

北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析

张 勇¹, 王德森¹, 张 艳¹, 何中虎^{1,2}

(¹ 中国农业科学院作物科学研究所/国家小麦改良中心/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081;

²CIMMYT 中国办事处, 100081 北京)

摘要: 【目的】小麦品种籽粒铁和锌等微量营养元素含量研究对人体健康具有重要意义。【方法】来自北京、河北、河南、山东、山西和陕西等 6 省区 240 个小麦品种和高代品系于 1997~1998 年度种植在中国农业科学院作物科学研究所农场试验田, 收获后分析籽粒中包括铁、锌、锰、铜等微量元素和钙、镁、钾、磷、硫等常量元素在内的主要矿物质元素含量。【结果】品种间各微量和常量矿物质元素含量均存在明显差异。微量元素中, 铁平均含量最高, 为 41.9 mg·kg⁻¹; 铜含量最低, 为 5.54 mg·kg⁻¹。常量元素中, 钾平均含量最高, 达 4 747 mg·kg⁻¹; 钙含量最低, 为 465 mg·kg⁻¹。除镁和硫元素外, 其它各元素含量变幅均较大。不同地区来源品种籽粒中的矿物质元素含量差别较大, 北京和山东品种铁、锌、铜等微量元素含量较高, 河北和山东品种钙、镁、磷等常量元素含量较高, 河南品种大部分微量和常量元素含量都较低。籽粒中铁和锌 ($r = 0.630$)、镁与磷 ($r = 0.571$)、镁与硫 ($r = 0.521$)、锌与磷 ($r = 0.502$)、磷与硫 ($r = 0.537$) 等元素含量间相关系数均较高, 达 0.001 显著水平, 表明可以同时提高小麦籽粒中铁、锌和磷等矿物质元素的含量。【结论】铁和锌等元素含量高的品种 (系) 间存在明显的亲源关系, 说明在育种中通过选择或选用矿物质元素含量高的亲本可以提高矿物质元素的含量。并指出现阶段应进一步从中国现有小麦品种特别是各地主栽品种中筛选矿物质元素特别是铁和锌含量高的基因型, 以经济有效地直接或间接利用这些材料。

关键词: 普通小麦; 籽粒; 矿物质元素; 生物强化

Variation of Major Mineral Elements Concentration and Their Relationships in Grain of Chinese Wheat

ZHANG Yong¹, WANG De-sen¹, ZHANG Yan¹, HE Zhong-hu^{1,2}

(¹ Institute of Crop Science / National Wheat Improvement Center/The National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081;

²CIMMYT-China Office, c/o, CAAS, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】Investigation on concentration of mineral elements including micronutrients as Fe and Zn in wheat grains which are essential for human life is very important for human health. 【Method】240 cultivars and advanced lines, originated from Beijing, Hebei, Henan, Shandong, Shanxi, and Shaanxi Provinces, were collected and sown in the experiment station of Institute of Crop Science, in Chinese Academy of Agriculture Sciences in 1997-1998 wheat season, to evaluate the concentrations of major mineral elements in grain including micronutrients as Fe, Zn, Mn, Cu, and macronutrients as Ca, Mg, K, P, S. 【Result】Large variation for most of the mineral element concentrations except Mg and S, and big difference between cultivars for all the mineral element concentrations were observed. Among the micronutrients, Fe performed the highest average concentration, with value being of 41.9 mg·kg⁻¹, while the lowest for Cu, with value being of 5.54 mg·kg⁻¹. Among the macronutrients, K had the highest average

收稿日期: 2006-07-26; 接受日期: 2006-10-08

基金项目: 国际合作 Harvest-Plus 挑战项目资助

作者简介: 张 勇 (1971-), 男, 安徽合肥人, 副研究员, 博士, 研究方向为小麦育种和品质改良。Tel: 010-68918556; Fax: 010-68918547; E-mail: zhangyongzhy@263.net。通讯作者何中虎 (1963-), 男, 陕西蒲城人, 研究员, 博士, 研究方向为小麦育种。Tel: 010-68918547; Fax: 010-68918547; E-mail: zhhe@public3.bta.net.cn

concentration, with value being of $4\ 747\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, while the lowest for Ca, with value being of $465\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. There were large differences for the mineral element concentrations among cultivars with different origin. The cultivars from Beijing and Shandong performed high concentrations for most of the micronutrients, the cultivars from Hebei and Shandong had high concentrations for most of the macronutrients, while the cultivars from Henan Province had the lowest concentration for most of the mineral elements including micro- and macronutrients. Highly significant positive correlations between the concentrations of Fe and Zn ($r = 0.630$), Mg and P ($r = 0.571$), Mg and S ($r = 0.521$), Zn and P ($r = 0.502$), and P and S ($r = 0.537$) were also observed, indicating the possibility for improving these mineral element concentrations at the same time. 【Conclusion】 There was obvious pedigree relationship among the cultivars and advanced lines with high concentration of mineral elements as Fe and Zn, suggesting that parents with high mineral element concentrations and grain yield should be used first of all in crossing with the main objective being to improve mineral element concentrations in wheat breeding program. It was also indicated that in the current situation leading cultivars should be screened for mineral element concentrations in order to be used directly or indirectly in wheat breeding program economically and effectively.

Key words: *Triticum aestivum*; Grain; Mineral element; Bio-fortification

0 引言

【研究意义】矿物质特别是微量元素的缺乏所造成的营养不良等是一个全球性的问题, 严重阻碍社会经济的发展^[1]。Underwood 等认为, 全世界有超过 15 亿成年人和大约 2.5 亿儿童不同程度地缺乏铁、锌和碘等矿物质元素^[2]。由于缺铁所造成的贫血是全球最为普遍的营养性疾病^[3], 在中国的发病率为 20% 左右^[4]。矿物质元素缺乏一般可以通过食用富含矿物质元素的食物或在食物中添加矿物质元素进行食物强化来解决, 但生物强化即通过遗传改良来提高微量元素含量是最经济有效的方法。为此, 在挑战计划项目生物强化 (bio-fortification of harvest plus challenge program) 的资助下, 国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 开始致力于通过育种途径提高包括小麦和玉米在内的主要农作物中的矿物质元素含量。期望通过筛选材料, 发现现有可供利用的遗传变异; 对其进行遗传和生理学基础研究, 通过分析矿物质元素含量高的材料的生物有效性, 以经济有效地增加人们的营养, 平衡膳食。【前人研究进展】小麦常年种植面积约为 $2.33 \times 10^7\ \text{ha}$, 总产约 $9.6 \times 10^7\ \text{t}$, 是中国北方大部分地区尤其是贫困地区居民的主要粮食作物。因此提高小麦中矿物质元素的含量对于提高小麦营养价值, 从而解决中国居民尤其是贫困地区居民由于矿物质缺乏造成的健康问题具有重大意义。【本研究切入点】目前中国尚未开展小麦品种籽粒(以下简称品种)矿物质元素含量的分析工作, 对中国主要麦区小麦品种主要矿物质元素的含量亦未见报道。为此, 在 Harvest Plus 国际合作挑战项目支持下, 将来自北方冬麦区的 240 份小麦品种(系)于 1997~1998 年度种植

在中国农业科学院作物科学研究所试验田内。【拟解决的关键问题】对其铁和锌等主要矿物质元素含量进行初步分析和筛选, 为进一步改良中国小麦品种的铁锌等矿物质元素的含量, 改善中国人民的营养状况提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

来自北京、河北、河南、山东、山西和陕西等 6 省区 240 个小麦品种和高代品系于 1997~1998 年度种植在中国农业科学院作物科学研究所农场试验田, 试验设计采用单重复拉丁方格子设计 (Latinized alpha lattice design), 7 排, 40 列, 间隔加对照品种京 411^[5-7]进行田间误差估计。单行播种, 行长 2 m, 每行 80 粒。按当地常规进行田间管理。籽粒成熟后按品种单行混收, 用木制工具脱粒, 风干后随机取 10 g 籽粒, 用旋风磨 (CYCLOTEC 1093 Sample Mill, Switzerland) 粉碎, 过 60 目筛。全粉含水量用近红外分析仪 (NIR, DICKEY-john Instalab 600, Newport Scientific Sales and Services Ltd., Australia) 测定。

1.2 矿物质元素含量分析

称取 0.600~0.800 g 样品, 按 Johnson 和 Ulrich 方法用硝酸-高氯酸进行联合消煮^[8], 采用电感耦合等离子发射光谱 (inductively couples plasma optical emission spectrometry, ICPOES) 方法, 在澳大利亚阿德雷德大学分析铁、锌、锰、铜等微量元素和钙、镁、钾、磷、硫等常量元素的含量。每间隔 10 个样品进行一次平行分析, 以保证实验室数据分析结果的可靠性。同时换算成干重样品养分含量^[9]。

1.3 统计分析

采用合适的空间模型对试验数据进行分析, 将所得品种各性状最佳线性无偏预测值用于随后的数据处理和分析^[5-7]。采用 Statistical Analysis System (SAS Institute, 2000)^[10] 统计分析软件, 调用 PROC MEANS 和 PROC CORR 分别进行基本统计量和相关等分析。

2 结果与分析

2.1 矿物质元素基本统计量分析

将 240 份小麦品种 (系) 的矿物质元素含量基本统计量分析结果列于表 1, 并将铁、锌含量最高的 10 个品种 (系) 的名称及来源分别列于表 2 和表 3。

表 1 240 份小麦品种 (系) 主要矿物质元素含量的基本统计量

Table 1 Mean, coefficient of variation, and range for major mineral element concentration in wheat grain of 240 leading cultivars and advanced lines

性状 Trait	均值 Mean (mg·kg ⁻¹)	变幅 Range (mg·kg ⁻¹)	变异系数 CV (%)
铁 Fe	41.9	32.5~65.6	12
锌 Zn	29.3	19.9~43.9	15
锰 Mn	36.3	10.1~53.5	16
铜 Cu	5.54	3.67~10.04	14
钙 Ca	465	346~696	13
镁 Mg	1528	1286~1918	7.3
钾 K	4747	3435~6961	11
磷 P	3643	2803~4887	10
硫 S	1898	1536~2275	7.0

从表 1 可看出, 品种间各微量和常量矿物质元素含量均存在明显差异。微量元素中, 铁平均含量最高, 为 41.9 mg·kg⁻¹; 铜含量最低, 为 5.54 mg·kg⁻¹; 锌和锰含量居中, 分别为 29.3 和 36.3 mg·kg⁻¹。它们的变异系数均较大, 为 12%~16%; 其中与人体健康密切相关的铁和锌元素含量的最高值分别为 65.6 和 43.9 mg·kg⁻¹, 是各自最低值的 2.1 和 5.3 倍。常量元素中, 钾平均含量最高, 达 4 747 mg·kg⁻¹; 钙含量最低, 为 465 mg·kg⁻¹; 镁和磷、硫含量居中。其中钾和钙变异较大, 变异系数分别为 11% 和 13%, 最高值均为最低值的 2.0 倍; 镁和硫的变异最小, 变异系数分别为 7.3% 和 7.0%, 最高值均为最低值的 1.5 倍。由此可见, 中国北方冬麦区小麦品种主要矿物质元素含量变异范围广, 通过育种途径提高其含量的潜力大。

从表 2 可知, 铁含量最高的 10 个品种分别为中优 9507、烟 2980、中作 8131-1、中品 92050、京冬 6 号、中品 920809、1061-93 矮、中优 14、中优 16 和优选

14。其中优选 14 铁含量最高, 达 65.6 mg·kg⁻¹; 其次为中优 16, 达 59.1 mg·kg⁻¹。上述品种有 8 个来自北京, 其中中优 9507、中优 14、中优 16 和优选 14 均为中作 8131-1 的选系。只有烟 2980 和 1061-93 矮来自山东。

从表 3 可知, 锌含量最高的 10 个品种分别为中品 92050、优选 9、中优 14、优选 14、中优 16、中品 920809、临早 6105、京冬 6 号、中作 8131-1 和山农 435001。其中山农 435001 锌含量最高, 达 43.9 mg·kg⁻¹; 其次为中作 8131-1, 达 43.8 mg·kg⁻¹。上述品种同样有 8 个来自北京, 中作 8131-1 及其选系的籽粒锌含量也较高。只有临早 6105 和山农 435001 分别来自山西和山东。

表 2 籽粒中铁含量最高的 10 个品种 (系)

Table 2 The ten cultivars and advanced lines with the highest Fe concentration in the wheat grain

品种 Cultivar	来源 Origin	铁 Fe (mg·kg ⁻¹)
中优 9507 Zhongyou 9507	北京 Beijing	49.6
烟 2980 Yan 2980	山东 Shandong	49.9
中作 8131-1 Zhongzuo 8131-1	北京 Beijing	50.8
中品 92050 Zhongpin 92050	北京 Beijing	51.0
京冬 6 号 Jingdong 6	北京 Beijing	51.3
中品 920809 Zhongpin 920809	北京 Beijing	52.7
1061-93 矮 1061-93Ai	山东 Shandong	52.9
中优 14 Zhongyou 14	北京 Beijing	57.3
中优 16 Zhongyou 16	北京 Beijing	59.1
优选 14 Youxuan 14	北京 Beijing	65.6

表 3 籽粒中锌含量最高的 10 个品种 (系)

Table 3 The ten cultivars and advanced lines with the highest Zn concentration in the wheat grain

品种 Cultivar	来源 Origin	锌 Zn (mg·kg ⁻¹)
中品 92050 Zhongpin 92050	北京 Beijing	37.5
优选 9 Youxuan 9	北京 Beijing	38.4
中优 14 Zhongyou 14	北京 Beijing	39.3
优选 14 Youxuan 14	北京 Beijing	39.6
中优 16 Zhongyou 16	北京 Beijing	39.7
中品 920809 Zhongpin 920809	北京 Beijing	41.3
临早 6105 Linhan 6105	山西 Shanxi	41.8
京冬 6 号 Jingdong 6	北京 Beijing	43.0
中作 8131-1 Zhongzuo 8131-1	北京 Beijing	43.8
山农 435001 Shannong 435001	山东 Shandong	43.9

2.2 品种来源对各性状的影响

将不同地区来源品种主要矿物质元素含量的比较分析结果列于表 4。

从表 4 可看出, 不同地区来源品种的钾和磷元素含量差异不显著, 铁、锌、锰、铜等微量和钙、镁、

硫等常量矿物质元素含量则存在明显差异。微量元素中,北京和山东地区来源品种的铁平均含量最高,分别为 42.2 和 42.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;河北和河南品种的铁平均含量最低,分别为 39.6 和 39.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。北京品种的锌平均含量最高,为 30.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;河南品种的锌平均含量最低,为 25.7 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。河北和山东品种的锰平均含量最高,均为 38.6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;河南品种的锰平均含量最低,为 34.2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。北京、山东和陕西品种的铜平均含量最高,分别为 5.70、5.69 和 5.78 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;河南品种的铜平均含量最低,为 4.95 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。常量元素中,山东品种的钙平均含量最高,为 491 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,河南品种的钙平均含量最低,为 431 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。河北品种的镁平均含量最高,为 1 608 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;其它地区品种的镁平均含量都较低,为 1 510~1 532 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。河北和山西品种的硫平均含量最高,分别为 1 941 和 1 933

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;河南品种的硫平均含量则最低,为 1 827 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。从以上分析可看出,北京和山东品种铁、锌、铜等微量元素含量较高,河北和山东品种钙、镁、磷等常量元素含量较高,河南品种的大部分微量和常量元素含量都较低。

2.3 矿物质元素含量相关分析

将小麦籽粒各矿物质元素含量间相关性分析结果列于表 5。

从表 5 可看出,籽粒中铁和锌元素含量间相关系数最高,为 0.630;其次为镁与磷、镁与硫、锌与磷、磷与硫,其含量间相关系数分别为 0.571 和 0.521、0.502、0.537,均达 0.001 显著水平。由此可知,小麦各微量及常量矿物质元素含量间存在一定的相关性和依存关系。

表 4 不同地区来源品种各矿物质元素含量比较

Table 4 Comparison of major mineral element concentration in wheat grain of cultivars with different origin

性状 Trait	北京 Beijing (111*)	河北 Hebei (20)	河南 Henan (23)	山东 Shandong (53)	山西 Shanxi (23)	陕西 Shaanxi (10)
铁 Fe ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	42.2ab	39.6b	39.2b	42.8a	41.5ab	41.5ab
锌 Zn ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	30.7a	28.3abc	25.7c	29.5ab	28.9ab	27.2bc
锰 Mn ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	35.2ab	38.6a	34.2b	38.6a	35.4ab	35.1ab
铜 Cu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	5.70a	5.13bc	4.95c	5.69a	5.50ab	5.78a
钙 Ca ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	458ab	440b	431b	491a	467ab	460ab
镁 Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1528b	1608a	1513b	1532b	1511b	1510b
钾 K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	4722a	4692a	4854a	4739a	4871a	4678a
磷 P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	3653a	3756a	3539a	3655a	3653a	3601a
硫 S ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	1901ab	1941a	1827b	1889ab	1933a	1892ab

同行中相同字母差异不显著。* 表示该地区来源品种数

There is no significant difference between the same letters. * represents the number of cultivars originated from the location

表 5 小麦籽粒中矿物质元素含量间相关性分析

Table 5 Correlation coefficients of the major mineral elements concentration in wheat grain

性状 Trait	锌 Zn	锰 Mn	铜 Cu	钙 Ca	镁 Mg	钾 K	磷 P	硫 S
铁 Fe	0.630	0.409	0.300	0.405	0.351	0.062	0.271	0.483
锌 Zn		0.336	0.165	0.370	0.388	0.166	0.502	0.443
锰 Mn			0.053	0.147	0.363	-0.207	0.217	0.372
铜 Cu				0.276	0.010	0.118	0.334	0.350
钙 Ca					0.276	0.166	0.160	0.287
镁 Mg						0.082	0.571	0.521
钾 K							0.333	0.048
磷 P								0.537

$r_{247, 0.05} = 0.125$, $r_{247, 0.01} = 0.164$

3 讨论

缺铁性贫血是世界上最常见的一种营养缺乏病,

也是当前最为人们关注的公共卫生问题之一。各类人群都可能由于不同原因造成体内铁含量不足或缺乏,并导致缺铁性贫血。中国居民中缺铁性贫血普遍存在,

钙缺乏也很普遍和严重, 其中尤以妇女儿童发病率最高, 严重危害着中国人民的身体健康^[4,11]。最新研究表明, 青少年体内铁锌元素含量不足会在一定程度上影响其智力的发展(黄承钰, 个人通讯)。

本研究表明, 小麦品种间各矿物质元素含量存在明显差异。微量元素中, 铁平均含量最高, 铜含量最低; 常量元素中, 钾平均含量最高, 钙含量最低。除镁和硫元素外, 其它各矿物质元素含量变幅均较大。中作 8131-1、中品 92050、京冬 6 号、中品 920809、中优 14、中优 16 和优选 14 等品种(系)铁和锌含量均较高, 其中中优 14、优选 14 和中优 16 均为中作 8131-1 的选系, 其面包加工品质也较好。另外, 京冬 6 号、京冬 8 号、中麦 9 号等铁元素含量较高的品种都曾经或还是当地的主栽品种(资料未列出), 产量也较高, 其中京冬 6 号和京冬 8 号均由有芒红 7 号/洛夫林 10 号杂交后代与其它品种杂交组合选育而成^[12]。这都表明品种籽粒铁锌等元素含量高的品种间存在一定的亲缘关系。此外, 籽粒中各矿物质元素含量间存在一定的相关性, 铁和锌、镁与磷、镁与硫、锌与磷、磷与硫等元素含量间相关系数分别为 0.502~0.630, 均达 0.001 显著水平, 表明上述矿物质元素含量间可能存在着某种程度的依存关系, 这与 Graham 等的研究结果相一致^[1]。因此, 综合上述资料表明, 育种中通过选择或选用合适的亲本是可以同时提高小麦品种的产量与铁、锌和钙等元素的含量。鉴于此前尚未对中国的小麦品种进行矿物质元素含量分析, 应在本研究工作基础上, 进一步筛选中国现有品种特别是各地主栽品种的矿物质元素含量, 特别是与人体健康密切相关的铁和锌元素的含量, 对其含量高的主栽品种直接推广加以利用, 并可和其他高铁锌含量品系一起作为亲本, 以经济有效地直接或间接利用这些材料, 进一步提高中国小麦品种的矿物质特别是铁锌等元素的含量。

本试验将所有 240 个品种和品系种植在同一个地点, 测定其籽粒矿物质元素的含量, 从而消除了环境因素对其籽粒矿物质元素含量的影响, 品种间测定结果具有可比性。不同地区来源品种除钾和磷元素含量差异不显著, 铁、锌、锰、铜等微量和钙、镁、硫等常量矿物质元素含量均存在明显差异, 其中北京和山东品种铁、锌、铜等微量元素含量较高, 河北和山东品种钙、镁、磷等常量元素含量较高, 河南品种大部分微量和常量元素含量都较低。系谱分析可知, 北京地区来源品种中优 14、优选 14 和中优 16 均为中作

8131-1 的选系, 北京 837、京冬 6 号和京冬 8 号均由有芒红 7 号/洛夫林 10 号杂交后代与其他品种杂交组合选育而成, 并和北京 841、京 411 等都含有洛夫林 10 号的血缘; 河北和山东地区来源品种冀麦 24、冀麦 26、鲁麦 7、鲁麦 12 等也含有洛夫林 10 号的血缘; 河南品种则较多含意大利品种阿夫(Funo)和前苏联品种山前麦血缘, 较少含洛夫林 10 号的血缘^[12]。因此, 造成各地区来源品种矿物质元素含量差异的主要原因可能在于品种间的遗传背景不同, 与本试验中各地区品种所用亲本来源有一定关系。对于品种矿物质元素含量较低的地区(如河南), 可以通过引进矿物质元素含量较高地区(如北京和山东)的品种作为亲本来改良和提高当地品种的矿物质元素含量。

本研究只选用了一年一点的结果, 未进行环境对品种矿物质元素含量的影响分析。董慕新和张辉对种植在中国 8 省区的 90 个大豆品种矿物质元素含量进行的分析表明, 环境明显影响了大豆的矿物质元素含量^[13]。另有研究表明, 小麦的产量和品质等性状均受品种、环境及其互作的显著影响^[14-16], 因此有必要进行多点试验, 对中国小麦品种矿物质元素含量的环境间变异情况和稳定性进行分析, 筛选出含量高且表现稳定的基因型, 用作育种亲本材料。

4 结论

小麦籽粒中铁和锌等元素含量高的品种间存在明显的亲缘关系, 铁和锌等各矿物质元素含量间也存在显著相关关系, 在育种中可以通过选择或用合适的亲本来同时提高其铁和锌等元素的含量。

References

- [1] Graham, R D, Welch R M, Bouis H E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy*, 2001, 70: 77-142.
- [2] Underwood B A. From research to global reality: The micronutrient story. *Journal of Nutrition*, 1998, 128: 145-151.
- [3] WHO /UNI CEF/ UNU. *Iron Deficiency Anaemia: Assessment, Prevention, and Control*. Geneva, World Health Organization, 2001 (WHO/NHD/01.3).
- [4] 朴建华, 赖建强, 荫士安, 许洁, 徐青梅, 杨晓光. 中国居民贫血状况研究. *营养学报*, 2005, 27(4): 268-275.
Pu J H, Lai J Q, Yin S A, Xu J, Xu Q M, Yang X G. Study on the anaemia status of Chinese population. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2005,

- 27(4): 268-275. (in Chinese)
- [5] Barreto H J, Edmeades G O, Chapman S C, Crossa J. The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: generation and analysis. In: Edmeades, G. O, M Banziger, H R Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds.). *Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize*. Proceedings of a Symposium. El Batan, Tex. (Mexico). 25-29 Mar 1996. Mexico, D.F.: CIMMYT, 1997.
- [6] Gilmour, A R, Cullis B R, Verbyla A P. Accounting for natural and extraneous variation in the analysis of field experiments. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 1997, 2: 269-293.
- [7] 张 勇, 何中虎, 吴振录, 张爱民, M van Ginkel. CIMMYT 小麦在中国春麦区的适应性分析. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 655-663.
Zhang Y, He Z H, Wu Z L, Zhang A M, M van Ginkel. Adaptation of CIMMYT wheat germplasm in China's spring wheat regions. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 655-663. (in Chinese)
- [8] Johnson C M, Ulrich A. Analytical methods for use in plant analysis. *Bulletin 766. University of California, Agricultural Experiment Station, Berkeley*, 1959: 26-28.
- [9] Tracy M I, Moller G. Continuous flow vapor generation for inductively coupled argon plasma spectrometric analysis. Part 1: *Selenium Journal Association of Analytical Chemistry*, 1990, 73: 404-410.
- [10] SAS Institute. *SAS User's Guide: Statistics*. SAS Institute, Cary, NC. 1997.
- [11] 葛可佑, 常素英. 中国居民微量营养素的摄入. *营养学报*, 1999, 21(1): 1-7.
Ge K Y, Chang S Y. Dietary intake of micronutrients of Chinese inhabitants. *Acta Nutrimenta Sinica*, 1999, 21(1): 1-7. (in Chinese)
- [12] 庄巧生. 中国小麦品种改良及系谱分析. 北京: 中国农业出版社, 2003.
Zhuang Q S. *Chinese Wheat Breeding and Pedigree Analysis*. Beijing: *China Agriculture Press*, 2003.
- [13] 董慕新, 张 辉. 我国八省大豆主要矿质元素含量分布及相关性研究. *作物学报*, 1997, 23(5): 550-554.
Dong M X, Zhang H. Studies on the contents of major mineral elements of soybeans and their relationship in 8 provinces of China. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23(5): 550-554. (in Chinese)
- [14] Zhang Y, He Z H, Ye G Y, Zhang A M, van Ginkel M. Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. *Euphytica*, 2004, 139: 75-83.
- [15] Zhang Y, Zhang Y, He Z H, Ye G Y. Milling quality and protein properties of autumn-sown Chinese wheats evaluated through multilocation trials. *Euphytica*, 2005, 143: 209-222.
- [16] Zhang Y, He Z H, Zhang A M, M van Ginkel, Ye G Y. Pattern analysis on grain yield performance of Chinese and CIMMYT spring wheat cultivars sown in China and CIMMYT. *Euphytica*, 2006, 147: 409-420.

(责任编辑 于 竞)