

小麦籽粒不同部位的矿质元素组成与其含量差异

李春燕, 封超年*, 王亚雷, 张容, 郭文善, 朱新开, 彭永欣

扬州大学小麦研究所, 江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏扬州 225009

摘要: 采用X-射线能谱仪测定非糯与糯性等品种小麦籽粒不同部位的矿质元素组成(H和He元素除外)和含量的结果表明: 小麦籽粒中除含有大量C、O外, 皮层富含K、P、Se, 其次是Cl、Si、S、Mg和Ca等; 糊粉层富含P、K和Mg, 其次是Si、Se、S、Ca、Cl和Fe等; 胚乳层中相应的矿质元素含量比皮层和糊粉层低。不同品种籽粒各部位的矿质元素含量存在遗传性差异。据此认为籽粒磨成粉时应减少糊粉层的损失, 以提高面粉的矿质价值。

关键词: 小麦; 籽粒; 矿质元素; 淀粉粒

Differences of Mineral Element Compositions and Their Contents among Different Positions of Wheat Grains

LI Chun-Yan, FENG Chao-Nian*, WANG Ya-Lei, ZHANG Rong, GUO Wen-Shan, ZHU Xin-Kai, PENG Yong-Xin

Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Wheat Research Institute, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China

Abstract: Differences of mineral element compositions and their contents among different positions of waxy and no-waxy wheat grains by energy-dispersive X-ray analyses were studied. Except for amounts of C and O in grains, grain cortex contained mainly K, P, Se with low amounts of Cl, Si, S, Mg and Ca. P, K and Mg were contained in aleurone layer of wheat grains with low amounts of Si, Se, S, Ca, Cl and Fe. The mineral nutrients contents in endosperm layer were low except for C and O. These were genetic differences for mineral element contents among wheat cultivars. Reducing the loss of aleurone layer in milling process could improve nutrient value of wheat flour.

Key words: wheat; grain; nutrient element; starch granule

食物中的各种元素与人体健康密切相关, 人类至少需要摄入22种矿质元素, 这些元素主要是从饮食中获取, 由于不同地区的土壤元素含量存在差异, 往往造成人体所需矿质元素不平衡, 影响人体的正常生理代谢(White和Broadley 2005; 陈秀宇 2006; 谭绿贵等 2005)。小麦是三大主粮之一, 用小麦加工制作的食品种类很多, 其矿质元素含量的多少决定着制成品的矿质价值高低。Joyce等(2005)采用X-能谱仪测出小麦糊粉层和盾片细胞质中含有大量C、O、P、K和Mg等元素, 胚乳层中的P、K、Mg含量很低, 认为矿质元素几乎很少运转到该层。目前, 这方面的研究较多涉及全麦粉或面粉不同矿质元素的含量差异, 而对于小麦籽粒不同部位矿质元素组成和相对含量差异的研究报道较少。本文旨在测定籽粒不同部位矿质元素组成及含量, 以期能为相关研究提供参考。

材料与方法

试验于2003~2005年在本校江苏省作物遗传生理重点实验室试验场进行, 前茬为水稻, 2003年0~20 cm耕层土壤含水解氮 54.7 mg·kg⁻¹、速效磷 44.1 mg·kg⁻¹、速效钾 107.6 mg·kg⁻¹; 2004年的相应值分别为 64.5 mg·kg⁻¹、43.5 mg·kg⁻¹和 97.65 mg·kg⁻¹。

选用非糯性强筋小麦(*Triticum aestivum* L.)品种‘中优9507’、中筋小麦‘扬麦11’、弱筋小麦‘扬麦13’和糯小麦‘扬0369’(根据

收稿 2007-05-16 修定 2007-11-02

致谢 扬州大学测试中心周卫东先生曾给予指导和帮助。

资助 国家自然科学基金(30370829、30571091和30671224)、江苏省高校自然科学重大基础研究项目(07KJA21022)和扬州大学博士科研启动基金(2006)。

* 通讯作者(E-mail: fengcn@yzu.edu.cn; Tel: 025-84557702)。

Waxy 蛋白质电泳图谱区分糯性与非糯性品种)。10月31日播种,基本苗 $150\text{万}\cdot\text{hm}^{-2}$,人工条播,行距为30 cm,小区面积为 18 m^2 ,3次重复。施纯氮量 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,按基肥:壮蘖肥:倒二叶肥=5:1:4施用,基肥于播种前底施,壮蘖肥于越冬期施用,倒二叶肥于叶龄余数1.5时追施;磷(P_2O_5)、钾(K_2O)肥均为 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,基肥和拔节肥各占50%。

取成熟期籽粒,直接用单面刀片从籽粒背部横切一小段,后进行人工断裂(尽可能保持断面的平整),用导电双面胶带将样本的一个截面粘附于载物台上,用 Philips XL30-ESEM 型电镜[环境扫描电子显微镜(SEM)]扫描摄像,同时,采用 KEVEX 型 X-射线能谱仪(Joyce 等 2005; Gu 2003)对样品进行微区分析,测定籽粒皮层、糊粉层和胚乳层矿质元素分布和相对含量,加速电压为20 kV,电流为 $70\text{ }\mu\text{A}$,样品倾角为 0° 。文中数据

均为5个重复的平均值。

实验结果

1 小麦籽粒不同部位中的矿质元素的分布和相对含量

小麦籽粒不同部位除含有大量C、O外,还含有P、K、Mg、Na、S、Cl、Si、Ca、Se和Fe等矿质元素,其皮层中K、P、Se的含量相对较高(图1),其次是Cl、Si、S、Mg和Ca等元素;糊粉层P、K、Mg的含量相对较高(图2),其次是Si、S和Se等元素,且各元素相对含量均高于皮层;糊粉层内壁P、K含量相对较高,但显著低于糊粉层(图3);胚乳层除C、O外,其他元素相对含量均较低(图4);籽粒中I型和II型淀粉粒(盛婧等2004)各矿质元素组成及含量上差异不显著,均表现为含大量C、O而其他矿质元素含量均较低(图5、6)。总之小麦籽粒糊

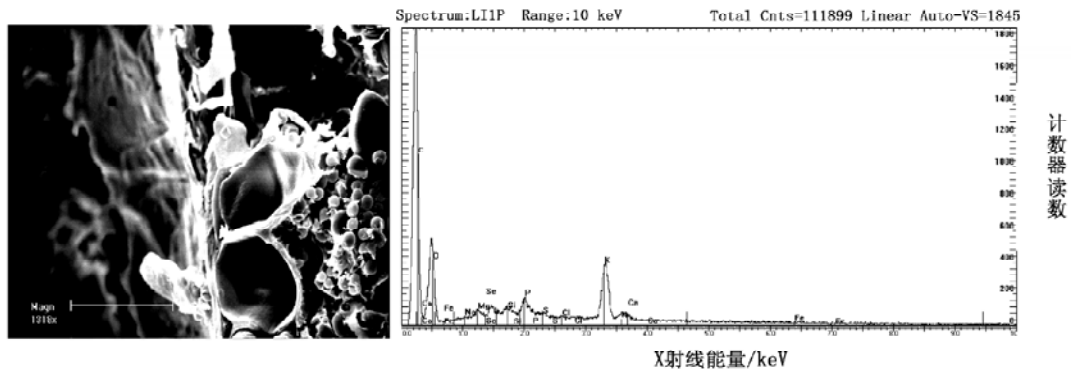


图1 籽粒的皮层SEM图及其中元素的X射线能谱分析(小麦品种‘中优9507’)

Fig.1 SEM-EDS studies on grain cortex and its elements (wheat variety ‘Zhongyou 9507’) 根据横坐标X射线能量值确定元素的种类,通过纵坐标谱的强度分析确定其含量,下图同此。

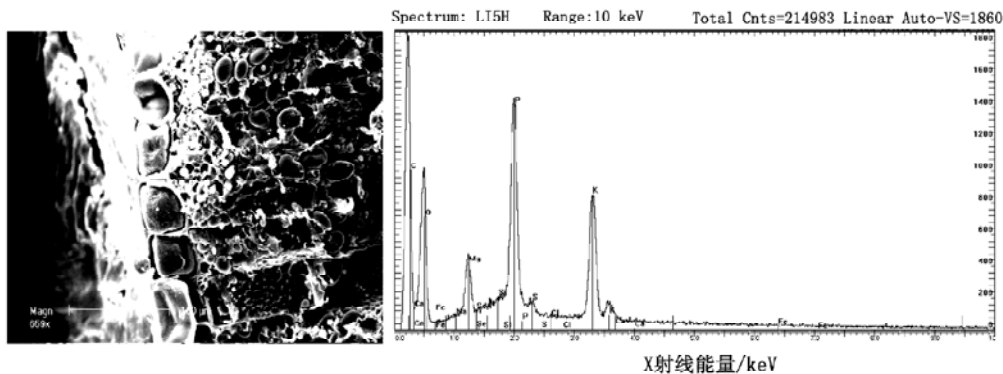


图2 籽粒的糊粉层SEM图及其中元素的X射线能谱分析(小麦品种‘中优9507’)

Fig.2 SEM-EDS studies on aleurone layer of grain and its elements (wheat variety ‘Zhongyou 9507’)

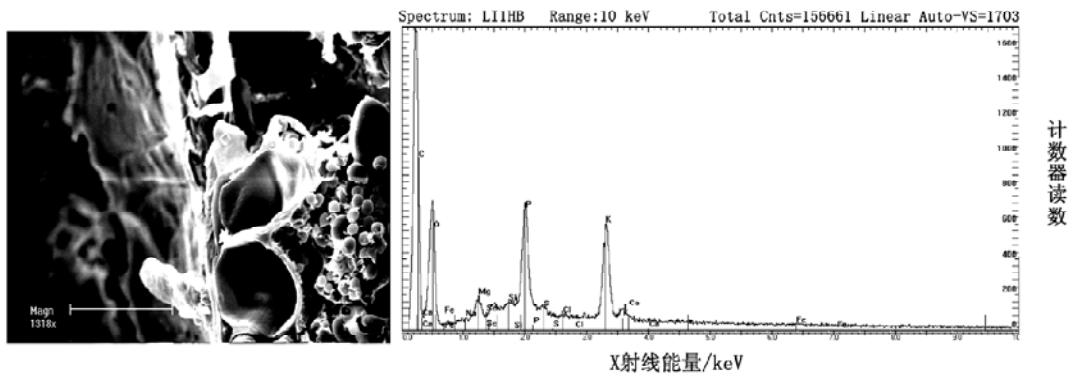


图3 籽粒的糊粉层内壁SEM图及其中元素的X射线能谱分析(小麦品种‘中优9507’)
 Fig.3 SEM-EDS studies on wall of aleurone layer of grain and its elements (wheat variety ‘Zhongyou 9507’)

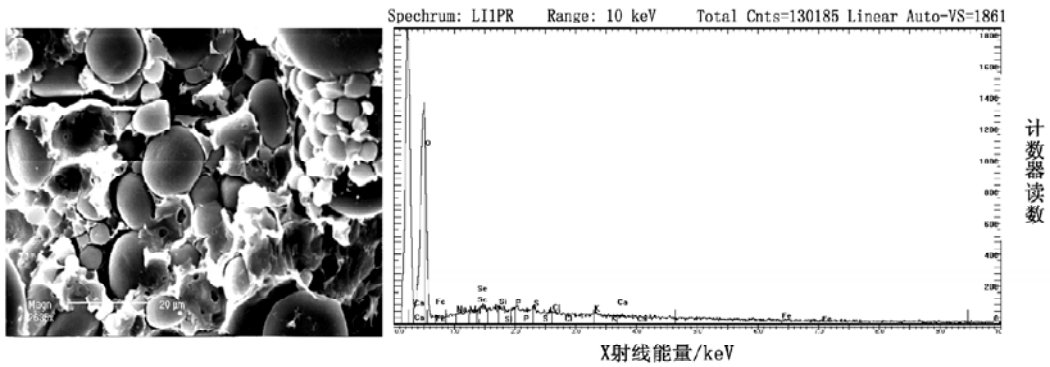


图4 籽粒的胚乳层SEM图及其中元素的X射线能谱分析(小麦品种‘中优9507’)
 Fig.4 SEM-EDS studies on endosperm layer of grain and its elements (wheat variety ‘Zhongyou 9507’)

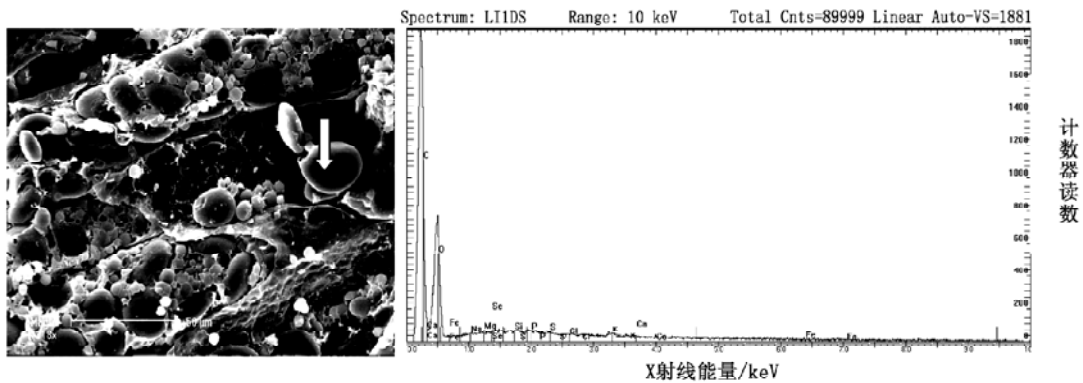


图5 籽粒的I型淀粉粒SEM图及其中元素的X射线能谱分析(小麦品种‘中优9507’)
 Fig.5 SEM-EDS studies on type I starch granule of grain and its elements (wheat variety ‘Zhongyou 9507’)

粉层P、Mg和K的相对含量最高,且Ca、Se和Fe含量均高于其他部位;其次是皮层,富含K和P,说明皮层及糊粉层的矿质元素丰富,矿质价值高。
2 不同品种小麦籽粒中矿质元素的组成和含量
由表1可知,‘中优9507’籽粒皮层和糊

粉层中P含量最高,这与该品种对磷高效吸收一致(赵广才等2004)。不同品种的矿质元素含量差异主要在皮层和糊粉层,胚乳层各元素的相对含量差异不大。在4个品种中,皮层中P、K含量及糊粉层中P、K、Mg含量均以‘中优9507’

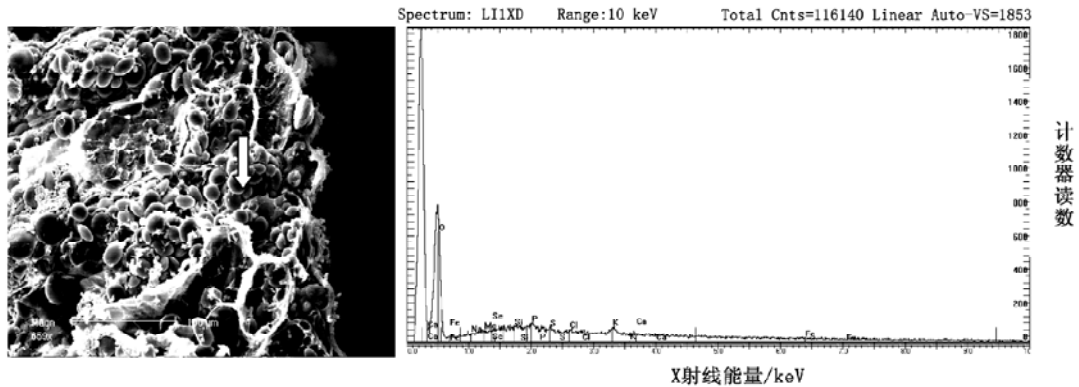


图6 籽粒的II型淀粉粒SEM图及其中元素的X射线能谱分析(小麦品种‘中优9507’)

Fig.6 SEM-EDS studies on type II starch granule of grain and its elements (wheat variety ‘Zhongyou 9507’)

表1 小麦籽粒不同部位的几种元素相对含量

Table 1 The relative element contents in different positions of wheat grain

部位	品种	原子重量百分比/%											
		C	O	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Se
皮层	‘中优9507’	79.62	17.26	0.16	0.22	0.26	0.43	0.15	0.09	1.34	0.16	0.00	0.30
	‘扬麦13’	80.75	16.62	0.28	0.19	0.23	0.27	0.17	0.15	0.74	0.26	0.00	0.36
	‘扬麦11’	81.59	15.34	0.22	0.17	0.18	0.22	0.16	0.26	1.32	0.18	0.00	0.36
	‘扬0369’	79.89	17.84	0.18	0.21	0.22	0.33	0.13	0.15	0.63	0.12	0.00	0.31
	平均值	80.46	16.77	0.21	0.20	0.22	0.31	0.15	0.16	1.01	0.18	0.00	0.33
糊粉层	‘中优9507’	67.14	23.79	0.18	1.42	0.42	3.82	0.27	0.14	2.26	0.17	0.05	0.34
	‘扬麦13’	65.49	25.41	0.34	1.29	0.58	3.42	0.34	0.15	2.20	0.18	0.17	0.43
	‘扬麦11’	71.68	20.49	0.19	1.23	0.33	2.95	0.33	0.12	2.18	0.18	0.11	0.31
	‘扬0369’	72.25	21.18	0.21	1.03	0.33	2.27	0.30	0.13	1.82	0.11	0.03	0.35
	平均值	69.15	22.72	0.23	1.24	0.42	3.12	0.31	0.14	2.10	0.17	0.09	0.36
胚乳层	‘中优9507’	68.50	30.05	0.21	0.14	0.16	0.18	0.15	0.11	0.13	0.05	0.00	0.31
	‘扬麦13’	69.72	28.92	0.25	0.16	0.15	0.15	0.13	0.08	0.11	0.04	0.00	0.29
	‘扬麦11’	70.86	27.71	0.16	0.10	0.16	0.17	0.18	0.15	0.21	0.06	0.00	0.24
	‘扬0369’	68.55	30.03	0.26	0.16	0.16	0.16	0.13	0.07	0.10	0.05	0.00	0.32
	平均值	69.41	29.18	0.22	0.14	0.16	0.17	0.15	0.10	0.14	0.05	0.00	0.29

中最高, ‘扬麦13’次之, ‘扬0369’最低。4个品种籽粒的糊粉层中均含有微量的Fe, 皮层和胚乳层中几乎测不到Fe; Se含量表现为糊粉层最高, 皮层次之, 胚乳层最低。这些结果进一步说明糊粉层有较高的矿质价值。

讨 论

小麦籽粒不同部位的矿质元素分布不均衡, 糊粉层富含P、K、Mg, 还含有S、Cl、Si、Ca、Se和Fe, 其次为皮层富含K、P和Se, 胚

乳层的矿质元素含量最低, 这与Joyce等(2005)的研究结果一致。由于麦粒皮层和糊粉层矿质营养丰富, 因此在磨粉时尽可能减少其损失, 以保持面粉中天然矿质营养元素有较高的含量。

本文采用X-射线能谱仪测定籽粒各部位矿质元素(H和He元素除外)组成情况及其相对含量, 比常规化学分析方法快速而准确, 不破损所测定样品, 毋需化学试剂和提取等操作步骤, 可节约时间和成本。目前此法较多应用于化学材料学中的元素分析, 但也已逐步引用到生物学领域(凌裕

平等 2004, 2005)。由于现阶段没有仪器或化学方法能将籽粒皮层和糊粉层准确地分开, 也没有较好的方法提取到单个淀粉粒, 因为此法可解决化学分析中无法操作的问题, 尤其适用于育种中筛选富含必需矿质元素的小麦品种或测定含重金属土壤上种植的小麦籽粒中各部位的元素组成及分布情况, 以及其他相关的研究, 并且在水稻中已有所报道(陈义芳等 2006)。不足之处是此法只能分析各元素的相对含量, 需有标准样品才能测定绝对含量, 而且对某些痕量元素测定的精确度不如液相色谱和气相色谱高, 因此, 在生产和试验中应根据具体情况选用适宜的测定方法。

参考文献

- 陈秀宇(2006). 几种人体必需微量元素与人体健康. 福建师范大学福清分校学报, 73 (2): 94~96
- 陈义芳, 周卫东, 刘爱平, 陈刚, 孙国荣(2006). 水稻籽粒不同部位重金属含量的测定. 电子显微学报, 25 (增刊): 253~254
- 凌裕平, 吴桂法, 何爱华(2005). 梨花粉矿质营养成分的能谱分析. 果树学报, 22 (2): 163~165
- 凌裕平, 周卫东, 陈鹏, 陈琦森, 熊作明(2004). 银杏吸收根营养元素吸收及分配规律的能谱分析. 园艺学报, 31 (3): 363~366
- 盛婧, 郭文善, 朱新开, 封超年, 彭永欣(2004). 不同专用类型小麦籽粒淀粉粒形成过程. 作物学报, 30 (9): 953~954
- 谭绿贵, 傅先兰, 张鑫, 袁峰(2005). 微量元素·人体健康·环境变化. 微量元素与健康研究, 22 (4): 49~51
- 赵广才, 何中虎, 刘利华, 杨玉双, 张艳, 李振华, 张文彪(2004). 肥水调控对强筋小麦中优 9507 品质与产量协同提高的研究. 中国农业科学, 37 (3): 351~356
- Gu Y (2003). Automated scanning electron microscope based mineral liberation analysis. An introduction to JKMR/FEI mineral liberation analyser. J Miner Mater Character Eng, 2 (1): 33~41
- Joyce C, Deneau A, Peterson K, Ockenden I, Raboy V, Lott JNA (2005). The concentrations and distributions of phytic acid phosphorus and other mineral nutrients in wild-type and low phytic acid JS-12-LPA wheat (*Triticum aestivum*) grain parts. Can J Bot, 83 (12): 1599~1607
- White PJ, Broadley MR (2005). Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends Plant Sci, 10 (12): 586~593