

小麦主要亲缘种籽粒的 Fe、Zn、Cu、Mn 含量及其聚类分析

郝志 田纪春* 姜小苓

(作物生物学国家重点实验室/山东农业大学小麦品质育种室, 山东泰安 271018)

摘要: 以 19 份小麦亲缘种及普通小麦中国春为材料, 测定比较了籽粒的 Fe、Zn、Cu、Mn 含量, 并进行了聚类分析。结果表明, Fe、Zn、Cu、Mn 含量平均值分别为 50.94、34.89、6.96 和 33.21 $\mu\text{g g}^{-1}$, 其改良潜力分别为 121.94%、40.46%、41.17% 和 73.03%。根据 Fe、Zn、Cu、Mn 含量将供试材料均分为高、中、低 3 类, 其中塔城高拉山小麦 Fe 含量高达 124.32 $\mu\text{g g}^{-1}$, 为富 Fe 材料。富 Zn 材料有野生一粒小麦、野生二粒小麦等 6 个品种(系), 均值为 49.91 $\mu\text{g g}^{-1}$ 。富 Cu 材料有分枝小麦和小黑麦(8 \times), 均值为 8.66 $\mu\text{g g}^{-1}$ 。富 Mn 材料为斯卑尔脱小麦, 含量高达 63.85 $\mu\text{g g}^{-1}$ 。不同倍性染色体倍性材料间, Fe、Zn 和 Mn 含量均以四倍体小麦最高, Cu 含量以八倍体小麦最高。不同染色体组间, AABB 染色体组材料的 Fe、Zn 和 Mn 含量最高, 其次是 AA 染色体组材料, Cu 以 AABBDDRR 染色体组最高。这些结果可为小麦营养品质育种的亲本选择和有利基因的发掘和利用提供参考依据。

关键词: 小麦; 近缘种质; 微量元素

Analyses of Fe, Zn, Cu, and Mn Contents in Grains and Grouping Based on the Contents for Main Kindred Germplasm of Common Wheat (*Triticum aestivum*)

HAO Zhi, TIAN Ji-Chun*, and JIANG Xiao-Ling

(State Key Laboratory of Crop Biology/Group of Quality Wheat Breeding, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China)

Abstract: The mineral nutrition is an important aspect of wheat (*Triticum aestivum* L.) grain quality, and becomes one of the most important targets for breeding. The main kindred germplasm of common wheat, which carry many fine genes, act as important donors in the evolution and breeding of common wheat. To screen breeding materials from these kindred germplasm with high or low mineral element content, we assessed the content level of four essential elements (iron, zinc, copper, and manganese) in grain of 19 main kindred germplasm of common wheat including *T. boeoticum*, *T. monococcum*, *Ae. tauschii*, *Secale*, *Secale vavilovii*, *T. dicocoides*, *T. dicocum*, *T. polonicum*, *T. carthlicum*, *T. turanicum*, *Ae. triuncialis*, *T. spelta*, *T. compactum*, *T. sphaerococcum*, *T. aestivum* conv. *ramulostachye*, *T. aestivum* subsp. *tibetanum*, *T. aestivum* subsp. *yunnanese*, *Triticale* (6 \times), *Triticale* (8 \times), Chinese Spring, in 2005-2006. The common wheat cultivar Chinese Spring was employed as control. After dry digestion, Fe, Zn, Cu, and Mn were determined by flame atomic accessory spectrometry (FAAS). The results showed that the mean content and the improving potential of all materials were 50.94 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 121.94% for Fe, 34.89 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 40.46% for Zn, 6.96 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 41.17% for Cu, 33.21 $\mu\text{g g}^{-1}$ and 73.03% for Mn, respectively. Based on the contents of Fe, Zn, Cu, and Mn, all materials were classified into three groups by using clustered analysis. *T. turanicum* was classified as Fe rich material with the highest content of 124.32 $\mu\text{g g}^{-1}$. *T. boeoticum*, *T. monococcum*, and other four samples were classified as Zn rich materials, whose Zn content on average was 49.91 $\mu\text{g g}^{-1}$. *T. aestivum* conv. *Ramulostachye*, and *Triticale* (8 \times) were classified as Cu rich materials, whose Cu content on average was 8.66 $\mu\text{g g}^{-1}$. *T. spelta* was classified as Mn rich materials, with the highest content of 63.85 $\mu\text{g g}^{-1}$. The tetraploid materials had the highest mean contents of Fe, Zn, and Mn, and the Octoploid materials had the highest mean content of Cu. The materials with AABB genome had the highest mean contents of Fe, Zn, and Mn, followed by the materials with AA genome. The materials with AABBDDRR genome had the highest mean content of Cu. These results are useful for parent's selection and utilization of fine genes in wheat.

Keywords: Wheat; Kindred germplasm; Micronutrient

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA10Z1E9); 国家自然科学基金项目(30671270); 农业部农业结构调整重大技术研究专项项目(05-02-02B)

作者简介: 郝志(1984-), 男, 山东青州人, 在读硕士研究生, 主要从事植物营养与品质生理育种方面的研究。Tel: 0538-8248196; E-mail: hao_zhi@163.com * 通讯作者(Corresponding author): 田纪春, 男, 教授, 博士生导师。Tel: 0538-8242040; E-mail: jctian@sdau.edu.cn

Received (收稿日期): 2007-03-19; Accepted (接受日期): 2007-05-07.

人类需要 22 种以上的矿质元素来维持生命活动,其中 Fe 和 Zn 在饮食中最为缺乏,I、Cu、Mn、Se 等元素次之。缺铁性贫血和缺锌引发的营养不良、生长发育迟缓、免疫力下降、智力低下等一系列微量元素缺乏病症已经日趋严重,尤其是在婴幼儿、妇女和老年人中,此类病症已相当普遍^[1-3]。为了解决这一世界性的难题,国际农业研究磋商小组(CGIAR)等国际机构于 2003 年开始实施国际性重大农业项目 Harvest Plus 计划,通过培育富含矿物营养成分的主要粮食作物来解决世界矿质营养缺乏的问题,并提出了通过育种手段或现代分子生物学技术增加粮食作物中可被利用矿质元素含量和生物有效性的生物强化策略^[4-7]。

小麦作为世界主要粮食作物之一,其食品营养和安全性也倍受关注。近年来,我国在小麦育种和栽培的研究方面,人们比较注重蛋白质、干湿面筋含量以及加工品质,而较少关注矿物质营养尤其是微量元素营养^[8]。因此,提高小麦籽粒中的有益矿质含量是育种工作中极为重要的问题。现在世界上广泛栽培的普通小麦(AABBDD)起源虽然至今有分歧,但一般认为,野生的乌拉尔图小麦(AA)与拟斯卑尔脱山羊草组(BB)类型杂交,产生野生二粒小麦(AABB),继而进化为栽培二粒小麦(AABB),再和粗山羊草(DD)杂交形成斯卑尔脱小麦,六倍体普通小麦是由它进化而来^[9-10]。小麦主要亲缘种为普通小麦提供了许多有利基因,但还有许多诸如高矿质元素等优良品质基因尚未发掘和利用。本试验以 19 份小麦主要亲缘种和普通小麦中国春为材料,测定分析了成熟籽粒中 Fe、Zn、Cu、Mn 的含量,筛选出 Fe、Zn、Cu、Mn 含量较高和较低的材料,为小麦营养品质育种的亲本材料选择及现代小麦品种营养品质的改良提供了材料和依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

19 份小麦主要亲缘种为野生一粒小麦(*T. boeoticum*)、栽培一粒小麦(*T. monococcum*)、节节麦(*Ae. tauschii*)、黑麦(*Secale*)、瓦维洛夫山黑麦(*Secale vavilovii*)、野生二粒小麦(*T. dicoccodes*)、栽培二粒小麦(*T. dicoccum*)、波兰小麦(*T. polanicum*)、波斯小麦(*T. carthlicum*)、塔城高拉山小麦(*T. turanicum*)、钩刺山羊草(*Ae. triuncialis*)、斯卑尔脱小麦(*T. spelta*)、密穗小麦(*T. compactum*)、

印度圆粒小麦(*T. sphaerococcum*)、分枝小麦(*T. aestivum* conv. *ramulostachye*)、西藏半野生小麦(*T. aestivum* subsp. *tibetanum*)、云南野生小麦(*T. aestivum* subsp. *yunnanese*)、小黑麦(6×)[*Triticale*(6×)]、小黑麦(8×)[*Triticale*(8×)],1 份全世界常用作生物研究的普通小麦对照品种为中国春,均由国家小麦育种中心泰安分中心种质库提供。于 2005 年秋种植于山东农业大学泰安教学基地,小区面积 6 m×2 m = 12 m²,3 次重复,随机排列,生长期间肥水管理同一般大田,未发生病虫害及其他自然灾害,且正常灌浆。收获后统一脱粒,备用。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 水分的测定 依据 GB/T50093-1985 的方法测定。

1.2.2 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量 各样品用“四分法”取 200 g 左右,用 Perten 3100 型旋风磨磨粉并过 80 目筛(聚氨基酯筛网),混匀,分别置于封口袋保存。准确称取 1 g 样品于坩埚中,在电炉上炭化至无烟,再于已预热 500℃的马福炉中灰化 4 h。用 10 mL 浓盐酸溶解灰分,在电炉上蒸发至近干,用 0.5 mol L⁻¹盐酸 20 mL 溶解残渣,经快速滤纸过滤并用水充分洗涤残渣,合并滤液至 100 mL 容量瓶中,定容并摇匀。在相同条件下制备空白样品(含与试样溶液相同的全部试剂,但不含被测组分的溶液)。

利用塞曼偏振 Z-2000 型原子吸收分光光度计及火焰分光光度法测定 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量。

1.3 数据处理

采用 DPS 分析软件计算 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的平均值、改良潜力,并进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量分析

2.1.1 4 种元素含量的变幅及改良潜力 表 1 可以看出,20 份供试材料 4 种元素含量都存在显著差异,Fe 含量的变幅为 27.70 ~ 124.32 μg g⁻¹,其中塔城高拉山小麦含量最高,达 124.32 μg g⁻¹,比供试材料的均值高出 144.05%,比普通小麦中国春高出 174.50%;西藏半野生小麦最低,为 27.70 μg g⁻¹,仅为供试材料均值的 54.38%;Zn 含量的变幅为 21.93 ~ 53.43 μg g⁻¹,其中栽培二粒小麦含量最高,达 53.71 μg g⁻¹,比供试材料的均值高出 53.94%,比普通小麦中国春高出 72.31%;密穗小麦最低,为 21.93 μg g⁻¹,仅为供试材料均值的 62.85%;Cu 含量

的变幅为 4.98 ~ 9.20 $\mu\text{g g}^{-1}$, 其中小黑麦(8 \times)的含量最高, 达 9.20 $\mu\text{g g}^{-1}$, 比供试材料的均值高出 32.18%, 比普通小麦中国春高出 23.32%; 节节麦最低, 为 4.98 $\mu\text{g g}^{-1}$, 仅为供试材料均值的 71.55%; Mn 含量的变幅为 14.59 ~ 63.85 $\mu\text{g g}^{-1}$, 其中斯卑尔

脱小麦的含量最高, 达 63.85 $\mu\text{g g}^{-1}$, 比供试材料的均值高出 92.26%, 比普通小麦中国春高出 119.41%; 西藏半野生小麦最低, 为 14.59 $\mu\text{g g}^{-1}$, 仅为供试材料均值的 43.93%。

表 1 微量元素测定结果

Table 1 Contents of microelements in different wheat species ($\mu\text{g g}^{-1}$, on a dry matter basis)

材料名称 Species	染色体组 Genome	微量元素 Microelement			
		Fe	Zn	Cu	Mn
野生一粒小麦 <i>T. boeoticum</i>	AA	64.13 \pm 2.28 b	53.43 \pm 2.13 ab	5.89 \pm 0.05 efgh	46.25 \pm 0.92 bc
栽培一粒小麦 <i>T. monococcum</i>	AA	46.39 \pm 1.07 cd	39.22 \pm 1.58 edef	5.81 \pm 0.29 efgh	39.82 \pm 2.28 de
节节麦 <i>Ae. tauschii</i>	DD	54.28 \pm 2.59 bc	29.61 \pm 1.37 fgh	4.98 \pm 0.22 h	21.96 \pm 1.03 j
黑麦 <i>Secale</i>	RR	53.77 \pm 2.07 bc	33.18 \pm 1.90 efgh	7.71 \pm 0.39 abcd	24.37 \pm 0.58 ij
瓦维洛夫山黑麦 <i>Secale vavilovii</i>	RR	64.82 \pm 2.25 b	33.89 \pm 1.36 efgh	6.93 \pm 0.08 bedef	24.94 \pm 0.45 ij
野生二粒小麦 <i>T. dicoccodes</i>	AABB	45.34 \pm 1.96 cd	47.28 \pm 1.17 abed	5.19 \pm 0.16 gh	48.21 \pm 0.54 bc
栽培二粒小麦 <i>T. dicoccum</i>	AABB	57.75 \pm 3.50 bc	53.71 \pm 1.93 a	5.81 \pm 0.17 efgh	51.00 \pm 1.53 h
波兰小麦 <i>T. polanicum</i>	AABB	58.68 \pm 3.24 bc	51.39 \pm 2.25 abc	6.35 \pm 0.17 defgh	38.75 \pm 0.39 def
波斯小麦 <i>T. carthlicum</i>	AABB	55.01 \pm 1.31 bc	40.39 \pm 1.74 edef	6.27 \pm 0.17 defgh	43.46 \pm 1.58 cd
塔城高拉山小麦 <i>T. turanicum</i>	AABB	124.32 \pm 4.75 a	32.36 \pm 2.62 fgh	5.58 \pm 0.10 fgh	47.07 \pm 1.71 bc
钩刺山羊草 <i>Ae. triuncialis</i>	CCUU	59.97 \pm 4.40 bc	41.31 \pm 1.88 bedef	6.10 \pm 0.12 defgh	38.76 \pm 1.43 def
斯卑尔脱小麦 <i>T. spelta</i>	AABDDD	54.13 \pm 1.79 bc	49.01 \pm 1.24 abc	6.23 \pm 0.10 defgh	63.85 \pm 1.26 a
密穗小麦 <i>T. compactum</i>	AABDDD	59.85 \pm 3.59 bc	21.93 \pm 1.14 h	5.44 \pm 0.06 fgh	39.21 \pm 1.20 def
印度圆粒小麦 <i>T. sphaerococcum</i>	AABDDD	37.70 \pm 1.30 de	33.42 \pm 1.06 efgh	6.64 \pm 0.05 bedefgh	35.67 \pm 1.20 efg
分枝小麦 <i>T. aestivum</i> concv. <i>ramulostachye</i>	AABDDD	55.63 \pm 3.90 bc	44.65 \pm 2.16 abede	8.11 \pm 0.22 ab	46.04 \pm 0.93 bc
西藏半野生小麦 <i>T. aestivum</i> subsp. <i>tibetanum</i>	AABDDD	27.70 \pm 1.30 e	25.77 \pm 1.77 gh	5.72 \pm 0.10 fgh	14.59 \pm 0.86 k
云南野生小麦 <i>T. aestivum</i> subsp. <i>yunnanese</i>	AABDDD	50.50 \pm 2.41 bed	36.20 \pm 1.21 defg	6.80 \pm 0.09 bedefg	33.14 \pm 0.39 fgh
小黑麦(6 \times) <i>Triticale</i> (6 \times)	AABRRR	48.51 \pm 2.02 cd	31.90 \pm 1.35 fgh	8.07 \pm 0.15 abc	20.40 \pm 1.04 jk
小黑麦(8 \times) <i>Triticale</i> (8 \times)	AABDDRRR	56.49 \pm 1.95 bc	34.93 \pm 2.37 efg	9.20 \pm 0.06 a	31.41 \pm 1.47 gh
中国春 Chinese Spring	AABDDD	45.29 \pm 2.41 cd	31.17 \pm 0.88 fgh	7.46 \pm 0.25 bede	29.10 \pm 0.61 h
平均 Mean	—	50.94	34.89	6.96	33.21
改良潜力 Improving potential(%)	—	121.94	40.46	41.17	73.03

表中数据为 3 次平均值。数据后不同小写字母表示在 5% 水平上差异显著。

Data in the table are the means of three replicates. Values followed by a different small letter are significantly different at 5% probability level.

改良潜力是指供试品种(系)某指标的最高值与平均值之差占平均值的百分数, 代表在育种过程中可以把相应指标含量提高的潜力。本研究供试材料的 Fe、Zn、Cu 和 Mn 的平均含量分别为 50.94、34.89、6.96 和 33.21 $\mu\text{g g}^{-1}$, 其中 Fe、Zn 和 Mn 的含量分别比普通小麦中国春高 12.47%、11.93% 和 14.12%, 而 Cu 的含量比普通小麦中国春低 6.70%。Fe、Zn、Cu、Mn 改良潜力分别为 121.94%、40.46%、41.17% 和 73.03%。说明通过育种途径可使小麦籽粒中 Fe 的含量幅度提高较大(1.21 倍); 其次是 Mn, 可以提高 0.73 倍; Zn 和 Cu 提高的幅度较小, 分别为 0.40 倍和 0.41 倍。这为培养富含微量矿质元素, 特别是富含铁元素的品种提供了参考。

2.1.2 不同染色体组倍性材料的 Fe、Zn、Cu、Mn 含量 从表 2 可以看出, 不同倍性染色体组的材料间各元素含量都存在差异, 部分差异达到了显著水

平。在 4 种染色体组倍性材料间, 四倍体材料的 Fe 含量与六倍体材料存在显著差异, 二倍体和八倍体材料间差异不显著; Zn 的含量四倍体材料显著高于六倍体和八倍体材料; Cu 的含量八倍体染色体组材料最高, 与其他 3 类均存在显著差异; Mn 的含量同样以四倍体材料最高, 分别与其他 3 类材料都存在

表 2 不同染色体组倍性材料间 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量
Table 2 The contents of Fe, Zn, Cu, and Mn in materials with different ploidies of genome ($\mu\text{g g}^{-1}$, on a dry matter basis)

染色体组倍性 Ploidies of genome	Fe	Zn	Cu	Mn
二倍体 Diploid	56.68 ab	37.87 ab	6.26 b	31.47 c
四倍体 Tetraploid	66.85 a	44.40 a	5.88 b	44.54 a
六倍体 Hexaploid	47.41 b	34.59 b	6.81 b	35.25 b
八倍体 Octoploid	56.49 ab	34.93 b	9.20 a	31.41 c

表中数据为 3 次平均值。数据后不同字母表示在 5% 水平上差异显著。

Data in the table are the means of three replicates. Values followed by a different small letter are significantly different at 5% probability level.

显著差异;六倍体材料也显著高于二倍体和八倍体材料。

总的看来,不同倍性染色体组材料间,Fe、Zn、Mn 含量均以四倍体材料最高,与其他 3 类材料存在显著差异,Cu 的含量则以八倍体染色体组材料最高,其他 3 类材料间差异不大。

2.1.3 不同染色体组材料的 Fe、Zn、Cu、Mn 含量

从表 3 可以看出,各染色体组材料间各元素含量都存在差异,部分差异达到显著水平。在 8 种染色体组类型中,Fe 的含量以 AABB 染色体组材料最高,为 $68.22 \mu\text{g g}^{-1}$,与其他染色体组间都存在显著差异。AABBDD 染色体组材料最低,为 $47.26 \mu\text{g g}^{-1}$;Zn 的含量以 AA 染色体组材料最高,为 $46.33 \mu\text{g g}^{-1}$,其次是 AABB 染色体组,与其他 6 种染色体组均存在显著差异;Cu 的含量以 AABBDRR 染色体组材料最高,为 $9.20 \mu\text{g g}^{-1}$,其次是 AABRR 染色体组,DD 染色体组材料含量最低,仅为 $4.98 \mu\text{g g}^{-1}$;Mn 的含量以 AABB 染色体组材料最高,为 $45.70 \mu\text{g g}^{-1}$,RR、DD 和 AABRR 染色体组含量都较低,分别为 24.66 、 21.96 和 $20.40 \mu\text{g g}^{-1}$,这 3 种类型的差异不显著,且显著低于其他类型。总体看来,AABB 染色体组材料 Fe、Zn 和 Mn 元素的含量均较高,其次是 AA 染色体组,而且不同染色体组间 Fe、Zn 含量的变幅较小,而 Cu、Mn 含量的变幅较大。

表 3 不同染色体组材料的 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量

Table 3 The contents of Fe, Zn, Cu, and Mn in materials with different genomes ($\mu\text{g g}^{-1}$, on a dry matter basis)

染色体组 Genome	Fe	Zn	Cu	Mn
AA	55.26 ab	46.33 a	5.85 de	43.04 ab
DD	54.28 ab	29.61 c	4.98 e	21.96 e
RR	59.30 ab	33.54 bc	7.32 bc	24.66 e
AABB	68.22 a	45.03 a	5.84 de	45.70 a
CCUU	59.97 ab	41.31 ab	6.10 cde	38.76 bc
AABBDD	47.26 b	34.59 bc	6.63 cd	37.37 c
AABRR	48.51 b	31.90 bc	8.07 ab	20.40 e
AABBDRR	56.49 ab	34.93 bc	9.20 a	31.41 d

表中数据为 3 次平均值。数据后不同字母表示在 5% 水平上差异显著。

Data in the table are the means of three replicates. Values followed by a different small letter are significantly different at 5% probability level.

2.2 基于 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的聚类分析

根据 Fe、Zn、Cu 和 Mn 的含量采用最长距离法分别对 20 份供试材料进行聚类分析(图 1),在阈值 60.0、38.0、5.5 和 60.0 的水平上,所有供试材料均可聚为 3 类。基于 Fe 含量的聚类结果表明,塔城高

拉山小麦单独为一类,其 Fe 含量为 $124.32 \mu\text{g g}^{-1}$,远远大于其他材料,为富 Fe 类材料;印度圆粒小麦和西藏半野生小麦 2 个材料聚为一类,平均值为 $32.7 \mu\text{g g}^{-1}$,为低 Fe 类材料;野生一粒小麦、瓦维洛夫山黑麦等 17 个材料聚为一类,Fe 含量分布范围为 $45.29 \sim 64.82 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $48.77 \mu\text{g g}^{-1}$,是 Fe 含量中间类型材料。基于 Zn 含量的聚类结果表明,野生一粒小麦、野生二粒小麦等 6 个材料聚为一类,含量分布范围为 $44.65 \sim 53.71 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $49.91 \mu\text{g g}^{-1}$,是富 Zn 类材料;节节麦、塔城高拉山小麦等 6 个材料聚为一类,含量分布范围为 $21.93 \sim 32.36 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $28.79 \mu\text{g g}^{-1}$,是 Zn 含量较低的材料;栽培一粒小麦、黑麦等 8 个材料聚为一类,其 Zn 含量分布范围为 $33.18 \sim 41.31 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $31.51 \mu\text{g g}^{-1}$,是 Zn 含量中间类型材料。基于 Cu 含量的聚类结果表明,分枝小麦和小黑麦(8×)聚为一类,均值为 $8.66 \mu\text{g g}^{-1}$,是富 Cu 类材料;野生一粒小麦、栽培一粒小麦等 12 个材料聚为一类,含量分布范围为 $4.98 \sim 6.35 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $5.78 \mu\text{g g}^{-1}$,是 Cu 含量较低的材料;黑麦、瓦维洛夫山黑麦等 6 个材料聚为一类,含量分布范围为 $6.64 \sim 8.07 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $7.27 \mu\text{g g}^{-1}$,是 Cu 含量中间类型的材料。基于 Mn 含量的聚类结果表明,斯卑尔脱小麦单独为一类,其 Mn 含量为 $63.58 \mu\text{g g}^{-1}$,为富 Mn 类材料;节节麦、黑麦等 5 个材料聚为一类,含量分布范围为 $14.59 \sim 29.10 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $22.56 \mu\text{g g}^{-1}$,为低 Mn 类材料;野生一粒小麦、栽培一粒小麦等 14 个材料聚为一类,其含量分布范围为 $31.41 \sim 47.07 \mu\text{g g}^{-1}$,均值为 $34.84 \mu\text{g g}^{-1}$,是 Mn 含量中间类型材料。

3 讨论

小麦含有多种矿物质元素,是人体重要营养物质的来源。Philip 等^[11]研究表明,目前栽培小麦籽粒中 Fe、Zn 等主要有益矿物质元素的含量很低,不能满足人体对营养的需求。许多发展中国家缺乏 Fe、Zn 含量的现象较为严重,因此提高小麦籽粒中矿物质元素的含量非常有意义^[12]。Francesco 等^[13]调查了小麦籽粒中 Fe、Zn 等矿物质元素含量的基因潜力,以增加其生物可利用性。本研究表明,小麦主要亲缘种中有一些富含微量矿物质元素的特异材料,例如塔城高拉山小麦(Fe 含量高达 $124.32 \mu\text{g g}^{-1}$)、栽培二粒小麦(Zn 含量高达 $53.71 \mu\text{g g}^{-1}$)、小黑麦(8×)(Cu 含量高达 $9.20 \mu\text{g g}^{-1}$)、斯卑尔脱小麦(Mn 含量高达

63.85 $\mu\text{g g}^{-1}$), 这些矿物质元素含量较高的材料在育种实践和遗传机制的研究方面都具有一定的利用价值。从20份供试材料中分别筛选出较高和较低矿物质含量的材料, 为更深入研究小麦染色体倍性和染色体组类型与矿物质元素的关系提供了启示。当然, 同其他小麦品质指标一样, 在研究有关矿物质元素的基因位点的变异和遗传性的同时, 还需要考虑不同的土壤状况和生态环境对基因表达的影响, 不同的测定方法也会造成矿物质元素含量的上下浮动。Oury

等^[14]研究表明, 小麦籽粒中 Fe 含量受基因的影响较小, 基因和环境互作的影响较大, 且与其他元素的相关性也不大, 而小麦籽粒中 Zn 受基因的影响较大, 且基因和环境互作的影响也较大, 所以从这些亲缘种中直接选取高 Zn 含量的材料做亲本进行育种或用作矿物质元素相关基因的研究, 都将会取得有意义的进展; 而对于小麦籽粒中 Cu 和 Mn 的含量及其基因型与环境的关系, 目前国内外均研究较少, 其遗传机制还不很清楚, 需要进一步的研究。

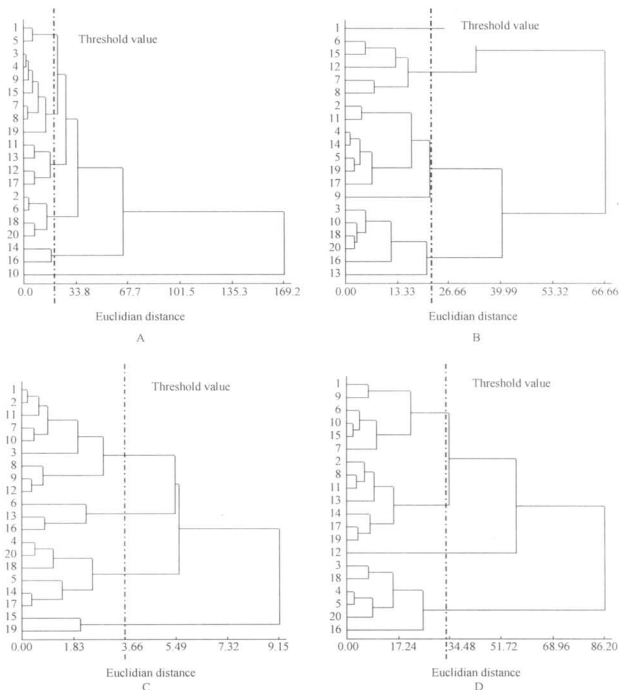


图1 供试材料基于 Fe(A)、Zn(B)、Cu(C)和 Mn(D)含量的聚类图

Fig.1 Cluster of materials tested based on the contents of Fe (A), Zn (B), Cu (C), and Mn (D)

1: 野生一粒小麦; 2: 栽培一粒小麦; 3: 节节麦; 4: 黑麦; 5: 瓦维洛夫山黑麦; 6: 野生二粒小麦; 7: 栽培二粒小麦; 8: 波兰小麦; 9: 波斯小麦; 10: 塔城高拉山小麦; 11: 钩刺山羊草; 12: 斯卑尔脱小麦; 13: 密穗小麦; 14: 印度圆粒小麦; 15: 分枝小麦;

16: 西藏半野生小麦; 17: 云南野生小麦; 18: 小黑麦(6 \times); 19: 小黑麦(8 \times); 20: 中国春。

1: *T. boeoticum*; 2: *T. monococcum*; 3: *Ae. tauschii*; 4: *Secale*; 5: *Secale vavilovii*; 6: *T. dicoccodes*; 7: *T. dicoccum*; 8: *T. polonicum*; 9: *T. carthlicum*; 10: *T. turanicum*; 11: *Ae. triuncialis*; 12: *T. spelta*; 13: *T. compactum*; 14: *T. sphaerococcum*; 15: *T. aestivum* conv. *ramulostachye*; 16: *T. aestivum* subsp. *tibetanum*; 17: *T. aestivum* subsp. *yunnanense*; 18: *Triticale* (6 \times); 19: *Triticale* (8 \times); 20: Chinese Spring.

目前, 我国小麦籽粒矿物营养的研究, 主要集中

于矿物质元素的含量及小麦特色品种的培育, 但对于

小麦籽粒内矿物质积累、运转、调控的报道较少, 鉴于目前小麦生产的区域化、专用化、优质化特点, 有必要研究小麦矿质元素的遗传规律以及小麦矿质元素与小麦基因组的关系, 筛选优良的品种, 为小麦高产、优质、高效生产奠定基础。本研究表明, 不同倍性染色体组的材料间各元素含量都存在差异, 部分差异达到显著水平。染色体组类型对小麦籽粒中 Fe、Zn 的含量影响较小, 对 Cu、Mn 的含量影响较大。而不同染色体组的各种组合间, 染色体组对 Fe、Zn、Cu、Mn 的效应比较复杂, 有的组合为正效应, 有的组合为负效应, 其机制需要用更多材料来进行深入研究。

4 结论

19 份小麦亲缘种及普通小麦中国春 Fe、Zn、Cu 和 Mn 含量的变幅都比较大, 其改良潜力分别为 121.94%、40.46%、41.17% 和 73.03%。不同倍性染色体组材料间, 四倍体小麦的 Fe、Zn 和 Mn 含量显著高于其他倍性染色体组材料, 八倍体染色体组材料 Cu 的含量显著高于其他倍性染色体组材料。不同染色体组材料间, AABB 染色体组材料的 Fe、Zn 和 Mn 含量最高, AABBDDRR 染色体组材料的 Cu 含量最高。基于 Fe、Zn、Cu、Mn 含量, 将供试材料均分为高、中、低 3 类, 其中富铁材料为塔城高凉山小麦, 富 Zn 材料有野生一粒小麦、野生二粒小麦等 6 个品种(系), 富 Cu 材料有分枝小麦和小黑麦(8×), 富

Mn 材料为斯卑尔脱小麦。

References

- [1] Chen Q-S (陈清硕). Green revolution and micronutrient malnutrition. *World Agric* (世界农业), 1997, (2): 28-29 (in Chinese)
- [2] Guo S-W (郭世伟), Jiang R-F (江荣凤), Zhang F-S (张福锁). Grain quality and human nutrition. *World Agric* (世界农业), 1997, (12): 42-43 (in Chinese)
- [3] Anglani C. Wheat minerals: a review. *Plant Foods Human Nutr*, 1998, 52: 177-186
- [4] King J C. Evaluating the impact of plant biofortification on human nutrition. *J Nutr*, 2002, 132: 511-513
- [5] Lonerbald B. Genetically modified plants for improved trace element nutrition. *J Nutr*, 2006, 133: 1490-1493
- [6] Skrbic B, Onjia A. Multivariate analyses of microelement contents in wheat cultivated in Serbia. *Eur Food Res Technol*, 2005, 18: 338-345
- [7] Welch R M, Graham R D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *J Exp Bot*, 2004, 55: 353-364
- [8] Zhang R (张睿), Guo Y-X (郭月霞), Nan C-Q (南春芹). Study on trace elements of wheat grain in different fertilizer treatments. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* (西北植物学报), 2004, 24(1): 125-129 (in Chinese with English abstract)
- [9] Hoisington D, Khairallah M, Reeves T, Ribaut J M, Skovmand B, Taba S, Warburton M. Plant genetic resources: what can they contribute toward increased crop productivity? *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 5937-5943
- [10] Sun L-Z (孙兰珍). *Crop Breeding (作物育种学各论)*. Beijing: China Agricultural Science Press, 1991. pp 17-19 (in Chinese)
- [11] White P J, Broadley M R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends Plant Sci*, 2005, 12: 586-593
- [12] Glenn B C. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. *J Nutr*, 2006, 132: 500-502
- [13] Francesco C, Andrea R, Emanuele M. Effects of processing on five selected metals in the durum wheat food chain. *Microchem J*, 2004, 79: 97-102
- [14] Oury F X, Leenhardt F, Rémesy C, Chanliaud E, Duperrier B, Balfourier F, Charmet G. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. *Eur J*, 2006, 25: 177-185

欢迎订阅 2008 年《植物遗传资源学报》

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会主办的专业性学术期刊, 全国优秀农业期刊, 由中国农科院副院长刘旭先生担任主编。报道内容为大田、园艺作物, 观赏、药用植物, 林用植物、草类植物及其一切经济植物的有关植物遗传资源基础理论研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。诸如, 种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新、信息学、管理学等; 起源、演化、分类等系统学; 基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

该刊为中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊)、中国科学引文数据库来源期刊(核心期刊)、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊, 被《中国生物学文摘》和中国生物科学文献数据库、中文科技期刊数据库收录。据中国期刊引证研究报告统计(扩刊版)统计, 2006 年度《植物遗传资源学报》影响因子为 0.872。

《植物遗传资源学报》为季刊, 大 16 开本, 128 页/期。定价 20 元/期, 全年 80 元。国内刊号 CN 11-4996/S, 国际统一刊号 ISSN 1672-1810。各地邮局发行, 邮发代号: 82-643。

本刊编辑部常年办理订阅手续, 如需邮挂每期另加 3 元。

地址: 北京市中关村南大街 12 号 中国农业科学院《植物遗传资源学报》编辑部(邮编: 100081)

电话: 010-62180257; 62180279(兼传真)

E-mail: zwczyxb2003@163.com; zwczyxb2003@sina.com