

小麦和小黑麦籽粒的营养品质及其相关性分析

曹玉贤,田霄鸿,杨习文,陆欣春,南雄雄

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**研究小麦和小黑麦籽粒中的矿质元素、蛋白质和植酸含量及其相关性,为提高小麦籽粒中微量元素的有效利用率提供科学依据。**【方法】**选取不同小麦主产区的31种面包型小麦(*Triticum aestivum* L.)和6种小黑麦(*Triticosecale* Wittmack)品种,分析了籽粒中全磷、全钾、微量元素、蛋白质及抗营养因子植酸的含量及其相关性。**【结果】**不同小麦品种间籽粒矿质元素、蛋白质和植酸含量均存在差异,其中锌、铁、植酸含量的变异较大,全磷、全钾以及蛋白质含量相对较稳定。小黑麦籽粒中微量元素含量不高,而植酸含量相对小麦品种而言较高。不同地区间各小麦和小黑麦品种籽粒中主要矿质元素含量较低且变异较大,新疆、青海等西北地区品种籽粒中植酸含量较高。所有供试品种籽粒中植酸与锌的物质的量之比均高于20;植酸与多种矿质元素含量呈显著正(或负)相关,且锌、铁含量间呈显著正相关。**【结论】**供试小麦品种籽粒中微量元素含量较低且变异大,因此通过生物强化提高的潜力较大;目前栽种的小麦和小黑麦品种的植酸与锌的物质的量之比高于20,这影响了锌的生物有效性,亟需降低;不同地区间小麦和小黑麦籽粒中主要矿质元素及植酸含量存在显著差异,选育品种时应考虑地区因素;另外,籽粒中锌、铁含量呈显著正相关,表明二者含量可以同时被提高。

【关键词】 小麦;小黑麦;籽粒营养品质;矿质元素;植酸; $n(\text{植酸})/n(\text{Zn}^{2+})$

【中图分类号】 S512.024

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)01-0104-07

Variation of nutritional quality and their relationships in wheat and tritcale grain

CAO Yu-xian, TIAN Xiao-hong, YANG Xi-wen, LU Xin-chun, NAN Xiong-xiong

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Investigation on variations of mineral elements, protein and phytic acid (PA) concentration and their relationships in wheat and tritcale grain could provide a scientific basis for improving the effective utilization of microelements in wheat and tritcale grains. **【Method】** 31 bread wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) and 6 tritcale varieties (*Triticosecale* Wittmack) were collected from different major grain production regions of China, to evaluate the concentrations and relationships of some mineral elements, protein and PA. **【Result】** Variation for microelements, protein and PA in wheat grain existed among different cultivars, in which large variation were among Zn, Fe and PA concentrations, and the total P, total K and protein in wheat grain were steady relatively. Concentrations of the microelements in tritcale grain were low, but the concentrations of PA in tritcale grain were higher compared with those of wheat grain. Large variations and low concentrations of major mineral elements existed in different regions, and the PA concentrations in Xinjiang and Qinghai provinces were high. The amount of substance of PA to Zn ratios in wheat and tritcale grain of all tested cultivars were higher than 20. The correlations among PA

* **【收稿日期】** 2009-05-01

【基金项目】 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-06-0866);西北农林科技大学青年学术骨干支持计划项目(2007);西北农林科技大学科研专项(062R045)

【作者简介】 曹玉贤(1982—),女,山东济宁人,硕士,主要从事土壤和植物微量元素养分调控研究。

【通信作者】 田霄鸿(1967—),男,甘肃天水人,教授,博士,主要从事植物微量元素营养与人体健康研究。

E-mail: txhong@hotmail.com

and many mineral elements were positive or negative, and the correlation between Zn and Fe concentrations was positive. 【Conclusion】 There was a low concentration and a large variation for microelements of tested cultivars, and the potential of increasing the concentration of microelements through biofortification was large. The amount of substance of PA to Zn ratios of all tested varieties were higher than 20, resulting in the low bioavailability of Zn, which should decrease instantly. In view of the significant variation for major mineral elements and PA concentrations of wheat and triticale grain existed in different regions, breeders should consider region factor. The correlation between Zn and Fe concentration was significant, so we can increase Zn and Fe concentrations in wheat grain at the same time.

Key words: *Triticum aestivum* L.; *Triticosecale* Wittmack; grain quality; mineral element; phytic acid; $n(\text{PA})/n(\text{Zn}^{2+})$

人体需要多种矿质元素,包括需求量较大的氮、磷、钾等常量元素,以及需求量较少的锌、铁、铜、锰等微量元素,这些矿质元素对人体健康具有重要作用^[1]。然而,目前世界上矿质元素尤其是锌、铁等微量元素缺乏所造成的人体营养不良,已经成为威胁人类健康的严重问题之一^[2]。据 WHO 调查,全球近三分之一人口面临着锌缺乏引起的严重的健康危机;约 3.7 亿人正遭受着铁缺乏的困扰,其中有 2 亿人患有缺铁性贫血;据相关研究,在以小麦为主食的我国西北偏远地区,这种情况尤为严重^[3]。产生锌、铁等微量元素缺乏的主要原因,被认为是禾谷类作物(小麦、水稻等)籽粒中固有的微量元素含量不高^[2],并且含有较多能够降低微量元素生物有效性的化合物,如植酸、纤维素和多酚等,其中植酸是最主要的抗营养因子^[4-5]。但目前对禾谷类作物籽粒品质的研究主要集中在蛋白质、淀粉等大量营养成分方面^[6-8],而对微量元素营养品质的研究较少,对矿质元素与植酸之间关系的研究在国内更是鲜见报道。因此,本研究选取不同小麦主产区的 31 种面包型小麦和 6 种小黑麦为材料,比较小麦和小黑麦品种(系)间籽粒中锌铁等矿质元素、蛋白质及植酸含量的差异,了解籽粒中锌等微量元素含量与蛋白质、植酸之间的相关性,以期小麦籽粒中微量元素的有效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

收集来自陕西、北京、青海、河南、山东的 31 个小麦品种(系)以及来自新疆的 6 个小黑麦品种的籽粒,烘干,随机抽取 100 g 粉碎,分别装袋备用。

1.2 测定项目与方法

测量 31 个小麦品种(系)和 6 个小黑麦品种籽粒的主要矿质元素、蛋白质以及植酸含量,每个项目

重复测定 3 次。

蛋白质含量用半微量凯氏定氮法测定,全磷用钒钼黄比色法测定,全钾用火焰光度计测定。微量元素用干灰化-原子吸收分光光度计法测定;将样品灰化后,用 5 mL 体积分数为 50% 的硝酸溶液溶解灰分,然后用原子吸收分光光度计(AA320)测定铁、锌、锰、铜等微量元素的含量^[9]。

植酸含量测定参考 Haug 等^[10]的方法,在酸性条件下将植酸与 Fe^{3+} 在沸水浴中反应,通过测定经 0.2 mol/L HCl 浸提样品后浸提液中 Fe^{3+} 的减少量,来计算小麦籽粒中的植酸含量。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 和 Statistical Analysis System(SAS)软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种(系)小麦和小黑麦籽粒中矿质元素、蛋白质及植酸含量的分析

由表 1 可见,不同小麦品种(系)籽粒中矿质元素、蛋白质和植酸含量均存在差异。小麦籽粒中微量元素平均含量顺序为铁>锰>锌>铜,这与其他研究结果^[11-12]一致。其中,铁的变异系数最大,为 53%,其最高含量是最低含量的 5.4 倍;铜的平均值和变异系数均最低,分别为 17.6 mg/kg 和 16%;锌和锰的变异系数居中,分别为 25% 和 19%,其中冬小麦小偃 166 籽粒中的锌含量最低,为 11.7 mg/kg,含量最高的是高原 602,为 40.0 mg/kg。由此可见,不同品种(系)小麦籽粒中微量元素锌、铁含量的变异较大,其含量提高的潜力也较大。不同品种(系)小麦籽粒中常量元素全磷、全钾的平均含量分别为 3 395 和 8 696 mg/kg,变异系数较低,分别为 15% 和 11%。不同品种(系)小麦籽粒中的蛋白质含量变异幅度不大,为 92.7~142.1 g/kg,变异系

数仅 10%，与微量元素变异系数相比较低，这说明普通小麦籽粒中蛋白质含量较稳定，要大幅度提高小麦籽粒中蛋白质含量较困难。不同品种(系)小麦籽粒中植酸含量变化较大，变异系数达 17%，其中陕 715 籽粒中植酸含量最低，为 6.5 g/kg，高原 602

籽粒中植酸含量最高，为 13.8 g/kg；所选 31 个小麦品种(系)籽粒中的平均植酸含量为 10.0 g/kg，这与 Erdal 等^[13]的研究结果(7.3~12.8 mg/kg)大致相同，说明植酸含量在不同品种(系)间存在较大差异，可以选育出低植酸含量的小麦品种。

表 1 不同品种(系)小麦籽粒中矿质元素、蛋白质及植酸的含量

Table 1 Mineral elements, protein and phytic acid concentration in wheat grain of different cultivars

编号 No.	小麦品种 Wheat cultivar	矿质元素含量/(mg·kg ⁻¹) Mean value of elements						蛋白质/ (g·kg ⁻¹) Protein	植酸/ (g·kg ⁻¹) PA
		锌 Zn	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	全磷 TP	全钾 TK		
1	小偃 22 Xiaoyan 22	29.6	21.8	44.1	14.3	3 910	8 945	131.2	12.7S
2	小偃 6 号 Xiaoyan 6	21.5	29.1	34.0	16.4	3 492	9 500	119.8	10.5
3	小偃 166 Xiaoyan 166	11.7	23.5	43.3	19.6	3 232	9 013	114.8	10.4
4	小偃 216 Xiaoyan 216	13.2	37.0	38.2	22.3	3 230	9 976	119.1	8.6
5	西农 889 Xinong 889	35.3	30.2	45.8	20.5	3 482	7 649	133.8	10.3
6	西农 979 Xinong 979	30.8	30.2	30.5	20.5	2 874	8 506	142.1	7.9
7	西农 2000 Xinong 2000	28.7	25.8	33.1	14.3	3 032	7 861	124.0	9.0
8	西农 2611 Xinong 2611	27.8	30.2	40.7	17.3	3 538	8 559	125.2	10.8
9	西农 9718 Xinong 9718	23.5	31.3	38.2	18.4	3 059	7 014	127.2	9.4
10	陕麦 757 Shanmai 757	21.4	47.0	31.4	17.0	3 324	9 016	126.7	9.6
11	陕 538 Shan 538	29.7	41.4	48.4	17.6	3 156	8 509	133.4	9.3
12	陕 627 Shan 627	28.7	31.4	43.3	15.2	2 953	9 172	138.8	10.7
13	陕 715 Shan 715	31.3	42.0	33.9	20.8	2 727	8 818	133.4	6.5
14	陕优 225 Shanyou 225	23.0	28.0	33.1	20.6	3 038	6 321	114.2	7.6
15	陕 253 Shan 253	29.7	28.5	29.7	18.4	2 264	7 155	120.1	8.9
16	远丰 175 Yuanfeng 175	13.0	21.8	28.0	16.7	2 924	7 822	120.6	9.4
17	渭丰 151 Weifeng 151	30.5	33.6	39.9	23.7	3 867	8 658	118.2	10.7
18	武农 148 Wunong 148	25.4	52.6	40.7	17.4	3 349	7 651	132.1	9.5
19	西杂一号 Xiza 1	33.8	51.5	36.1	17.3	3 761	7 701	136.0	11.4
20	中麦 175 Zhongmai 175	23.6	33.6	40.7	18.7	3 672	8 984	104.0	9.2
21	多抗一号 Duokang 1	31.9	43.7	39.9	20.7	3 391	8 741	107.5	10.3
22	保丰 104 Baofeng 104	31.4	47.0	46.2	17.3	3 670	9 387	116.4	10.9
23	中育 6 号 Zhongyu 6	18.4	30.3	32.3	16.7	3 126	7 995	125.2	9.4
24	郑麦 9023 Zhengmai 9023	24.0	47.0	37.3	13.0	3 410	9 166	120.6	10.5
25	泛麦 5 号 Fanmai 5	25.6	33.6	20.4	11.7	3 332	9 761	111.5	9.6
26	新麦 13 Xinmai 13	28.3	41.4	24.6	20.7	2 724	8 319	106.4	7.2
27	济麦 21 Jimai 21	25.2	54.9	33.1	17.7	3 915	9 829	141.6	11.9
28	潍麦 8 号 Weimai 8	25.7	35.3	52.6	16.3	4 656	9 210	126.9	13.2
29	高原 437 Gaoyuan 437	32.1	117.6	33.5	15.3	3 973	10 247	106.7	12.8
30	高原 448 Gaoyuan 448	34.9	109.7	37.3	14.7	3 972	10 884	92.7	12.0
31	高原 602 Gaoyuan 602	40.0	70.5	36.5	14.0	4 177	9 199	104.9	13.8
均值 Average		26.8	42.0	37.0	17.6	3 395	8 696	121.8	10.0
变异系数/% CV		25	53	19	16	15	11	10	17

表 2 表明，小黑麦籽粒中矿质元素、蛋白质含量与在小麦籽粒中的含量存在一定差异，其中微量元素锌、铜含量较小麦中高，分别为 32.0 和 22.0 mg/kg，变异系数分别为 22%和 17%，铁、锰含量低于小麦品种，分别为 32.9 和 30.1 mg/kg，但总体而言微量元素含量不高，提高潜力较大；小黑麦籽粒中全磷和全钾的含量均高于小麦品种，且含量较稳定，全钾的变异系数仅为 1%；蛋白质含量也较稳定，变异系数仅为 11%，这对于小黑麦籽粒优良特性的保持起到了一定的作用。不同小黑麦品种籽粒中植酸含量存在差异，变异范围为 12.0~16.9 g/kg，均值为 13.7 g/kg，高于小麦品种，对人体或单胃动物吸收矿质元素具有一定的抑制作用，因此需要降低。

2.2 不同地区小麦和小黑麦籽粒中矿质元素、蛋白质及植酸含量的分析

由表 3 可知，不同地区小麦和小黑麦籽粒中锌含量总体较低，平均为 28.5 mg/kg，这与 Cakmak^[2]提出的小麦籽粒中锌含量 40~60 mg/kg 还有一定差距，因此提高我国小麦籽粒中的锌含量十分必要。不同地区小麦和小黑麦籽粒中铁含量的变幅为 32.9~99.3 mg/kg，变异系数最大，达 52%，说明不同地区之间小麦和小黑麦籽粒中铁含量相差很大，因此在获取富含铁的“微量营养强化型”小麦和小黑麦品种时，应充分考虑地区因素。全钾含量在不同地区小麦和小黑麦品种之间的变异不大，变异系数为 9%，最高含量出现在新疆，为 10 468 mg/kg。蛋

白质含量与全钾含量一样,在不同地区间变异不大,对于小麦、小黑麦籽粒品质的稳定有一定作用。变幅为 101.4~134.2 g/kg,变异系数仅为 8%,这

表 2 不同品种小黑麦籽粒中矿质元素、蛋白质及植酸的含量
Table 2 Mineral elements,protein and phytic acid concentration in triticale grain of different cultivars

编号 No.	小黑麦品种 Triticale cultivar	矿质元素含量/(mg·kg ⁻¹) Mean value of elements						蛋白质/ (g·kg ⁻¹) Protein	植酸/ (g·kg ⁻¹) PA
		锌 Zn	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	全磷 TP	全钾 TK		
32	新小黑麦 1 号 Xinxiaoheimai 1	36.9	36.9	29.7	25.0	4 297	10 632	128.1	13.9
33	新小黑麦 2 号 Xinxiaoheimai 2	22.5	31.3	33.5	25.6	4 220	10 482	118.2	12.0
34	新小黑麦 3 号 Xinxiaoheimai 3	35.8	23.5	34.8	21.6	4 618	10 544	94.2	13.9
35	新小黑麦 4 号 Xinxiaoheimai 4	27.8	35.3	31.4	24.6	5 139	10 470	109.4	16.9
36	新小黑麦 5 号 Xinxiaoheimai 5	28.2	35.3	28.8	16.0	3 935	10 347	107.5	12.3
37	中饲 237 Zhongsi 237	40.9	35.3	22.1	19.3	4 186	10 335	104.5	13.1
	均值 Average	32.0	32.9	30.1	22.0	4 399	10 468	110.3	13.7
	变异系数/% CV	22	15	15	17	10	1	11	13

由表 3 还可以看出,不同地区的小麦和小黑麦籽粒中植酸含量差异显著,变幅为 9.2~13.7 g/kg,均值为 11.3 g/kg,这与其他人的研究结果^[14]一致。另外,在西北偏远地区,如新疆,小黑麦籽粒中植酸含量最高,为 13.7 g/kg,比各地区平均值高出 2.4 g/kg;青海小麦籽粒中植酸含量也高于各地区平均值,这可能是导致西北偏远地区居民锌、铁吸收不足的原因之一。由此可知,小麦和小黑麦籽粒中植酸含量存在地区间差异,在选育低植酸小麦品种时应考虑地区因素。

表 3 不同地区小麦和小黑麦籽粒中矿质元素、蛋白质及植酸的含量
Table 3 Mean value for major mineral elements,protein and PA concentration in wheat and triticale grain in different regions

地区 Region	矿质元素含量/(mg·kg ⁻¹) Mean value of elements						蛋白质/ (g·kg ⁻¹) Protein	植酸/ (g·kg ⁻¹) PA
	锌 Zn	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	全磷 TP	全钾 TK		
陕西 Shaanxi	25.7 b	33.5 b	37.5 ab	18.3 bc	3 222 c	8 341 c	126.9 ab	9.6 c
北京 Beijing	29.0 ab	41.4 b	42.3 a	18.9 ab	3 578 bc	9 038 bc	109.3 cd	10.1 bc
青海 Qinghai	35.7 a	99.3 a	35.8 abc	14.7 c	4 040 ab	10 110 ab	101.4 d	12.9 a
河南 Henan	24.1 b	38.1 b	28.7 c	15.5 bc	3 148 c	8 810 bc	115.9 bc	9.2 c
山东 Shandong	25.4 b	45.1 b	42.9 a	17.0 bc	4 285 a	9 519 b	134.2 a	12.5 ab
新疆 Xinjiang	32.0 ab	32.9 b	30.1 bc	22.0 a	4 399 a	10 468 a	110.3 cd	13.7 a
均值 Average	28.5	48.4	35.6	17.6	3 761	9 383	116.4	11.3
变异系数/% CV	15	52	16	15	15	9	8	17

注:同一列数据后标不同字母表示在 5%水平上差异显著(同一元素不同地区间比较)。
Note:within a column,data followed by the different letters are significantly different ($P<0.05$) among different regions for the same element.

2.3 不同品种(系)小麦和小黑麦籽粒中植酸与锌的物质的量之比

目前,人体中微量元素锌的缺乏很普遍^[2],且植酸对人体吸收锌的限制作用最强,因此植酸与锌的物质的量之比常被用来作为预测小麦等禾谷类作物中锌的生物利用率以及预防人体发生锌缺乏危害的指标之一。有研究^[15-17]表明,植酸与锌的物质的量之比低于 10 时,植酸几乎不抑制锌的吸收利用;高于 20 时则抑制其吸收利用。本研究不同品种(系)小麦以及小黑麦籽粒中植酸与锌的物质的量之比见图 1。由图 1 可知,所有小麦及小黑麦籽粒中植酸与锌的物质的量之比均在 20 以上,且最高值是最低值的 4.3 倍,差异较大。其中比值最低的品种是陕 715,最高的是小偃 166,均是来自陕西省的小麦品种。所有小黑麦品种籽粒中,植酸与锌的物质的量之比的均值为 44.4,高于所有小麦的均值 40.6。由

此可以看出,我国主要小麦和小黑麦品种籽粒中锌的生物有效性较低,因此降低植酸与锌的物质的量之比非常必要,这对提高人体锌吸收及降低锌缺乏引起的危害均具有重要作用,尤其是对新疆等偏远地区更为重要。

2.4 小麦籽粒中植酸与矿质元素和蛋白质含量间的相关性分析

如表 4 所示,小麦籽粒中植酸与铁、锰、全磷和全钾的相关系数分别为 0.448,0.421,0.836 和 0.483,呈显著或极显著正相关;但与铜含量呈极显著负相关。由此可知,植酸能与多种矿质元素结合,并对其生物有效性起促进或抑制作用。而植酸与锌和蛋白质含量的相关性在 31 种小麦籽粒中均未达到显著水平,这与他人研究结果不同,可能与所选品种有关,尚有待于进一步探索。小麦籽粒中锌含量与铁含量的相关性达到了显著水平,这说明育种过

程中同时提高锌、铁含量是有可能的。另外,铁与全磷、全钾、蛋白质含量,以及锰与全磷含量均达到了显著或极显著相关水平,同时全磷与全钾含量的相关性也达到了极显著水平。由此得知,小麦籽粒中微量元素、常量元素以及蛋白质含量间存在着一定的相关性,这与张勇等^[11]的研究结论一致。

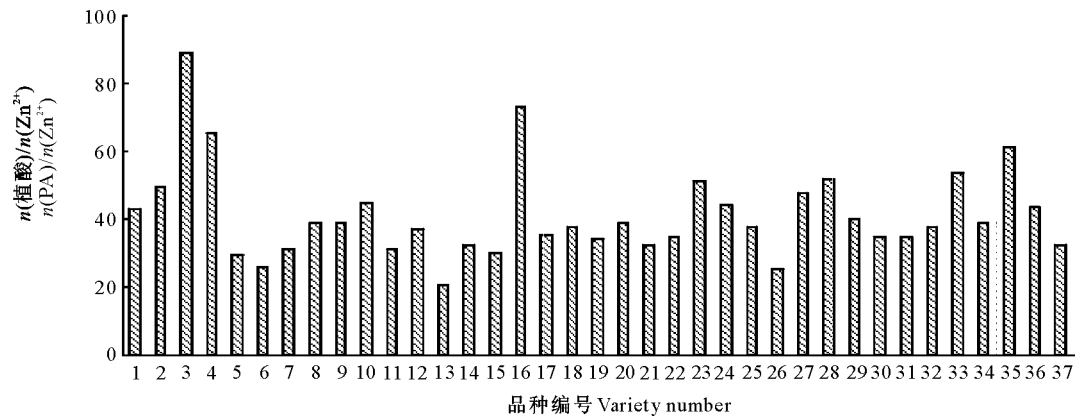


图 1 不同品种(系)小麦和小黑麦籽粒中植酸与锌的物质的量之比

图中小麦和小黑麦品种编号与表 1 和表 2 中编号对应

Fig. 1 Phytic acid to Zn molar ratios of wheat and triticale grain in different cultivars

The number of the cultivars in Fig. 1 is in accordance with Table 1 and Table 2

表 4 小麦籽粒中植酸与矿质元素、蛋白质含量间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients among phytic acid,mineral elements and protein concentration in wheat grain

项目 Item	植酸 PA	锌 Zn	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	全磷 TP	全钾 TK	蛋白质 Protein
植酸 PA	1.000	0.319	0.448 *	0.421 *	-0.499 **	0.836 **	0.483 **	-0.133
锌 Zn		1.000	0.443 *	0.142	-0.127	0.302	0.070	-0.041
铁 Fe			1.000	-0.042	-0.267	0.455 **	0.548 **	-0.437 *
锰 Mn				1.000	0.111	0.476 **	0.078	0.195
铜 Cu					1.000	-0.280	-0.315	0.104
全磷 TP						1.000	0.567 **	-0.156
全钾 TK							1.000	-0.318
蛋白质 Protein								1.000

注: * 表示达到显著相关, ** 表示达到极显著相关。

Note: *, ** means significant at the 0.05,0.01 probability levels, respectively.

3 讨 论

小麦是我国的主要粮食作物之一,其籽粒中含有的多种矿质元素,是人体营养物质的主要来源。然而大量研究表明,目前栽种的小麦品种籽粒中锌、铁等微量元素含量很低,不能满足人体需求,导致世界范围内人体锌、铁缺乏现象非常普遍^[2-3]。本试验收集的小麦和小黑麦品种籽粒中,锌含量为 11.7~40.9 mg/kg,平均含量为 27.9 mg/kg;铁含量为 21.8~117.6 mg/kg,平均含量为 40.4 mg/kg,这与 Morgounov 等^[18]的研究结果一致。据联合国粮食农业组织和世界卫生组织(FAO/WHO)^[19]报道,锌的每日营养推荐量(RDA)为12~15 mg,铁为 10~15 mg,而我国人均口粮(面粉)消费标准约为 250~400 g/d^[20],仅从粮食中摄取锌、铁远远不能满足人体需求,因此提高我国现有小麦和小黑麦品种籽粒

中锌、铁含量非常必要,措施之一是通过生物强化(育种或农艺措施)来实现。在土耳其和荷兰的试验结果证明,生物强化可以快速有效地提高籽粒中微量元素的含量^[2]。本试验中供试小麦和小黑麦品种籽粒中微量元素含量较低且变异大,因此通过生物强化提高的潜力也较大。Cakmak 等^[21]的研究表明,小麦种质资源以及野生小麦品种的籽粒中锌、铁含量均存在显著相关,因此同时提高籽粒中锌、铁含量是可能的。本试验也表明,籽粒中锌与铁含量表现出显著的正相关,这与文献^[11,18,22]的研究结果一致,表明锌铁含量可以同时被提高。

抗营养物质植酸可以抑制人体吸收锌、铁等矿质元素,因此植酸与矿质元素含量关系的研究成为热点问题。植酸是影响锌吸收的最主要因子,离子状态的锌与植酸络合后形成稳定的植酸锌,在肠道内几乎不被人体吸收^[23-24]。植酸与锌的绝对量不同,但物质的

量之比相同时,锌的生物利用率可能不受影响,因此, $n(\text{植酸})/n(\text{Zn}^{2+})$ 在一定程度上可以预测锌的生物利用率。一般认为,引起锌吸收利用抑制的 $n(\text{植酸})/n(\text{Zn}^{2+})$ 的临界值为10~20,低于10植酸几乎不抑制锌的吸收,高于20则严重抑制其吸收利用。本试验测定结果表明,目前我国栽种的小麦、小黑麦品种籽粒中, $n(\text{植酸})/n(\text{Zn}^{2+})$ 的比值均高于20,这可能是锌的生物利用率低的原因之一,因此降低该比值,有助于提高锌的生物利用率^[15]。

本试验还表明,小麦籽粒中植酸与铁、锰、全磷、全钾含量呈显著或极显著正相关,与铜含量呈极显著负相关,这与 Raboy^[25]、Liang 等^[26]、Graham 等^[27]的研究结果一致,表明植酸含量在某种程度上可以增加或降低籽粒中部分矿质元素的含量。同时有研究表明,对于同一小麦品种,在不同的生态环境条件下,增加籽粒中矿质元素含量的同时,植酸含量会明显降低,据此认为,遗传因素和环境条件均对作物籽粒中植酸含量具有重要影响^[24,28-29]。对于植酸与矿质元素之间的作用及其生理机制,还有待于进一步研究。

小麦籽粒中常量元素氮和磷分别主要以蛋白质和植酸的形式积累^[30],而且蛋白质和植酸均为小麦籽粒中锌的主要储存物质,因此锌与蛋白质、植酸含量的关系一直是近年来人们关注的热点。大多数研究表明,小麦籽粒中锌与植酸含量呈正相关^[14,27,31],本试验中锌与植酸含量虽然也呈正相关,但相关系数不高,这可能与本试验收集的小麦品种较少有关。Starks 等^[32]利用⁶⁵Zn 标记的研究表明,大部分锌在开花期与蛋白质结合,并且大部分锌存在于麦谷蛋白中;Peck 等^[33]的研究表明,施用高水平锌能改变籽粒中蛋白质的组成,但改变结果与其他因素(如温度)密切相关。本研究未对蛋白质的组分进行分析,研究结果仅表明锌与蛋白质含量呈负相关,因此对于二者关系还需进一步研究。植酸在种子发育过程中合成,并与蛋白质结合后沉积在种子中^[34]。多数学者^[2,4-5]认为,植酸和蛋白质是储存锌的化合物,两者存在一定的竞争关系。Liu 等^[35]对72种水稻进行分析后得出,“秀11”和“海6号”2种水稻具有较低的植酸和较高的蛋白质含量,结合本试验中植酸与蛋白质含量呈负相关这一结果可以推测,得到低植酸和高蛋白含量的小麦品种是有可能的。

本研究只是对购买的不同小麦品种籽粒中相关营养成分直接进行了测定分析,而在同一地点种植的不同小麦和小黑麦品种间籽粒中矿质元素含量的

差异,还有待于深入研究,以便为进一步提高小麦品种的矿物质元素含量及其有效性提供理论依据。

4 结 论

供试小麦品种中微量元素含量较低且变异大,因此通过生物强化措施提高的潜力较大;籽粒中锌、铁含量呈显著正相关,表明二者含量可以同时被提高;目前栽种的小麦和小黑麦品种籽粒中植酸与锌的物质的量之比高于20,这可能是锌生物有效性较低的原因之一,因此亟需降低该比值;另外,鉴于不同地区间小麦和小黑麦籽粒中主要矿质元素及植酸含量存在显著差异,因此选育品种时应考虑地区因素。

[参考文献]

- [1] White P J, Broadley M R. Biofortifying crops with essential mineral elements [J]. *Plant Science*, 2005, 12(10): 586-593.
- [2] Cakmak I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? [J]. *Plant and Soil*, 2008, 302: 1-17.
- [3] Yang X E, Chen W R, Feng Y. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2007, 29: 413-428.
- [4] 赵宁春, 张其芳, 程方民, 等. 氮、磷、锌营养对水稻籽粒植酸含量的影响及与几种矿质元素间的相关性 [J]. *中国水稻科学*, 2007, 21(2): 185-190.
Zhao N C, Zhang Q F, Cheng F M, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and zinc supply levels on grain phytic acid content and its correlation with several mineral nutrients in rice grains [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(2): 185-190. (in Chinese)
- [5] 张英华, 周顺利, 张 凯, 等. 源库调节对小麦不同品种籽粒微量元素及蛋白质含量的影响 [J]. *作物学报*, 2008, 34(9): 1629-1636.
Zhang Y H, Zhou S L, Zhang K, et al. Effects of source and sink reductions on micronutrient and protein contents of grain in wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(9): 1629-1636. (in Chinese)
- [6] 许庆方. 小黑麦的特性及应用研究进展 [J]. *草原与草坪*, 2008(4): 80-86.
Xu Q F. A review of triticale characteristics and utilization [J]. *Grassland and Turf (Bimonthly)*, 2008(4): 80-86. (in Chinese)
- [7] 孙 敏, 郭 媛. 小黑麦生物学特性、营养价值及利用前景 [J]. *山西农业大学学报*, 2003, 23(3): 200-203.
Sun M, Guo Y. Biology property, nutritive value and use foreground of triticale [J]. *Journal of Shanxi University*, 2003, 23(3): 200-203. (in Chinese)
- [8] Peterson C J, Johnson V A, Mattern P J. Evaluation of varia-

- tion in mineral element concentrations in wheat flour and bran of different cultivars [J]. *Cereal Chemistry*, 1983, 60(6): 450-455.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002: 263-285.
- Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3rd edition. Beijing: China Agricultural Press, 2002: 263-285. (in Chinese)
- [10] Haug W, Lantzsch H J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products [J]. *Journal of the Science of Food and Agricultural*, 1983, 34(12): 1423-1426.
- [11] 张勇, 王德森, 张艳, 等. 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 [J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1871-1876.
- Zhang Y, Wang D S, Zhang Y, et al. Variation of major mineral elements concentration and their relationships in grain of Chinese wheat [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1871-1876. (in Chinese)
- [12] Welch R M. Breeding strategies for biofortified staple plant foods to reduce micronutrient malnutrition globally [J]. *The Journal of Nutrition*, 2002, 132(3): 495-499.
- [13] Erdal I, Yilmaz A, Taban S, et al. Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25(1): 113-127.
- [14] Liu Z H, Wang H Y, Wang X E, et al. Phytase activity, phytate, iron, and zinc contents in wheat pearling fractions and their variation across production locations [J]. *Journal of Cereal Science*, 2007, 45: 319-326.
- [15] 金瑛, 马冠生. 植酸与矿物质的生物利用率 [J]. *国外医学卫生学分册*, 2005, 32(3): 141-144.
- Jin Y, Ma G S. The bioavailability of phytic acid and mineral elements [J]. *Foreign Medical Sciences-hygiene*, 2005, 32(3): 141-144. (in Chinese)
- [16] Karunaratne A M, Amerasinghe P H, Ramanujam V M S, et al. Zinc, iron and phytic acid levels of some popular foods consumed by rural children in Sri Lanka [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2008, 21: 481-488.
- [17] Harland B F, Smith S A, Howard M P, et al. Nutritional status and phytate: zinc and phytate $\times$ calcium: zinc dietary molar ratios of lacto-ovo vegetarian Trappist monks, 10 years later [J]. *American Dietary*, 1988, 88: 1562-1566.
- [18] Morgounov A, Go'mez-Becerra H F, Abugalieva A, et al. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia [J]. *Euphytica*, 2007, 155: 193-203.
- [19] Welch R M, Graham R D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55: 353-364.
- [20] 中国居民膳食指南 2007 [EB/OL]. [2009-03-11]. <http://www.cnsoc.org/>.
- [21] Cakmak I, Torun A, Millet E, et al. *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat [C] // 12th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants. Tokyo: [s. n.], 2004: 1047-1054.
- [22] Welch R M, Graham R D. Breeding crops for enhanced micronutrient content [J]. *Plant and Soil*, 2002, 245(1): 205-214.
- [23] 赵建军, 许泽永, 方小平. 作物低植酸育种研究进展 [J]. *中国油料作物学报*, 2003, 25(2): 94-98.
- Zhao J J, Xu Z Y, Fang X P. Study on breeding of the low-phytate crops [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2003, 25(2): 94-98. (in Chinese)
- [24] Ficco D B M, Riefole C, Nicastro G, et al. Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat cultivars [J]. *Field Crops Research*, 2009, 111: 235-242.
- [25] Raboy V. Seeds for a better future: 'Low phytate' grains help to overcome malnutrition and reduce pollution [J]. *Trends in Plant Science*, 2001, 6: 458-462.
- [26] Liang J F, Li Z G, Tsuji K, et al. Milling characteristics and distribution of phytic acid and zinc in long-, medium- and short-grain rice [J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48: 83-91.
- [27] Graham R, Senadhira D, Beebe S, et al. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches [J]. *Field Crops Research*, 1999, 60: 57-80.
- [28] Erdal I, Yilmaz A, Taban S. Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25(1): 113-127.
- [29] Buerkert A, Haake C, Ruckwied M, et al. Phosphorus application affects the nutritional quality of millet grain in the Sahel [J]. *Field Crops Research*, 1998, 57(2): 223-235.
- [30] Tanaka K, Kasai Z, Ogawa M. Physiology of ripening [C] // Matsue T, Kumazawa K, Ishii R, et al. *Science of the Rice Plant Physiology: Vol 2*. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995: 97-116.
- [31] Liu Z H, Wang H Y, Wang X E, et al. Genotypic and spike positional difference in grain phytase activity, phytate, inorganic phosphorus, iron, and zinc contents in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 44: 212-219.
- [32] Starks T L, Johnson P E. Techniques for intrinsically labeling wheat with ^{65}Zn [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1985, 33: 691-698.
- [33] Peck A W, McDonald G K, Graham R D. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 47: 266-274.
- [34] Lott J N A, Ockenden I, Raboy V, et al. Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: a global estimate [J]. *Seed Science Research*, 2000, 10(1): 11-33.
- [35] Liu Z H, Cheng F M, Zhang G P. Grain phytic acid content in japonica rice as affected by cultivar and environment and its relation to protein content [J]. *Food Chemistry*, 2005, 89: 49-52.