量系数达到了 0.27。结合表 4 中各指标间的相关性可知，上述指标与 WG 含量指标间的相关系数都达到 0.7 以上，表现出强相关性，其中 VR 为负相关。第二主成分的方差

表 6 主成份分析特征根及方差贡献率

Table 6 Eigenvalues and proportion of the variance

| 主成份 Principal component | 特征根 Eigenvalue | 特征根差 Difference | 方差贡献率 Proportion | 累积贡献率 Cumulative |
|---|---|---|---|---|
| PC 1 | 9.0327 | 6.3082 | 0.6022 | 0.6022 |
| PC 2 | 2.7245 | 1.6924 | 0.1816 | 0.7838 |
| PC 3 | 1.0321 | | 0.0688 | 0.8526 |

贡献率为 18.16%，解释其中变异的指标主要是 ST、AR、MR、GI 和 VW，特征向量系数达到 0.3 以上。第三主成分只占到数据总变异的 6.88%，解释其中变异的指标主要是 FY，其特征向量系数达到了 0.8756。

各主成份特征向量表达式：

PC1 = WA × 0.2925 + DT × 0.3152 + ST × 0.1906 + FQN × 0.2952 + AR × 0.0789 + EX × 0.3155 + MR × (–0.2186) + VR × (–0.3106) + FY × 0.0903 + HA × 0.2744 + WG × 0.3223 + GI × (–0.1288) + SV × 0.3217 + VW × 0.2074 + PC × 0.3020

PC2 = WA × (–0.1858) + DT × (–0.0365) + ST × 0.3733 + FQN × 0.1838 + AR × 0.4664 + EX × (–0.0856) + MR × 0.4124 + VR × 0.1290 + FY × 0.1064 + HA × 0.3047 + WG × (–0.07050) + GI × 0.3847 + SV × 0.0690 + VW × 0.3069 + PC × (–0.1556)

PC3 = WA × 0.1013 + DT × 0.0054 + ST × 0.1022 + FQN × 0.1116 + AR × (–0.2818) + EX × (–0.2075) + MR × (0.0401) + VR × 0.0949 + FY × 0.8756 + HA × (–0.1452) + WG × (–0.0498) + GI × 0.1443 + SV × 0.1046 + VW × (–0.1046) + PC × 0.0260

图 1 为各品质指标在三个主成分上的增强型负荷图，从图中可以看出，在第一主成分上负荷较重的指标，PC、DT、EX、WG、SV、WA、FQN 等与处理 DPM、DCHM、DCF 关系较为密切，表明加倍施用鸡粪、猪粪以及化肥有助于上述指标的提升；在第二主成分上负荷较重的指标，如 ST、AR 和 MR、GI 与常量鸡粪、猪粪，大部分常量配施处理关系较为密切；在第三主成分上负荷较重的指标，FY 未与任何处理表现出密切关系，表明各施肥措施对出粉率的影响不大。

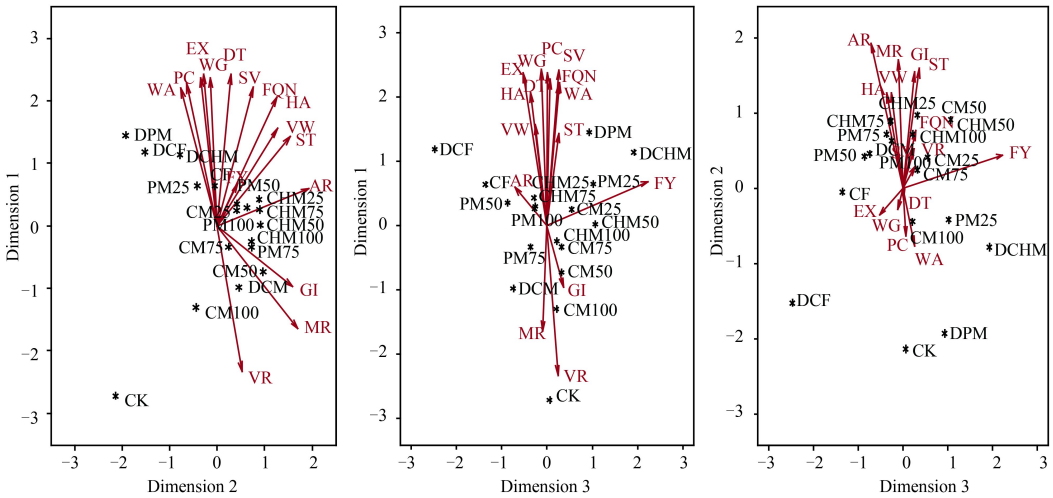


**图 1　小麦品质指标在三个主成分上的增强型负荷分布图**

**Fig. 1　Distribution of quality properties in enhanced components loading plot**

## 2.4　不同施肥方式聚类分析

针对小麦各品质指标，使用类平均数法对各处理进行了系统聚类，按图 2 所示，在马氏距离为 0.85 时可以将本试验中的 18 个处理分成 4 类。

第一类：CK 处理。由于不施任何肥料，土壤中的有效氮水平极低，小麦大部分品质指标处于较差的水平。所有处理中吸水量 (58.47) 最小，面团形成时间 (1.35 min)、稳定时间 (2.53 min) 最短，粉质指数最低 (28.00)，拉伸面积 (40.67) 最小，延伸性 (116.33) 最差，拉伸比 (1.97) 最大，硬度 (63)、湿面筋含量 (19.30)、粗蛋白 (27.36) 以及沉降值 (16.0) 最小。

第二类：CM100 和 DCM 处理。由于牛粪中的

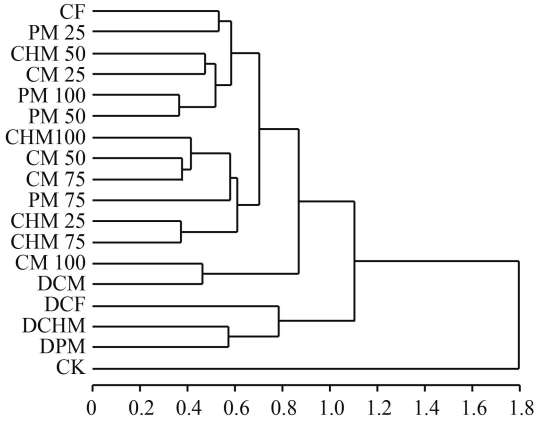


**图 2　不同施肥方式的聚类树状图**

**Fig. 2　Clustering figure of different fertilization strategies**

氮素有效性很低，而且肥料在小麦播前一次性施入，后期没有追肥。小麦大部分指标处于较差水平，但优于第一类中不施肥处理，如吸水量、面团形成时间、面粉指数、拉伸比、湿面筋、沉淀值、容重、粗蛋白、硬度指数等。

第三类：CF、CHM100、PM100 处理以及化肥与有机肥配施的处理 (CM25、CM50、CM75、CHM25、CHM50、CHM75、PM25、PM50、PM75)。由于化肥的分次施用，而且鸡粪和猪粪中氮的有效性明显高于牛粪。相对于第二类中的单施牛粪的处理，这些处理改善了土壤中氮素的供应，更有利于小麦品质的优化[11]。

第四类：DCF、DCHM 和 DPM 处理。加倍化肥处理由于化学氮肥的大量施用，作物氮素供应充足，与籽粒氮含量相关的指标粗蛋白 (39.86)、湿面筋 (35.53)、沉淀值 (24.73) 都明显高于前三类处理，粉质指数、面团的形成时间、稳定时间、拉伸面积以及延伸性等指标也都得到提升。由于鸡粪和猪粪中氮素有效性与牛粪明显不同，而且全年的鸡粪和猪粪在小麦播前一次性投入，加倍鸡粪和加倍猪粪处理的有效氮素得到了充足供应，多数品质指标与加倍化肥的处理相当。

## 3 讨论

### 3.1 不同施肥措施对小麦品质指标的影响

氮肥在小麦产量和品质的形成过程中有着极为重要的作用，关于氮的施用量[8, 17]及施用时期、方法等[18–20]对作物产量和品质影响的研究已有很多。一定范围内，增加施氮量能提高小麦籽粒产量及蛋白含量，提升面团和面粉等多项品质指标；施氮量 150～300 kg/hm$^2$，可实现小麦产量和品质的同步提升[8]。超过一定范围，单位氮肥在提质增产方面的效益会逐渐降低[21]。本研究发现，化肥在常规施用量 (225 kg/hm$^2$) 的基础上施肥量提高一倍小麦蛋白含量、面粉及面团指标均有所提升，但差异并不显著；猪粪、鸡粪的处理只有湿面筋和粗蛋白含量等个别指标在常量和加倍施肥水平下表现出了显著性差异。秦武发等研究表明，对于确定的品种，在不减少籽粒产量的条件下，蛋白质含量的提高有一个临界值[22]。本研究中常规化肥用量已基本能满足作物需求，土壤中氮水平已不再是籽粒蛋白质等品质指标提升的限制性因子，因此加倍施肥并未对小麦的品质产生质的变化。有机肥中，猪粪和鸡粪氮的有效性较高，矿化分解快[23–24]，且全年有机肥在小麦播前全部施入，在小麦季基本可以提供足够的氮素供应，因此加倍施肥量与低施肥量之间仅在籽粒蛋白含量和湿面筋含量显示出显著性差异。牛粪处理由于氮的有效性过低，加倍牛粪处理和常量牛粪处理所提供的速效氮的水平均较低，因此二者在小麦品质的大部分指标上也未表现出显著性差异。

有学者指出，有机肥对小麦品质的影响小于氮素化肥[5, 25]。本研究中发现，加倍和常规施肥两种水平下牛粪对小麦品质的影响都远小于化肥，而鸡粪和猪粪对小麦品质的影响与化肥对小麦品质的影响基本相当；三种粪肥的施用方式完全相同 (全部作为基肥)，但对小麦品质的影响却有显著差异。因此，有机肥和化肥对小麦品质的影响主要取决于二者在小麦生育期内所提供的速效氮水平。牛粪处理由于提供的速效氮水平远不能达到化肥中速效氮的水平，因此对小麦品质的影响远小于化肥；而鸡粪和猪粪处理在小麦生育期内提供的速效氮水平较高，因此对小麦品质的影响与化肥处理接近。

长期定位试验表明，在氮、磷、钾均衡施肥的情况下，配施一定量的有机肥可以明显改善小麦的各种品质指标[26]。南镇武等[21]的研究表明，等施氮量条件下，有机无机配施时化肥比例的提高有利于蛋白质和氨基酸含量的增加。本研究等施氮量条件下，有机肥与化肥以不同比例施用后对小麦各品质指标的影响虽然没有表现出显著性差异，但化肥比例高的处理在提升小麦品质方面显示出了一定优势。

### 3.2 多元统计分析在综合评价小麦品质方面的应用

多元统计分析是综合分析评价小麦品质的有效方法。了解多元统计分析结果在实际问题中的具体意义，并最终给出专业的解释，是使用多元统计方法进行分析问题的最终目的。张桂英等[27]对陕西关中地区 92 个样品 29 个品质指标因子分析的结果表明，29 个指标可以压缩为 7 个公共因子，达到数据总变异的 82.14%，其中反映蛋白质含量的因子贡献最大，占到总变异的 26.22%。雷加容等[28]在对 16 个小麦品种的 9 个品质指标的主成分分析中，反映蛋白含量的第一主成分占到总变异的 51.94%。王格格[29]对陕西关中地区的 179 个品种利用主成分法将 14 个指标压缩为 5 个主成分，占到数据总变异的 80.13%，反映蛋白含量的因子贡献占到总变异的 16.52%。本研究经过主成分分析后将 15 个指标压缩为 3 个主成分，且数据信息达到总变异的 85% 以

上，其中反映湿面筋含量的第一主成分也占到总变异的 60%。虽然由于选取指标有所差异，导致了不同研究者对公共影响因子的解释有所差异，但是可以看出反映蛋白含量的因子总是占据了相对较多的数据信息，可见蛋白质对小麦其它品质指标的影响有着至关重要的作用。小麦生长过程中氮素营养状况直接决定了小麦蛋白质的含量与质量，因此氮肥是对小麦品质影响最大的因素[30]。本研究中对不同施肥方式的聚类主要依据施氮量与氮肥的有效性，各施肥方式在小麦生长过程中所能提供的有效氮 (数量、时间、持续性) 是影响小麦品质的关键因素。本研究中可以用相对较少的公共因子解释大部分的数据变异 (前三个解释了 85% 的数据变异)， 主要是由于本研究着重于不同的施肥措施对同一个小麦品种的指标产生的影响，数据本身变异相对较小。

## 4　结论

1) 肥料单施时，鸡粪、猪粪处理与化肥处理对小麦各品质指标的提升作用相当，且明显优于施用牛粪处理。与常规施肥量相比，高施肥量条件下小麦各品质指标均有所提升，但大部分指标均无显著性差异。常量配施时化肥比例高而有机肥比例低的处理 (25% 有机肥 + 75% 化肥) 更有利于籽粒蛋白含量的提高，改善小麦品质。

2) 不同施肥措施对各品质指标的影响强度不同，由大到小依次为面团拉伸比、面团形成时间、湿面筋含量、面粉指数、沉淀值、粗蛋白。

3) 主成分分析表明，以吸水率、面团形成时间、粉质指数、面团延伸性、面团拉伸比、湿面筋、沉淀值、粗蛋白等指标为代表的第一主成分方差贡献率占到 60.22%，代表了大部分的数据信息。施氮量高且氮素有效性高的施肥处理，如加倍猪粪、加倍鸡粪、加倍化肥，对改善小麦品质指标有重要影响。

4) 由于氮肥施用量及所施肥料中氮的有效性不同，18 个处理可以聚为四类。第一类是不施肥的处理；第二类是氮素有效性很低的常量牛粪和加倍牛粪处理；第三类是常规施肥量，氮肥有效性较高的常量单施化肥、鸡粪、猪粪的处理以及牛粪、鸡粪、猪粪与化肥配施的处理；第四类是施肥量和氮素有效性都较高的加倍化肥、加倍鸡粪和加倍猪粪处理。

5) 常规施肥量条件下，施用鸡粪、猪粪时可以配施少量或者不配施化肥，牛粪施用时配施较多比例化肥都可以起到提升小麦品质的作用，而过量施用化肥或有机肥对小麦品质的提升作用并不明显。

**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.
Wang H L, Nie J H, Zhao J M, *et al*. Principal component analysis of quality of wheat in highly fertilized fields and the study on its fertilization scheme[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2007, 41(4): 377–381.

[2] Graybosch R A, Peterson C J, Shelton D R, *et al*. Genotypic and environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality[J]. Crop Science, 1996, 36(2): 296–300.

[3] Triboi E, Abad A, Michelena A, *et al*. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: Ⅰ. Quantitative and qualitative variation of storage proteins[J]. European Journal of Agronomy, 2000, 13(1): 47–64.

[4] 孙文彦, 赵秉强, 田昌玉, 等. 氮肥类型和用量对冬小麦品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6): 1297–1311.
Sun W Y , Zhao B Q, Tian C Y, *et al*. Effects of nitrogen fertilizer types and input rates on winter wheat quality[J]. Journal of Plant Nutrition and fertilizer, 2013, 19(6): 1297–1311.

[5] Lin Z A, Chang X, Wang D, *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.

[6] Garrido-Lestache E, López-Bellido R J, López-Bellido L. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions[J]. Field Crops Research, 2004, 85(2): 213–236.

[7] 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.
Xu F J, Zhao G C, Tian Q Z, *et al*. Effects of nitrogen fertilization on grain yield and processing quality of different wheat genotypes[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(2): 300–306.

[8] 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.
Zhao G C, Chang X H, Liu L H, *et al*. Effect of nitrogen application on grain yield and processing quality in different strong gluten wheats[J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(5): 723–727.

[9] 戴廷波, 孙传范, 荆奇, 等. 不同施氮水平和基追比对小麦籽粒品质形成的调控[J]. 作物学报, 2005, 31(2): 248–253.
Dai T B, Sun C F, Jing Q, *et al*. Regulation of nitrogen rates and dressing ratios on grain quality in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2005, 31(2): 248–253.

[10] 刘树堂, 隋方功, 韩晓日, 等. 长期定位施肥对冬小麦品质及产量构成因素的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1178–1183.
Liu S T, Sui F G, Han X R, *et al*. Effects of long-term position fertilization on the quality and yield components of winter wheat[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2005, 25(6): 1178–1183.

[11] 姜东, 戴廷波, 荆奇, 等. 有机无机肥长期配合施用对冬小麦籽粒品质的影响[J]. 生态学报, 2004, (7): 236–243.
Jiang D, Dai T B, Jing Q, *et al*. Effects of long-term application of manure and fertilizers on grain quality and yield of winter wheat[J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, (7): 236–243.

[12] 赵秉强. 施肥制度与土壤可持续利用[M]. 北京: 科学出版社, 2012. 451–455.
Zhao B Q. Fertilization systems and land use sustainability[M]. Beijing: Science Press, 2012. 451–455.

[13] 要燕杰, 高翔, 李晓燕, 等. 小麦品质指标与面团流变学特性的相关和多元回归分析[J]. 华北农学报, 2013, 28(S1): 147–154.
Yao Y J, Gao X, Li X Y, *et al*. Correlation and multiple regression analysis of wheat quality indexes and dough rheological properties[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2013, 28(S1): 147–154.

[14] 路辉丽, 王亚平, 尹成华, 等. 小麦品质指标与面团流变学特性的多元回归分析[J]. 粮油食品科技, 2013, 21(1): 62–66.
Lu H L, Wang Y P, Yin C H, *et al*. Multiple regression analysis of wheat quality indexes and dough rheological properties[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(1): 62–66.

[15] 薛香, 郜庆炉, 杨忠强. 小麦品质性状的主成分分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 38–41.
Xue X, Gao Q L, Yang Z Q. Principal components analysis on major qualitity traits of winter wheat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(7): 38–41.

[16] 孙宪印, 吴科, 钱兆国, 等. 黄淮冬麦区北片水地组供试小麦品种(系)主要品质性状的主成分分析和聚类分析[J]. 山东农业科学, 2006, (1): 24–26.
Sun X Y, Wu K , Qian Z G, *et al*. Principal components and cluster analysis on major qualitity traits of winter wheat in Huanghuaihai region[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2006, (1): 24–26.

[17] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 施氮量对小麦籽粒蛋白质组分含量及加工品质的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1071–1078.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, *et al*. Effects of nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain[J]. Scientia Agricultura Scinca, 2002, 35(9): 1071–1078.

[18] 张宝军, 蒋纪芸. 施氮时期对小麦不同种籽粒蛋白质品质的影响[J]. 西北农业大学学报, 1996, 24(1): 33–36.
Zhang B J, Jiang J Y. Effect of nitrogen applying stages on the grain protein content and protein fractions of different wheat varieties[J]. Acta University Agriculture Broreali-Occidentalis, 1996, 24(1): 33–36.

[19] 葛鑫, 戴其根, 张洪程, 等. 施氮方式对强筋小麦济南17产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2004, 23(4): 104–108.
Ge X , Dai Q G, Zhang H C, *et al*. Effects of nitrogen application methods on grain yield and quality of strong gluten wheat Jinan 17[J]. Journal of Triticeae Crops, 2004, 23(4): 104–108.

[20] 朱统泉, 袁永刚, 曹建成, 等. 不同施氮方式对强筋小麦群体及产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(1): 150–152.
Zhu T Q, Yuan Y G, Cao J C, *et al*. Effect of different nitrogen application methods on population, yield and quality of strong gluten wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(1): 150–152.

[21] 南镇武, 梁斌, 刘树堂, 等. 长期定位施肥对冬小麦籽粒品质的影响[J]. 华北农学报, 2015, 30(4): 162–167.
Nan Z W, Liang B, Liu S T, *et al*. Effect of long-term fertilization on grain quality of winter wheat[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2015, 30(4): 162–167.

[22] 秦武发, 李宗智. 氮素供应对小麦品质的影响Ⅰ. 供氮量[J]. 河北农业大学学报, 1989, 12(3): 1–7.
Qin W F, Li Z Z. Effect of nitrogen supply on grain quality of winter wheat[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1989, 12(3): 1–7.

[23] 赵明, 陈雪辉, 赵征宇, 等. 鸡粪等有机肥料的养分释放及对土壤有效铜, 锌, 铁, 锰含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 47–50.
Zhao M, Chen X H, Zhao Z Y, *et al*. Releasing of N, P and K of organic fertilizers and their effects on the contents of available Cu, Zn, Fe and Mn in soil[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(2): 47–50.

[24] 李玲玲. 有机肥氮素有效性和替代化肥氮比例研究[D]. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文, 2011.
Li L L. Manure nitrogen availability and its substitution ratio for chemical fertilizer nitrogen[D]. Beijing: MS Thesis of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011.

[25] 樊虎玲, 郝明德, 李志西. 黄土高原旱地化肥和有机肥配施对小麦品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 72–76.
Fan H L, Hao M D, Li Z X. Effect of long-term fertilization on quality of wheat in dryland of Loess Plateau[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(5): 72–76.

[26] 曲环, 赵秉强, 陈雨海, 等. 灰漠土长期定位施肥对小麦品质和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 12–17.
Qü H , Zhao B Q, Chen Y H, *et al*. Effect of long-term fertilization on wheat quality and yield in grey desert soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(1): 12–17.

[27] 张桂英, 张国权, 罗勤贵, 等. 陕西关中小麦品质性状的因子及聚类分析[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(3): 548–554.
Zhang G Y, Zhang G Q, Luo Q G, *et al*. Factors and cluster analysis of quality properties of wheat in Guanzhong area of Shanxi province[J]. Journal of Triticeae Crops, 2010, 30(3): 548–554.

[28] 雷加容, 余敖, 任勇, 等. 小麦品质性状的主成分分析[J]. 大麦与谷类科学, 2015, (2): 45–48.
Lei J R, Yu A, Ren Y, *et al*. Principal components analysis of qualitative traits in wheat[J]. Barley and Cereal Science, 2015, (2): 45–48.

[29] 王格格. 关中小麦品种(品系)品质性状优化分析[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2006.
Wang G G. Optimized analysis on quality properties of wheat varieties in Guanzhong[D]. Yangling, Shaanxi: MS Thesis of Northwest A&F University, 2006.

[30] 魏益民. 谷物品质与食品品质: 小麦籽粒品质与食品品质[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.
Wei Y M. Grain quality and food quality: wheat grain quality and food quality[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2005.