

小麦籽粒不同部位矿质元素组成及含量分析

李雅洁, 郑 琪

(甘肃省平凉市农业科学院, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 以陇黑麦 838(黑粒)、平凉 44 号、农大 3753(黑粒)、农大 5181、陇鉴 108 和陇育 4 号为试验材料, 采用 X-射线能谱仪测定小麦籽粒不同部位的部分矿质元素组成和相对含量。结果表明, 小麦籽粒中除含有大量 C、O 外, 皮层富含 K、Ca、Fe, 其次是 Na、Mg、Cl 和 Cu。糊粉层富含 K、Mg 和 Fe, 其次是 Si、Cl、Ca 和 Mn。胚乳层 O 含量最高, Cl、K、Ca 和 Fe 次之, 并含少量 Na、Mg、和 Se 等元素。胚中 Mg、Cl、K、Ca 和 Fe 含量较高, Na、Mn、Cu 和 Se 次之。黑粒小麦陇黑麦 838 和农大 3753 籽粒 Ca、Fe、Zn 和 Se 元素的相对含量高于普通小麦。总体来看, 所有品种(系)糊粉层矿质元素含量最高, 皮层和胚次之, 胚乳最低。不同类型品种(系)籽粒各部位的矿质元素含量存在基因型差异, 黑粒小麦矿质价值高于普通小麦。

关键词: 小麦; 籽粒; 矿质元素; 组成; 含量

中图分类号: S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2016)07-0027-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.07.009

Comparison of Mineral Elements Composition and Content in Different Positions of Wheat Grains

LI Yajie, ZHENG Qi

(Pingliang Academy of Agricultural Sciences, Pingliang Gansu 744000, China)

Abstract: With Longheimai 838 (black grain), Pingliang 44, Nongda 3753 (black grain), Nongda 5181, Longjian 108 and Longyu 4 as the experimental materials, mineral element composition and relative content in different parts of wheat grains were determined by X-ray energy spectrometer. The result shows that wheat grains contain a large amount of C, O, the cortex is rich in K, Ca, Fe, followed by Na, Mg, Cl and Cu; aleurone layer rich in K, Mg and Fe, Si, Cl, Ca and Mn are lower; endosperm layer all of varieties (lines), content of O is the highest, followed by Cl, K, Ca and Fe, a small amount of Na, Mg, and Se and other elements; content of Mg, Cl, K, Ca and Fe are higher in embryo, Na, Mn, Cu and Se are lower; Ca, Fe, Zn and Se is higher in black grain wheat Longheimai 838 and Nongda 3753 grains than that of common wheat grains. Anyway, mineral elements contents are highest in aleurone layer of all varieties (lines), followed by cortex and embryo, the contents of mineral elements are the lowest in endosperm of all parts of the grains; different varieties (lines) exist genotype difference; mineral value is higher in black grains of wheat.

Key words: Wheat; Grains; Mineral elements; Composition; Content

小麦(*Triticum aestivum* L.)作为人类最重要的食物之一, 在全球的消费量占谷物消费量的 30%, 在中国的消费量位居第 2^[1], 由小麦加工制作的

各类食品是世界 1/3 人口的主食^[2]。小麦的品质和矿质元素含量对人体健康尤为重要, 但是, 小麦籽粒中有益的矿质元素含量较低是中国乃至全

收稿日期: 2016-01-07; 修订日期: 2016-05-20

作者简介: 李雅洁 (1983—), 女, 甘肃灵台人, 助理农艺师, 主要从事农作物栽培技术研究工作。联系电话: (0)13830371785。E-mail: plnkslyj@163.com。

通信作者: 郑 琪 (1983—), 男, 甘肃镇原人, 农艺师, 硕士, 主要从事小麦、玉米和高粱育种及栽培研究工作。联系电话: (0)18293361852。E-mail: plnkszq@163.com。

[16] 汤春梅. 甘肃省蝶新记录[J]. 甘肃农业科技, 2011 (2): 7-9.

[17] 杨庆森, 蔡继增, 马喜迎, 等. 小陇山林区的蝶类资源(二)[J]. 甘肃农业科技, 2011(3): 19-22.

[18] 杨庆森, 蔡继增, 成珍君, 等. 甘肃小陇山林区的蝶类资源(三)[J]. 甘肃农业科技, 2011(3): 22-27.

[19] 蔡继增, 杨庆森, 刘玉荣, 等. 甘肃小陇山林区的蝶类资源(四)[J]. 甘肃农业科技, 2011(4): 13-16.

[20] 蔡继增, 杨庆森, 李 琼, 等. 小陇山林区的蝶类资源(五)[J]. 甘肃农业科技, 2011(5): 23-26.

(本文责编: 郑立龙)

世界普遍存在的问题^[3-4]。自从 20 世纪 90 年代,国内小麦育种工作者培育出了以漯珍 1 号、黑粒小麦 76 等为代表的黑粒小麦品种后,一批特色黑(紫)粒小麦品种(系)也随之而生,关于黑粒小麦的营养价值以及加工利用等研究报道也比较广泛,但关于黑粒小麦与普通小麦矿质元素组成和含量差异比较的研究报道较少。我们于 2005 年测定了黑粒小麦与普通小麦不同部位的矿质元素组成和相对含量,并进行比较分析,以期特色黑粒小麦深加工和产业化发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试小麦品种(系)为陇黑麦 838(黑粒)、平凉 44 号、农大 3753(黑粒)、农大 5181、陇鉴 108 和陇育 4 号,均由平凉市农业科学院小麦育种研究室提供。

1.2 方法

试验于 2015 年在平凉市农业科学院高平试验场和中国科学院兰州化学物理研究所电镜实验室进行。取完全成熟的小麦籽粒,沿籽粒腹沟纵向

人工断裂,选用断面平整且籽粒皮层、糊粉层、胚乳和胚均暴露出来的样本,用导电双面胶带将其断面向上粘附在载物台上待用。因完全成熟后的小麦籽粒含水量比较低,故直接在真空条件下喷镀金膜,用直接观察法在扫描电子显微镜(日本 JSM-5600LV 型)下观察^[5],并经计算机成像后获得照片。同时采用美国 KEVEX 型 X-射线能谱仪对样品进行微区分析,测定籽粒皮层、糊粉层、胚乳和胚中矿质元素的组成和相对含量^[6]。加速电压为 20 kV,电流为 60 μ A,样品倾斜角为 0°。

2 结果与分析

2.1 小麦籽粒不同部位中的矿质元素的组成和相对含量

小麦籽粒不同部位矿质元素组成和相对含量差异较大。皮层中 K、Ca 和 Fe 的含量均相对较高(图 1),其次是 Na、Mg、Cl 和 Cu 等元素。糊粉层中 K、Mg、Fe 的含量相对较高,其次是 Na、Mg、Cl、Ca 和 Zn 等元素,且各元素相对含量均高于皮层(图 2)。胚乳层 O 含量最高,Cl、K、Ca 和

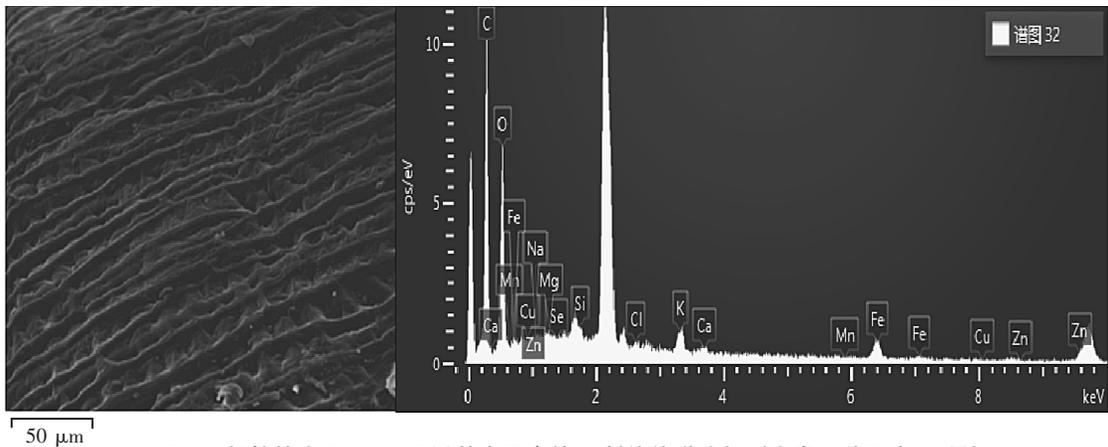


图 1 籽粒的皮层 SEM 图及其中元素的 X 射线能谱分析(小麦品种平凉 44 号)

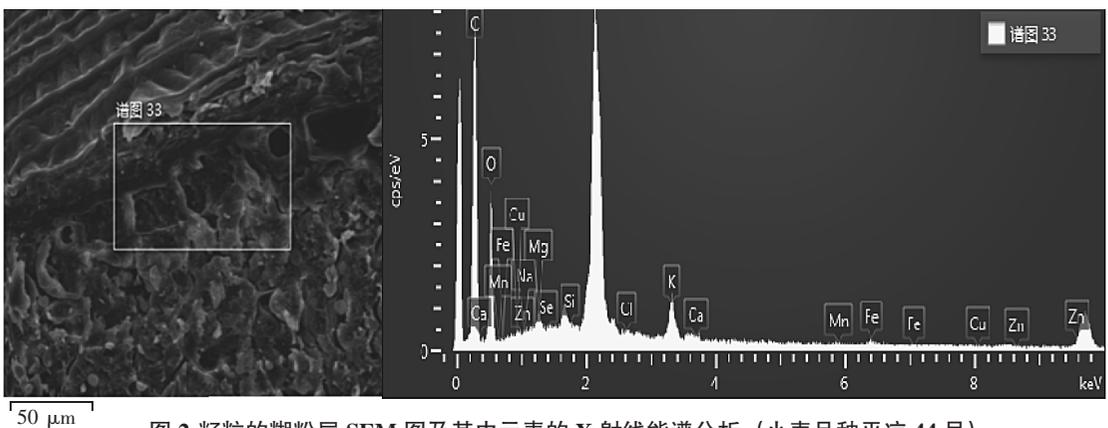


图 2 籽粒的糊粉层 SEM 图及其中元素的 X 射线能谱分析(小麦品种平凉 44 号)

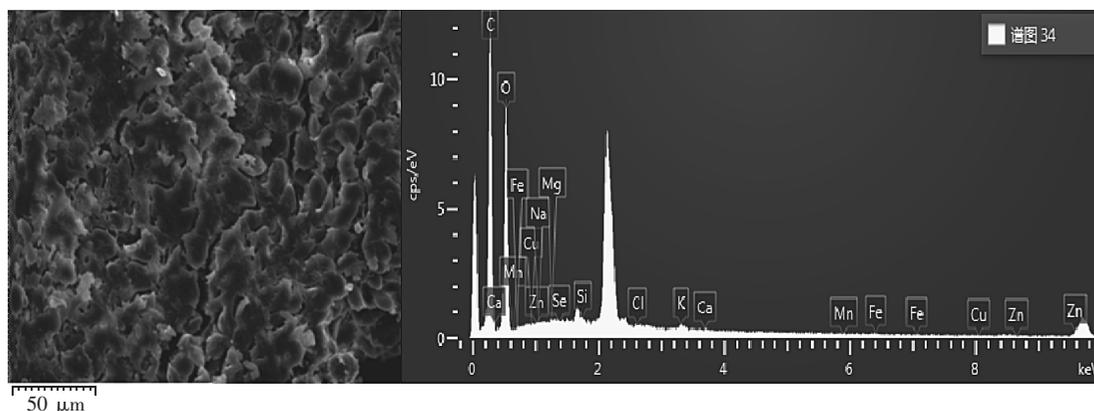


图3 籽粒的胚乳 SEM 图及其中元素的 X 射线能谱分析 (小麦品种平凉 44 号)

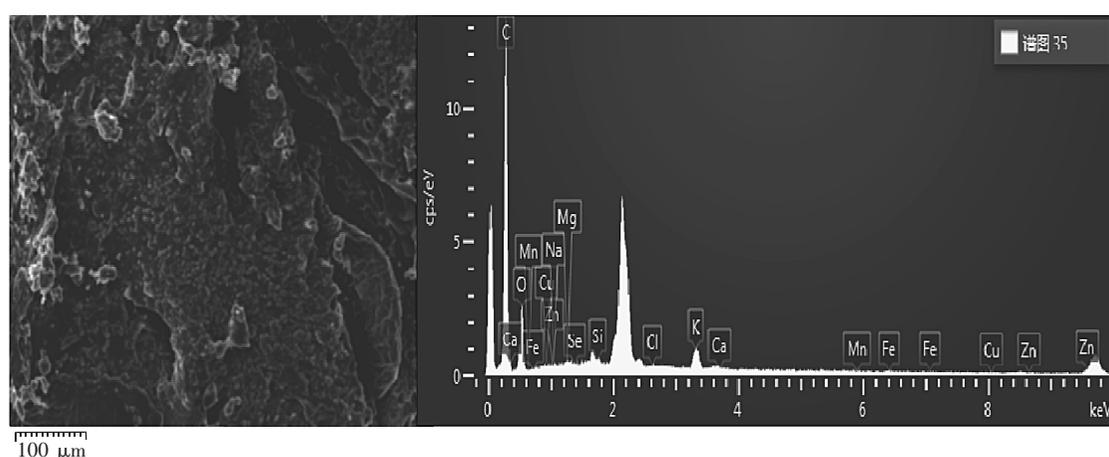


图4 籽粒的胚 SEM 图及其中元素的 X 射线能谱分析 (小麦品种平凉 44 号)

Fe 次之, Na、Mg、和 Se 等其它元素含量较少(图 3)。胚中 Mg、Cl、K、Ca 和 Fe 含量较高, Na、Mn、Cu 和 Se 次之(图4)。说明小麦籽粒糊粉层 K、Mg 和 Fe 的相对含量最高, 且 Mg、K 和 Mn 含量均高于其它部位; 其次是皮层和胚, 富含 Mg、Cl、K、Ca 和 Fe; 胚乳矿质元素含量最低。

2.2 不同小麦品种(系)籽粒中矿质元素的组成和相对含量比较

由表 1 可知, 不同品种(系)小麦籽粒矿质元素组成和相对含量有差异。所有小麦品种(系)籽粒中 C 元素相对含量平均达到 58.87%, O 元素达到 37.72%, 两者之和达到 96.59%, 其余只占 3.41%, 包括 Na、Mg、Si、Cl、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn 和 Se 矿质元素。所有品种(系)皮层和糊粉层 C 和 O 含量都相当, 分别均占 53% ~ 59% 和 35% ~ 43%。不同品种(系)的皮层和糊粉层矿质元素含量差异比较明显, 而胚乳及胚中各元素的相对含量差异不大。在 6 个品种(系)中, 陇黑麦 838 和平凉 44 号皮层中 K、Fe 含量最高; 陇黑麦 838 糊粉

层中 Ca、Fe、Zn 含量最高, 农大 3753 糊粉层中 Na、K、Mg 含量最高; 农大 5181 胚乳中 Se 含量最高, 陇黑麦 838 次之; 农大 5181 和农大 3753 胚中 K、Mg 含量最高, 陇育 4 号和平凉 44 号次之。6 个品种(系)籽粒的皮层中均含有微量的 Fe; 皮层和糊粉层测不到 Se; 胚乳中 Se 含量较高, 胚次之。总之, 各品种(系)小麦籽粒糊粉层和皮层矿质元素含量均高于胚乳和胚, 且黑粒小麦矿质元素含量高于普通小麦籽粒, 矿质价值较高。

3 小结与讨论

小麦籽粒中除含有大量 C、O 外, 皮层富含 K、Ca、Fe, 其次是 Na、Mg、Cl 和 Cu。糊粉层富含 K、Mg 和 Fe, 其次是 Si、Cl、Ca 和 Mn 等。胚乳中相应的矿质元素含量比皮层和糊粉层低, K、Ca 和 Fe 含量较高, Na、Mg、Cl 和 Se 次之。胚中 Mg、Cl、K、Ca 和 Fe 含量较高, Na、Mn、Cu 和 Se 次之。

黑粒小麦陇黑麦 838 和农大 3753 籽粒中 Ca、Fe、Zn 和 Se 元素含量比普通小麦籽粒高。这一结

表 1 小麦籽粒不同部位矿质元素相对含量^①

| 品种(系) | 籽粒部位 | 矿质元素原子重量百分比/% | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|---------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | C | O | Na | Mg | Si | Cl | K | Ca | Mn | Fe | Cu | Zn | Se |
| 陇黑麦838 | 皮层 | 54.65 | 39.83 | 0.11 | 0.04 | 0.00 | 0.07 | 0.31 | 0.26 | 0.00 | 4.69 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| | 糊粉层 | 59.39 | 35.38 | 0.09 | 0.51 | 0.04 | 0.13 | 1.87 | 0.60 | 0.02 | 1.27 | 0.00 | 0.70 | 0.00 |
| | 胚乳 | 54.39 | 44.73 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.12 | 0.07 | 0.19 | 0.00 | 0.17 | 0.16 | 0.00 | 0.06 |
| | 胚 | 72.39 | 25.52 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.17 | 1.35 | 0.17 | 0.18 | 0.20 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 平凉44号 | 皮层 | 54.78 | 39.79 | 0.16 | 0.04 | 0.00 | 0.30 | 1.35 | 0.39 | 0.00 | 3.18 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| | 糊粉层 | 58.79 | 36.60 | 0.06 | 0.77 | 0.00 | 0.26 | 2.39 | 0.21 | 0.14 | 0.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 胚乳 | 54.59 | 44.71 | 0.04 | 0.07 | 0.00 | 0.10 | 0.23 | 0.06 | 0.00 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 胚 | 71.50 | 25.60 | 0.06 | 0.12 | 0.00 | 0.17 | 1.79 | 0.14 | 0.02 | 0.39 | 0.22 | 0.00 | 0.00 |
| 农大3753 | 皮层 | 55.75 | 41.36 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.10 | 0.44 | 0.18 | 0.06 | 2.01 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| | 糊粉层 | 57.12 | 36.27 | 0.49 | 1.38 | 0.03 | 0.44 | 2.99 | 0.44 | 0.11 | 0.67 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| | 胚乳 | 55.00 | 44.15 | 0.14 | 0.06 | 0.00 | 0.08 | 0.22 | 0.11 | 0.02 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| | 胚 | 64.55 | 31.16 | 0.30 | 0.75 | 0.00 | 0.18 | 2.23 | 0.22 | 0.07 | 0.16 | 0.29 | 0.00 | 0.09 |
| 农大5181 | 皮层 | 53.13 | 39.49 | 0.60 | 0.40 | 0.06 | 0.46 | 1.16 | 0.73 | 0.00 | 0.59 | 1.60 | 0.77 | 0.00 |
| | 糊粉层 | 58.72 | 36.81 | 0.24 | 0.42 | 0.39 | 0.44 | 1.70 | 0.63 | 0.00 | 0.61 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| | 胚乳 | 56.07 | 42.77 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.14 | 0.22 | 0.23 | 0.00 | 0.36 | 0.00 | 0.00 | 0.17 |
| | 胚 | 63.28 | 31.73 | 0.00 | 0.56 | 0.00 | 0.20 | 3.83 | 0.10 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 陇鉴108 | 皮层 | 56.47 | 38.24 | 0.45 | 0.21 | 0.16 | 0.36 | 0.90 | 0.43 | 0.00 | 2.73 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| | 糊粉层 | 56.96 | 40.58 | 0.23 | 0.17 | 0.10 | 0.19 | 0.47 | 0.20 | 0.01 | 1.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 胚乳 | 54.71 | 44.49 | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 0.10 | 0.18 | 0.09 | 0.00 | 0.32 | 0.00 | 0.00 | 0.04 |
| | 胚 | 68.49 | 28.63 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.17 | 1.93 | 0.28 | 0.02 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 陇育4号 | 皮层 | 53.65 | 42.39 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.06 | 0.47 | 0.31 | 0.00 | 2.96 | 0.11 | 0.00 | 0.00 |
| | 糊粉层 | 57.61 | 39.70 | 0.05 | 0.67 | 0.00 | 0.19 | 1.21 | 0.13 | 0.00 | 0.32 | 0.12 | 0.00 | 0.00 |
| | 胚乳 | 54.59 | 44.62 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.12 | 0.10 | 0.07 | 0.00 | 0.30 | 0.14 | 0.00 | 0.03 |
| | 胚 | 66.25 | 30.81 | 0.00 | 0.24 | 0.00 | 0.36 | 2.00 | 0.20 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.03 |

① 表中数据为 3 次重复平均值。

果与裴自友等人(2005)研究一致^[6], 说明特色黑粒小麦具有深加工和产业开发的潜力。6个品种(系)籽粒的皮层中均含有微量的 Fe, 皮层和糊粉层测不到 Se; 胚乳中 Se 含量较高, 胚次之, 这一结果与李春燕等人(2007)研究不同^[7]。

采用 X- 射线能谱仪测定的小麦籽粒矿质元素含量仅为相对值, 不能精确显示小麦籽粒矿质元素的绝对含量, 只能判断其矿质价值的高低。小麦籽粒矿质元素含量的高低与除其基因型有关之外, 还与地域、耕作措施等因素有关。进一步提高小麦籽粒矿质元素含量, 需要从育种、栽培和产地等方面综合考虑, 来研究提高小麦籽粒矿质价值的最佳途径。

参考文献:

- [1] 杨莉琳, 刘小京, 徐进, 等. 小麦籽粒微量元素含量的研究进展[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(6): 1113-1117.
- [2] 张明艳, 杨宜豪, 封超年, 等. 小麦籽粒矿质元素的

基因型差异及对锌强化的响应[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(4): 489-494.

- [3] GHANDILYAN A, VREUGDENHIL D, AARTSA M G M. Progress in the genetic understanding of plant iron and zinc nutrition[J]. Physiologia Plantarum, 2006, 126: 407-417.
- [4] SINGH B, NATESAN S K A, B SIN GH K, *et al.* Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency [J]. Current Science, 2005, 88: 36-44.
- [5] 李和平, 龙 鸿. 植物显微技术(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 85-89.
- [6] 裴自友, 李爱霞, 庄丽芳, 等. 黑粒小麦溧珍 1 号的 C—分带及 GISH 和 PAGE 分析[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(4): 15-18.
- [7] 李春燕, 封超年, 王亚雷, 等. 小麦籽粒不同部位的矿质元素组成与其含量差异[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(6): 1077-1081.

(本文责编: 杨 杰)