

ICP-AES 测定中国小麦微核心种质库籽粒矿质养分含量

石荣丽¹, 邹春琴^{1*}, 芮玉奎¹, 张学勇², 夏晓平¹, 张福锁¹

1. 中国农业大学植物营养系, 北京 100094

2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081

摘要 矿质营养, 尤其是微量元素 Fe 和 Zn 对于人体健康的影响已经受到广泛的关注。了解我国小麦籽粒矿质养分状况对于通过育种途径改善作物品质以及人体健康有重大意义。该研究采用微波消解, ICP-AES 分析方法对 262 份我国小麦微核心种质库的籽粒微量元素(Fe, Mn, Zn, Cu)和其他矿质养分(Mg, Ca, K, P)含量进行了分析测定, 结果表明我国小麦籽粒中八种矿质营养元素浓度都存在显著的基因型差异; 小麦籽粒中 Fe, Mn, Zn, Cu 四种微量元素浓度间均存在明显的正相关关系, Fe 和 Mn 相关系数为 0.395^{**}, Fe 和 Zn 为 0.424^{**}, Fe 和 Cu 为 0.574^{**}, Mn 和 Cu 为 0.474^{**}。春性和冬性小麦间籽粒八种矿质养分含量基本没有差异。这些研究结果为进行籽粒富含矿质营养小麦品种的选育提供了重要依据。

关键词 人体健康; ICP-AES; 矿质营养; 小麦籽粒; 小麦微核心种质

中图分类号: S502.024 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)04-1104-04

引言

随着生活水平的提高, 人们对于食物的品质, 尤其是食品中微量元素状况的关注程度越来越高^[1]。许多医学专家认为当今人类疾病 90% 以上与微量元素有关, 许多疑难杂症和大面积的地方病都与人体微量元素失衡密切相关^[2]。我国人群微量元素现状不容乐观, 以 Fe 为例, 全国居民因缺 Fe 引起的平均贫血患病率为 20.1%^[3]。一个重要原因就是居民以稻米和小麦为主食, 而这些作物籽粒中微量元素含量较低, 且有效性和吸收率不高^[4, 5]。所以了解主要粮食作物籽粒微量元素, 寻找改善人体微量元素营养的途径有重要意义^[6]。

通过育种提高作物籽粒中微量元素含量已为众多研究者所认可^[5, 7, 8]。小麦在我国有广泛的分布和栽培面积, 在农业生产中占很大比重, 2006 年小麦产量占总粮食产量的 21%^[9]。虽然已有一些关于小麦籽粒微量元素状况的报道^[10, 11], 但是对于我国小麦籽粒总体养分状况的报道还十分缺乏, 限制了育种材料的选择和对现有面食的选择, 亟需补充。核心种质(Core collection)指采用一定的方法选取整个种质的一部分, 以最小的资源数量和遗传重复最大程度地代表整个种质资源的多样性^[12, 13]。核心种质库的建立使得研究者更容易找到符合需要的资源材料进行育种工作, 也使未

知的优异基因更可能被发掘出来。在国家 973 项目的支持下, 我国在国际上率先建立了水稻、小麦和大豆的核心种质和微核心种质。其中, 小麦微核心种质(Mini-core collection)仅占基础种质(23090 份)的 1%, 代表基础种质的 72.2% 的遗传变异。本文通过对 262 份我国小麦微核心种质的籽粒养分分析, 为全面了解我国小麦籽粒养分状况及各养分间的关系, 为籽粒富含微量元素(尤其是 Fe, Zn)小麦种质资源的选择和育种提供重要信息, 也为在现有基础上选择合适的栽培品种提供了依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

262 份小麦微核心种质, 由中国农业科学院作物科学研究所提供。在中国农业大学植物营养系温室同一地块繁种收获。小麦籽粒经人工脱粒, 用高纯水清洗, 装入干净牛皮纸袋中 70 °C 下烘干 72 h。

1.2 试验方法与仪器

微波消解(MarsXpress, 美国 CEM 公司): 采用微波消解法消煮, 每一罐中称取样品 0.50 × xg, 加入 8 mL 优级纯 HNO₃。将封弹片安装正确后, 拧紧螺帽。每个内衬罐都安装好外壳保护套后, 放入微波消解炉中消煮。消煮完全后用

收稿日期: 2007-10-22, 修订日期: 2008-01-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671239), 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0511)和科技部支撑项目(2006BAD25B01)资助

作者简介: 石荣丽, 女, 1980 年生, 中国农业大学植物营养系博士研究生 e-mail: shi80@126.com

通讯联系人 e-mail: zcq0206@cau.edu.cn

高纯水定容到 25 mL 容量瓶中, 摇匀, 装入一次性塑料管中待测。

养分测定: 使用电感耦合等离子发射光谱仪 ICP-AES (OPTIMA 3300 DV 美国 Perkin Elmer 公司) 测定各养分 (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Ca, K, P) 浓度。结果采用 SAS 统计软件包进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 小麦微核心种质籽粒八种矿质元素状况

262 个微核心种质库中小麦籽粒矿质养分浓度 (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Ca, K, P) 如表 1 所示。结果表明, 不同小麦基因型间籽粒各养分浓度存在很大差异。籽粒 Fe 浓度范围是 34.2 ~ 61.2 mg · kg⁻¹; Zn 浓度范围为 26.3 ~ 76.0 mg · kg⁻¹; Mn 浓度范围为 20.9 ~ 56.7 mg · kg⁻¹; Cu 浓度范围为 3.4 ~ 9.8 mg · kg⁻¹; K 浓度范围为 0.34 % ~ 0.85 %; P 浓度范围为 0.296 % ~ 0.580 %; Ca 浓度范围为 290 ~ 976 mg

· kg⁻¹; Mg 浓度范围为 1 129 ~ 2 210 mg · kg⁻¹。这八种元素 Fe, Mn, Zn, Cu, K, P, Ca, Mg 最大值比最小值可高 2~3 倍。同时发现我国小麦微核心种质库中籽粒 Fe, Mn, Zn, Cu, K, P, Ca, Mg 浓度分别集中在 40 ~ 50 mg · kg⁻¹, 30 ~ 50 mg · kg⁻¹, 40 ~ 60 mg · kg⁻¹, 5 ~ 8 mg · kg⁻¹, 0.4 % ~ 0.7 %, 0.4 % ~ 0.5 %, 400 ~ 600 mg · kg⁻¹ 和 1 700 ~ 1 900 mg · kg⁻¹ 之间。

2.2 小麦籽粒各矿质元素间的相关性

小麦籽粒中各种微量元素 Fe, Mn, Zn, Cu 间均存在显著正相关, Fe 和 Mn 相关系数为 0.395 **, Fe 和 Zn 为 0.424 **, Fe 和 Cu 为 0.574 **, Mn 和 Cu 为 0.474 **。中量元素 Ca 与 Mg 浓度之间是弱相关, 两元素都与 Fe, Mn, Zn, Cu 显著正相关, 但 Ca 与微量元素之间的相关系数比较低。大量元素 P 和 K 之间为显著正相关, 同时与中量元素 Ca 和 Mg, 微量元素 Fe 和 Zn 也存在显著正相关。但 K 与 Mn 呈显著负相关 (表 2)。

Table 1 Fe, Mn, Zn, Cu, K, P, Ca and Mg concentration in wheat grain of mini-core collection in China

	养分浓度							
	Fe /(mg · kg ⁻¹)	Mn /(mg · kg ⁻¹)	Zn /(mg · kg ⁻¹)	Cu /(mg · kg ⁻¹)	K/ %	P/ %	Ca /(mg · kg ⁻¹)	Mg /(mg · kg ⁻¹)
平均值	45.1	37.9	50.2	6.5	0.55	0.451	515	1 772
范围	34.2 ~ 61.2	20.9 ~ 56.7	26.3 ~ 76.0	3.4 ~ 9.8	0.34 ~ 0.85	0.296 ~ 0.580	290 ~ 976	1 129 ~ 2 210

Table 2 Correlation among eight nutrients concentration in wheat grain of mini-core collection in China (n = 262)

养分	Fe	Mn	Zn	Cu	K	P	Ca	Mg
Fe	-	0.395 **	0.424 **	0.574 **	0.153 *	0.359 **	0.161 **	0.489 **
Mn		-	0.136 *	0.474 **	- 0.184 **	0.121	0.165 **	0.442 **
Zn			-	0.245 **	0.261 **	0.515 **	0.234 **	0.407 **
Cu				-	0.118	0.243 **	0.163 **	0.636 **
K					-	0.754 **	0.402 **	0.372 **
P						-	0.406 **	0.635 **
Ca							-	0.258 **
Mg								-

Note: * * significance (P = 0.01); * significance (P = 0.05)

2.3 春性冬性小麦籽粒矿质养分状况比较

根据小麦在春化阶段发育中对温度要求的差异, 可分为春性、冬性、弱冬性和强冬性四种类型。本试验结果表明, 春性和冬性小麦籽粒微量元素 Fe, Mn, Zn 浓度和中量元素 Ca 和 Mg 浓度没有差异, 而 Cu, K, P 浓度在不同冬春性小

麦籽粒中有一定的差异 (表 3)。弱冬性小麦籽粒 Cu 浓度显著低于冬性和强冬性小麦, 而与春性小麦间没有差异。强冬性小麦籽粒 P 浓度显著低于其他类型小麦。籽粒 K 浓度在春性、冬性和强冬性小麦间均存在显著差异, 弱冬性小麦籽粒 K 浓度只与强冬性小麦间有显著差异。

Table 3 Comparison of nutrients concentrations in grain of spring and winter wheat genotypes

春冬性	养分浓度							
	Fe /(mg · kg ⁻¹)	Mn /(mg · kg ⁻¹)	Zn /(mg · kg ⁻¹)	Cu /(mg · kg ⁻¹)	K/ %	P/ %	Ca /(mg · kg ⁻¹)	Mg /(mg · kg ⁻¹)
春性	44.9 a	37.8 a	50.2 a	6.4 ab	0.58 a	0.460 a	533 a	1 781 a
冬性	46.6 a	39.2 a	50.7 a	6.8 a	0.51 b	0.440 a	511 a	1 792 a
强冬性	45.4 a	38.7 a	48.9 a	7.1 a	0.45 c	0.410 b	532 a	1 736 a
弱冬性	43.1 a	38.2 a	50.8 a	6.0 b	0.54 ab	0.447 a	510 a	1 747

Note: The same letter in one column means no significant difference (P = 0.05)

3 讨 论

食物中微量元素含量和生物有效性低是造成某些人群微量元素缺乏的主要原因之一,因此,人们在关心人体健康的同时,越来越关心摄取食物中微量元素的含量,如人们经常食用的南瓜和百合中微量元素含量丰富,具有很高的营养价值^[14, 15]。而对于人们每天食用的小麦及其制品的微量元素状况还不十分清楚。本文利用 ICP-AES 对我国 262 份小麦微核心种质籽粒矿质养分含量进行测定分析结果发现,不同小麦品种间籽粒各养分浓度存在很大差异,而且某些小麦籽粒 Fe 和 Zn 的含量非常高,这为栽培品种的选择和产品的选择提供了重要信息(表 1),其中最大值和最小值间差异最大的是 Zn 和 Ca,分别达到了 2.9 倍和 3.4 倍,这为籽粒富含矿质养分小麦品种的筛选和培育提供了重要保证。与 Peterson 等^[16]测定的小麦 Fe 和 Zn 浓度范围相比,我国小麦 Fe 浓度最低值比较偏高,最高值比较偏低;而 Zn 浓度总体水平偏高,其原因还需要进一步分析。

小麦籽粒中多种矿质养分浓度存在相关关系(表 2)。这

些结果与张勇等对我国北方冬麦区小麦籽粒测定结果类似^[11]。说明微量元素和其他元素间向籽粒累积过程中相互之间有一定影响。如籽粒中 Fe 和 Zn 多以植酸结合的形态存在^[17],而 P 是组成植酸的主要元素^[18],所以会出现 P 和 Fe, Zn 之间的相关,这一结果启示我们,在进行品种选育时,既可同时获得籽粒 Fe 和 Zn 等微量元素含量高的小麦品种,也要考虑大量 P 累积对于 Fe 和 Zn 微量元素有效性的影响。

春性小麦与冬性小麦在硬度、湿面筋含量和最大抗延阻力等品质上存在差异,在加工利用上也各有所长^[19]。但是不同春冬性小麦八种营养元素(Fe, Mn, Zn, Cu, K, P, Ca, Mg)中只有 Cu, K 和 P 略有差异(表 3)。因此,我们认为春性小麦和冬性小麦在矿质营养品质方面没有明显的区别。

综上所述,我国小麦微核心种质库籽粒 Fe, Mn, Cu, Zn, K, Ca, Mg, P 八种矿质营养元素浓度都存在显著的基因型差异,Fe, Mn, Zn, Cu 浓度间均存在明显的正相关关系,春性和冬性小麦籽粒间八种矿质养分含量基本没有差异,这些研究结果说明,我国小麦存在丰富的(矿质养分)遗传资源,为进行籽粒高 Fe 和 Zn 小麦品种的选育奠定了坚实的基础,其深入的工作还需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] LIU Li-re, DING Li, QI Min, et al(刘利娥,丁利,戚敏,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(7): 1436.
- [2] TAN L ügui, FU Xian-lan, ZHANG Xin, et al(谭绿贵,傅先兰,张鑫,等). Studies of Trace Elements and Health(微量元素与健康研究), 2005, 22(4): 49.
- [3] PIAO Jian-hua, LAI Jian-qiang, YIN Shi-an, et al(朴建华,赖建强,荫士安,等). Acta Nutrimenta Sinica(营养学报), 2005, 27(4): 268.
- [4] Welch R M, Graham R D. Field Crops Research, 1999, 60: 1.
- [5] Welch R M, Graham R D. Journal of Experiment Botany, 2004, 55: 353.
- [6] Welch R M, Graham R D. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2005, 18(4): 299.
- [7] Frossard E, Bucher M, Machler F, et al. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80: 861.
- [8] Bouis H E. Journal of Nutrition, 2002, 132: 491S.
- [9] National Bureau of Statistics of China(中华人民共和国国家统计局编). China Statistical Yearbook(中国统计年鉴). Beijing: China Statistical Press(北京:中国统计出版社), 2007.
- [10] WANG Xiu-min, CHEN Yan-chen, XIE Ling-qin, et al(王秀敏,陈彦昌,谢令琴,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(11): 1467.
- [11] ZHANG Yong, WANG De-sen, ZHANG Yan, et al(张勇,王德森,张艳,等). Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2007, 40(9): 1871.
- [12] SUN Xue-yong, MA Chuan-xi, SI Hong-qi, et al(孙学永,马传喜,司红起,等). Molecular Plant Breeding(分子植物育种), 2006, 4(4): 477.
- [13] LI Chang-tao, SONG Li-li, KONG Wei-li, et al(李长涛,宋丽丽,孔伟丽,等). Chinese Bulletin of Botany(植物学通报), 2005, 22(Sup.): 139.
- [14] FAN Wen-xiu, LI Xin-zheng, JIN Rui-jun(范文秀,李新峥,荆瑞俊). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(3): 567.
- [15] WANG Yuan-zhong, LI Shu-bin, GUO Hua-chun, et al(王元忠,李淑斌,郭华春,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(9): 1854.
- [16] Peterson C J, Johnson V A, Mattern P J. Cereal Chemistry, 1986, 63(3): 183.
- [17] Raboy V. Journal of Nutrition, 2002, 132: 503S.
- [18] Stangoulis J C R, Huynh B L, Welch R M, et al. Euphytica, 2007, 154(3): 289.
- [19] LAN Jing, WANG Le-kai, ZHAO Nai-xin, et al(兰静,王乐凯,赵乃新,等). Journal of Triticeae Crops(麦类作物学报), 2005, 25(1): 102.

Application of ICP-AES to Detecting Nutrients in Grain of Wheat Core Collection of China

SHI Rong-li¹, ZOU Chun-qin^{1*}, RUI Yu-kui¹, ZHANG Xue-yong², XIA Xiao-ping¹, ZHANG Fu-suo¹

1. Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract Deficiency of micronutrients, especially iron and zinc, has been a serious malnutrition problem worldwide in human health. Increasing Fe and Zn concentrations in grains by means of plant breeding is a sustainable, effective and important way to improve human mineral nutrition and health. However, little information on grain Fe and Zn concentrations in Chinese wheat genotypes is available. Therefore, to determine the nutrients status especially these of micronutrients in wheat grain is necessary and very useful. Two hundred sixty two genotypes were selected from the wheat mini-core collections, which contained 23090 wheat genotypes in China and represented 72.2 % of total genetic variation. All 262 genotypes were grown in soils of similar geographical and climate location in order to minimize the environmental effect. After harvesting, the grains were washed with deionized water and dried (around 70 °C), then digested in HNO₃ solution using a microwave accelerating reaction system (MARS). Nutrient concentrations in stock solution were analyzed by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Remarkable genetic variations among grain nutrient concentrations (Fe, Mn, Cu, Zn, Mg, Ca, K and P) in the tested genotypes were detected. The concentrations of Fe, Zn, Mn, Cu, Ca, Mg, K and P in wheat grain were in the ranges of 34.2-61.2, 26.3-76.0, 20.9-56.7, 3.4-9.8, 290-976, 1129-2210 mg·kg⁻¹; 0.34%-0.85% and 0.296%-0.580%, respectively. The corresponding average values were 45.1, 50.2, 37.9, 6.5, 515, 1772 mg·kg⁻¹, 0.55% and 0.451%, respectively. Significant positive correlations between micronutrients (Fe, Mn, Zn, and Cu) in wheat grains were detected, and the correlation coefficients were 0.395** (Fe and Mn), 0.424** (Fe and Zn), 0.574** (Fe and Cu), and 0.474** (Mn and Cu), respectively. However, no significant difference was found in grain nutrient concentrations between spring-wheat and winter-wheat genotypes. This study provides valuable and important information for breeding wheat genotypes which are enriched with minerals in grains, especially Fe and Zn.

Keywords ICP-AES; Human health; Nutrients; Wheat grain; Wheat mini-core collection

(Received Oct. 22, 2007; accepted Jan. 30, 2008)

* Corresponding author