

# 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量对氮素反应的品种差异及其类型

匡艺<sup>1,2</sup>, 李廷轩<sup>1\*</sup>, 余海英<sup>1</sup>

(1 四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014; 2 四川省威远县环境监测站, 四川威远 642450)

**摘要:** 采用盆栽试验, 以 31 份具有不同遗传背景的小黑麦品种为材料, 设低氮和正常供氮 2 个氮素水平, 探讨小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量对氮素反应的品种差异及其类型。结果表明, 1) 不同供氮条件下, 小黑麦子粒中铁、锰含量以正常供氮显著高于低氮条件, 锰、铜含量在两个供氮条件下差异不显著; 相同供氮条件下, 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量存在显著的品种差异, 变异系数为 15.07%~38.69%。2) 铁、锰、铜、锌含量对氮素供应的敏感性存在差异, 以各小黑麦品种子粒微量元素含量对氮素响应的敏感程度, 可将其分为钝感型、中间型和敏感型 3 种。3) 相关分析表明, 铁、锰含量与粒重相关性不显著, 铜、锌含量与粒重呈极显著正相关(相关系数分别为 0.45、0.44); 铁、锰、铜、锌含量与子粒中含氮量呈极显著正相关(相关系数分别为 0.34、0.55、0.47、0.71)。此结果可为对小黑麦营养品质有利基因的发掘和运用提供参考依据。

**关键词:** 小黑麦; 微量元素; 品种差异; 类型

中图分类号: S512.4.062.01

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)05-1075-08

## Cultivar difference and classification of Fe, Mn, Cu, Zn contents in *Triticale* grain in response of nitrogen application

KUANG Yi<sup>1,2</sup>, LI Ting-xuan<sup>1\*</sup>, YU Hai-ying<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environmental Science, Sichuan Agriculture University, Yaan, Sichuan 625014, China;

2 Environmental Monitor Station of Weiyuan County, Sichuan Province, Weiyuan, Sichuan 642450, China)

**Abstract:** Pot experiments were conducted to investigate the cultivar difference of Fe, Mn, Cu and Zn concentration and their types in *triticale* grain in response to nitrogen application. 31 *triticale* varieties with different inheritance background were used as experimental materials. Low and normal content nitrogen were supplied. The results showed that: 1) Under normal nitrogen supply, Fe and Zn content in *triticale* grain were significant higher than that of low nitrogen supply. The differences of Mn and Cu content under two nitrogen levels were not significant. Significant difference of Fe, Mn, Cu and Zn contents in *triticale* grain were observed under the same nitrogen levels. The coefficient of variation was from 15.07% to 38.69%. 2) The sensitivity discrepancy in view of Fe, Mn, Cu and Zn contents existed in the grain of *triticale* varieties under nitrogen supply. Insensitive type, intermediate type and sensitive type were classified based on sensitivity discrepancy of Fe, Mn, Cu and Zn contents under nitrogen supply. 3) According to correlation analysis, no positive significant correlation was observed between Fe and Mn content and 1000-grain weight. The results showed a highly significant positive correlation between the content of Cu, Zn and 1000-grain weight (the correlation coefficient were 0.45 and 0.44, respectively). The content of Fe, Mn, Cu and Zn had a highly significant positive correlation to nitrogen content in *triticale* grain (the correlation coefficient were 0.34, 0.55, 0.47 and 0.71, respectively). The conclusion could be used as a reference for excavation

收稿日期: 2010-12-30

接受日期: 2011-05-22

基金项目: 国家自然科学基金(40901138); 国家科技支撑计划子课题(2008BAD98B03); 四川省科技厅应用基础项目(2008JY0022), (2010JY0083)资助。

作者简介: 匡艺(1987—), 女, 四川内江人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与养分高效利用研究。E-mail: kuangyigar@sina.com

\* 通讯作者 E-mail: litinx@263.net

and application of advantaged gene in *triticale*.

**Key words:** *Triticale*; micronutrient; cultivar variation; type

碘、硒、锌、铁、铜、锰、铬等已被国际上确定为“维持机体正常生命活动所不可缺少的必需微量元素”<sup>[1]</sup>。缺铁性贫血和缺锌引起的免疫功能降低、智力发育不良等一系列微量元素缺乏病症已日趋严重<sup>[2-3]</sup>，特别是在发展中国家，尤其是处于资源匮乏地区的妇女、婴儿和学生<sup>[4-5]</sup>。造成微量元素缺乏的主要原因：一是禾谷类粮食作物中微量元素含量不高；二是含有较多能够降低微量元素生物有效性的化合物<sup>[6]</sup>。加强食物多样性、补充维他命和矿物质是治疗微量元素营养失衡的常用办法。如欧盟利用网络手段矫正人体所需基本微量营养元素的含量，以达到缓解或治疗疾病的目的<sup>[7]</sup>。对于发展中国家，由于饮食结构单一，购买力弱，且食物营养强化和药物治疗只能起到暂时缓解病症的作用，不能从根本上解决这一难题<sup>[5,8-9]</sup>。因此，通过培育富含微量元素的主要粮食作物来解决矿质营养含量缺乏的生物强化技术受到广泛关注<sup>[10-11]</sup>。已有的研究表明，作物子粒中铁、锰、铜、锌含量存在显著的品种差异<sup>[9,12-13]</sup>。因而，可通过这种差异来培育富含微量元素的作物新品种<sup>[14]</sup>。据报道，作物体内微量元素含量除受自身的遗传因素影响外，还受土壤、施肥、温度等环境因素及二者互作效应的调控<sup>[15-18]</sup>。随着人口的增加和耕地的减少，施用化肥成为农业生产获得高产与稳产的措施，而氮肥调控则是取得作物高产优质的主要途径。因此，进行施氮对作物子粒中微量元素含量的影响研究，不仅可为其遗传与环境的互作

效应提供资料，同时为高产富含微量元素的作物新品种的培育和应用打下基础。小黑麦作为粮饲兼用型作物，在我国农业生产中占有重要的地位<sup>[19]</sup>，其子粒中微量元素含量的高低，通过影响动物生长或人类直接食用，对人体健康产生影响。为此，本研究以代表不同遗传背景的31份小黑麦品种为材料，设置低氮和正常供氮2种氮素水平，研究各小黑麦品种子粒中铁、锰、铜、锌含量存在的差异和对氮素供应的响应，以及微量元素含量与千粒重、含氮量的关系，以期为高产富含微量元素的小黑麦品种的合理选育提供一定的理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试材料

本研究选择具有不同遗传背景的31份小黑麦品种为试验材料，其编号和名称见表1。盆栽用土为青衣江河流冲积物发育而成的潮土，采自四川省雅安市雨城区大兴镇。其基本理化性质为：有机质含量24.41 g/kg；全氮0.76 g/kg；碱解氮58.38 mg/kg；速效磷(Olsen-P)18.29 mg/kg；速效钾(NH<sub>4</sub>COOH浸提态钾)35.63 mg/kg；DTPA-铁17.29 mg/kg；DTPA-锰3.67 mg/kg；DTPA-铜2.51 mg/kg；DTPA-锌3.39 mg/kg；pH(V<sub>水</sub>:V<sub>土</sub>=2.5:1)6.98。所用尿素含N46.7%，磷酸二氢钾含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>52.17%、含K<sub>2</sub>O34.53%，硫酸钾含K<sub>2</sub>O53.94%；其中尿素从市场购买，磷酸二氢钾和硫酸钾为分析纯试剂。

表1 供试小黑麦品种编号及名称

Table 1 Number of different *triticale* cultivars

编号 No.	品种 Cultivars	编号 No.	品种 Cultivars	编号 No.	品种 Cultivars	编号 No.	品种 Cultivars
1	CIxt33	9	PI587240	17	CIxt81	25	PI428954
2	CIxt72	10	PI587241	18	CIxt82	26	PI428955
3	PI429186	11	PI587384	19	PI428765	27	PI429106
4	PI508249	12	PI613354	20	PI428768	28	PI429109
5	PI527340	13	CIxt74	21	PI428795	29	PI429228
6	PI587233	14	CIxt75	22	PI428804	30	PI542558
7	PI587238	15	CIxt76	23	PI428836	31	PI587242
8	PI587239	16	CIxt77	24	PI428841		

### 1.2 试验处理

试验于2008年11月~2009年6月在四川农业大学教学科研园有防雨设施的网室中进行。采用塑料桶(上口径27 cm;下口径20 cm;高23 cm)进行盆栽试验,每盆装潮土15 kg。试验设低氮(-N)和正常供氮(+N)2个处理,其中低氮处理为不向土壤中施入氮肥,正常供氮施纯氮量为66.66 mg/kg。所有处理的磷、钾肥用量一致,并按 $P_2O_5$  40 mg/kg、 $K_2O$  33.33 mg/kg施入。肥料配制成溶液(400 mL)在播种前5 d施入土壤,每个处理重复4次,随机排列。播种前选取饱满的种子,用50%多菌灵消毒后堆闷6 h。2008年11月12日播种,每盆播10粒种子,及时补种。于2008年12月11日定苗为8株。分别用吡虫啉和三唑酮对小黑麦生长过程中出现的蚜虫与白粉病进行防治。适时有自来水灌溉,每次每盆均匀浇水500 mL,采用自然光照。

### 1.3 测定项目与方法

于小黑麦成熟期进行采样,脱粒后统计千粒重。将样品磨粉并过0.18 mm筛(聚氨酯筛网),混匀后置于封口袋保存。样品采用 $HNO_3-HClO_4$  ( $V=5:1$ )消煮制备待测液,用MKII M6型原子吸收分光光度计(美国Thermo elemental公司生产)测定铁、锰、铜和锌含量;以 $H_2SO_4-H_2O_2$ 湿灰化法消化样品,用Kjeltec™2300型全自动定氮仪(FOSS公司生产)测定样品中的含氮量。土壤有机质采用重铬酸钾外加热法,全氮采用半微量凯氏定氮法,碱解氮采用碱解扩散法测定,速效磷采用Olsen法浸提—分光光度法测定,速效钾采用 $NH_4COOH$ 浸提—火焰

光度法测定,速效铁、锰、铜、锌采用DTPA浸提—原子吸收分光光度计测定,pH采用电位法测定<sup>[20]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2003和唐启义的DPS数据处理系统进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量、粒重以及子粒含氮量的差异

从表2可看出,不同供氮条件下,小黑麦子粒中铁、锌的含量以正常供氮显著高于低氮条件,其含量分别为低氮条件下的1.10和1.17倍。锰、铜的含量在两种供氮条件下差异不显著,正常供氮条件下其含量分别为低氮条件的0.97和1.03倍。相同供氮条件下,小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量存在显著的品种差异,其含量为6.28 mg/kg~133.56 mg/kg。各小黑麦品种子粒中铁、锰、铜、锌含量在低氮条件下最大值分别为最小值的3.27、3.99、1.87和3.81倍,正常供氮条件为3.28、4.66、2.30和2.77倍,表明不同小黑麦品种其子粒微量元素含量无论在低氮还是在正常供氮条件下均存在显著的差异。就小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量的变异系数而言,其变幅为15.07%~38.69%。低氮条件下其变异系数为正常供氮的1.22、0.91、0.77和1.14倍。这表明供氮条件对各类微量元素含量的影响不一致,低氮条件下小黑麦子粒中铁、锌含量较正常供氮更能体现各品种间的差异;对锰、铜而言,则是正常供氮条件更能体现其品种差异。

表2 不同施氮量下小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量、粒重以及子粒含氮量的差异

Table 2 Cultivar difference of the content of Fe, Mn, Cu, Zn and 1000-grain weight, nitrogen content in triticale grain under different N levels

指标 Index	范围 Range		均值 Mean		方差分析 ANOVA			变异系数 CV (%)	
	-N	+N	-N	+N	Cultivar (C)	N level (N)	C × N	-N	+N
								-N	+N
铁含量 Fe content (mg/kg)	31.64 ~ 130.4	40.70 ~ 133.6	72.49 b	79.69 a	**	**	**	34.12	28.05
锰含量 Mn content (mg/kg)	7.63 ~ 35.52	9.91 ~ 39.51	22.25 a	21.62 a	**	**	**	35.39	38.69
铜含量 Cu content (mg/kg)	6.28 ~ 11.72	6.65 ~ 15.32	8.49 a	8.73 a	**	**	**	15.07	19.59
锌含量 Zn content (mg/kg)	20.44 ~ 77.93	30.18 ~ 83.61	41.92 b	49.38 a	**	**	**	31.11	27.19
千粒重 1000-grain weight (g)	22.43 ~ 58.17	17.37 ~ 61.55	38.70 a	36.89 a	**	**	**	21.54	22.93
子粒含氮量 Grain N content (%)	1.07 ~ 2.10	1.24 ~ 2.47	1.58 b	1.82 a	**	**	**	14.82	17.65

注(Note): 小写字母表示5%水平上差异显著 Means followed by different small letters are significant different at 5% probability levels; \*\*表示1%水平上差异显著 Indicated significant different at 1% level; -N—低氮 Low nitrogen supply; +N—正常供氮 Normal nitrogen supply.

小黑麦粒重在不同供氮条件下差异不显著(表2),子粒含氮量存在显著的差异。粒重表现为低氮条件高于正常供氮,而子粒含氮量却相反。相同供氮条件下,小黑麦粒重与子粒含氮量存在显著的品种差异,其中粒重变异系数为21.54%~22.93%,子粒含氮量变异系数为14.82%~17.65%。

## 2.2 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量对氮素反应的敏感性分类

由表3可知,同一小黑麦品种在不同供氮条件下子粒中铁含量的极差最小为0.02 mg/kg,最大为58.31 mg/kg,变异系数最小为0.02%,最大为54.42%。锰含量的极差最小为0.13 mg/kg,最大为9.53 mg/kg,变异系数最小为0.40%,最大为38.20%。铜含量的极差最小为0.06 mg/kg,最大为5.41 mg/kg,变异系数最小为0.47%,最大为30.32%。锌含量的极差最小为0.24 mg/kg,最大为38.74 mg/kg,变异系数最小为0.37%,最大为42.64%。由此可知,小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量受氮素水平的影响,且其对氮素反应的敏感程度存在品种差异。为比较不同小黑麦品种子粒中铁、锰、铜、锌含量对氮素反应的敏感程度,本研究参照叶全宝等<sup>[21]</sup>关于水稻粒重对氮素反应类型的划分标准,以各小黑麦品种在2种供氮条件下子粒中铁、锰、铜、锌含量的极差和变异系数为指标,对参试的

31份小黑麦品种进行聚类分析,将小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量对氮素反应的敏感性分为钝感型、中间型、敏感型3类(图1,表3)。铁含量对氮素反应为钝感型的小黑麦共计5份,占总数的16.13%;中间型的为18份,占总数的58.06%;敏感型的为8份,为总数的25.81%。锰含量对氮素反应钝感型的小黑麦共计14份,占总数的45.16%;中间型的为12份,占总数的38.71%;敏感型的为5份,为总数的16.13%。铜含量对氮素反应为钝感型的小黑麦共计21份,占总数的67.74%;中间型的为8份,占总数的25.81%;敏感型的为2份,为总数的6.45%。锌含量对氮素反应为钝感型的小黑麦共计13份,占总数的41.94%;中间型的为11份,占总数的35.48%;敏感型的为7份,为总数的22.58%。对氮素反应为钝感的小黑麦,在不同供氮条件下子粒中铁、锰、铜、锌含量维持较高水平且变化相对稳定的品种,其体内微量元素含量变化受环境的影响较小,主要由自身遗传物质控制,可作为遗传改良材料,通过育种或现代分子生物学技术增加小黑麦子粒中微量元素的含量。如钝感型中的23(PI428836)、30(PI542558),在低氮条件下子粒铁含量分别为92.81 mg/kg、109.76 mg/kg,正常供氮为92.79 mg/kg、112.56 mg/kg,变异系数为0.02%、1.78%,极差为0.02 mg/kg、

表3 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量对施氮水平反应的敏感性分类

Table 3 Sensitivity classification of the response of the contents of Fe, Mn, Cu, Zn in *triticale* grain to increasing N levels

元素 Element	类型 Type	极差变幅(mg/kg) Difference range	变异系数变幅(%) Range of CV	品种编号 Cultivars No.
铁 Fe	钝感型 Insensitive type	0.02 ~ 2.80	0.02 ~ 1.98	2, 6, 23, 28, 30
	中间型 Intermediate type	8.13 ~ 30.16	9.29 ~ 24.58	1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 25, 27, 31
	敏感型 Sensitive type	27.36 ~ 58.31	26.23 ~ 54.42	10, 13, 14, 16, 21, 24, 26, 29
锰 Mn	钝感型 Insensitive type	0.13 ~ 3.34	0.40 ~ 10.66	1, 6, 9, 11, 13, 17, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 28, 29
	中间型 Intermediate type	3.12 ~ 7.97	9.59 ~ 27.02	2, 3, 4, 5, 10, 14, 15, 18, 22, 23, 30, 31
	敏感型 Sensitive type	5.65 ~ 9.53	22.03 ~ 38.20	7, 8, 12, 16, 21
铜 Cu	钝感型 Insensitive type	0.06 ~ 0.65	0.47 ~ 5.01	1, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 31
	中间型 Intermediate type	0.74 ~ 1.72	6.57 ~ 13.32	2, 5, 6, 9, 16, 20, 21, 30
	敏感型 Sensitive type	3.12 ~ 5.41	21.25 ~ 30.32	23, 28
锌 Zn	钝感型 Insensitive type	0.24 ~ 4.69	0.37 ~ 7.06	2, 6, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 20, 23, 25, 26, 27
	中间型 Intermediate type	6.08 ~ 10.68	7.66 ~ 18.44	1, 3, 4, 9, 10, 12, 14, 24, 28, 29, 30
	敏感型 Sensitive type	9.74 ~ 38.74	22.72 ~ 42.64	5, 15, 18, 19, 21, 22, 31

注(Notes): 铁、锰、铜、锌含量的极差与变异系数变幅为同一品种小黑麦在不同供氮条件下的值 Range of difference in maximum and minimum and the coefficient of variation in the contents of Fe, Mn, Cu, Zn are the same cultivar *triticale* under different N levels.

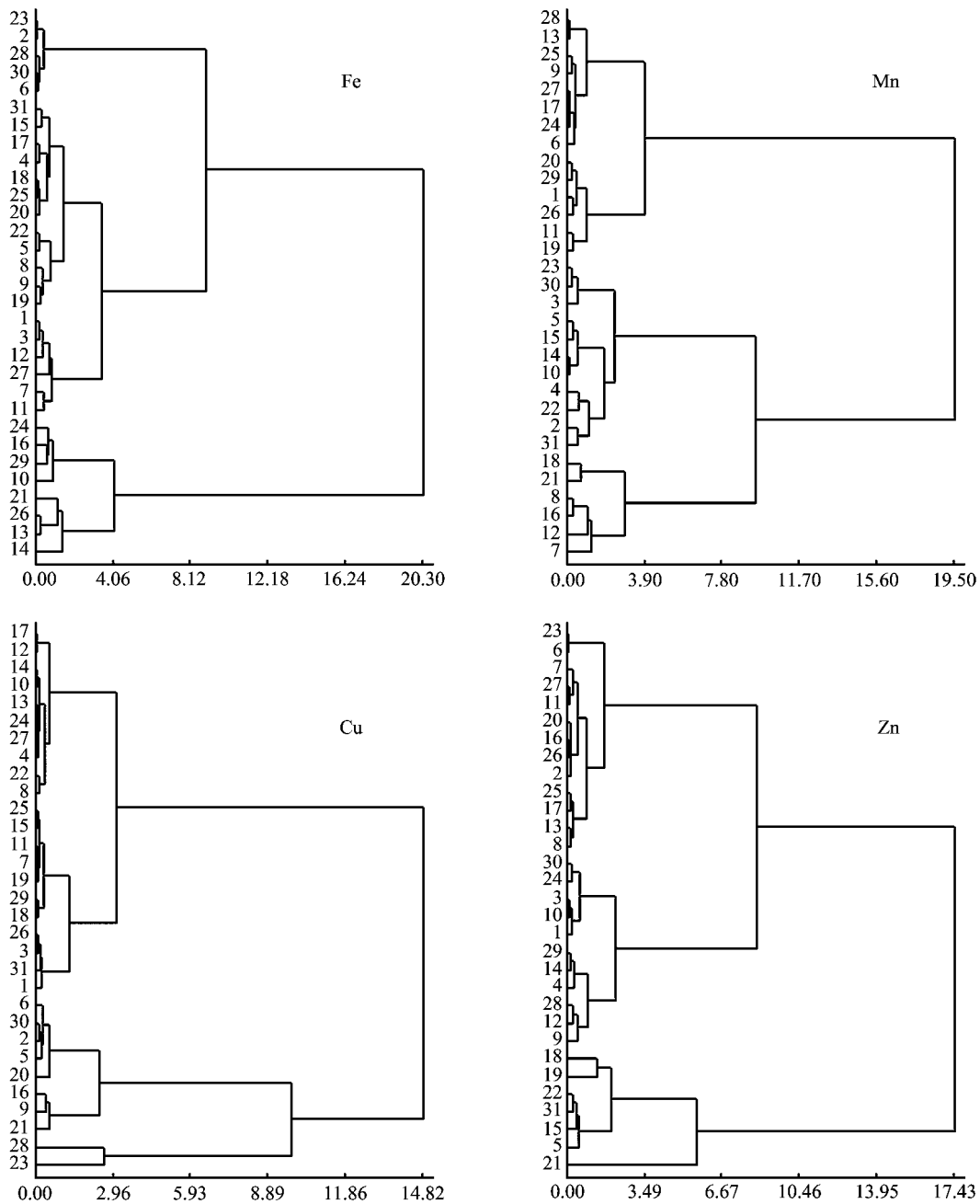


图 1 不同小黑麦品种子粒中 Fe、Mn、Cu、Zn 含量对氮素反应的聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of different *triticale* cultivars according to the response of the contents of Fe, Mn, Cu and Zn in *triticale* grain to nitrogen levels

2.80 mg/kg; 品种 17 (Clxt81)、27 (PI429106) 在低氮条件下子粒锰含量分别为 32.72 mg/kg、36.73 mg/kg, 正常供氮为 31.48 mg/kg、35.52 mg/kg, 变异系数为 2.73%、2.36%, 极差为 1.24 mg/kg、1.21 mg/kg; 品种 13 (Clxt74) 的子粒铜含量在低氮和正常供氮条件下分别为 9.90 mg/kg 和 10.07 mg/kg, 变异系数为 1.20%, 极差为 0.17 mg/kg; 品种 23 (PI428836)、25 (PI428954) 子粒锌含量在低氮条件下分别为 77.93 mg/kg、64.99 mg/kg, 正常供氮为

77.53 mg/kg、69.68 mg/kg, 变异系数为 0.37%、4.93%, 极差为 0.43 mg/kg、4.69 mg/kg。对氮素反应为敏感的小黑麦, 其子粒铁、锰、铜、锌含量随氮肥用量的增加呈上升趋势的品种具有生产运用价值, 能满足高产、富含矿质营养元素小黑麦的生产需求。如敏感类型中的 14 (Clxt75)、21 (PI428795) 在低氮条件下其铁含量分别为 46.62 mg/kg、76.04 mg/kg, 正常供氮为 104.93 mg/kg、133.56 mg/kg, 变异系数为 54.42%、38.81%, 极差为 58.31 mg/kg、57.51

mg/kg; 品种 21 (P1428795) 在低氮和正常供氮条件下其锰含量为 25.81 mg/kg 和 35.34 mg/kg, 变异系数为 22.03%, 极差为 9.53 mg/kg; 品种 23 (P1428836) 在低氮和正常供氮条件下其铜含量为 9.91 mg/kg 和 15.32 mg/kg, 变异系数为 30.32%, 极差为 5.41 mg/kg; 品种 21 (P1428795) 在低氮和正常供氮条件下其锌含量为 44.87 mg/kg 和 83.61 mg/kg, 变异系数为 42.64%, 极差为 38.74 mg/kg。针对同一小黑麦品种, 发现了一个比较有趣的现象, 即品种 6 (PI587233) 同时表现为铁、锰、锌含量对氮素反应均为钝感, 品种 11 (PI587384)、13 (CIxt74)、17 (CIxt81)、25 (PI428954)、26 (PI429106)、27 (PI429106) 同时表现为其子粒锰、铜、锌含量对氮素响应均为钝感型; 品种 21 (P1428795) 子粒铁、锰、锌含量对氮素响应均为敏感型。这表明对参试的部份小黑麦品种而言, 其对氮素供应的响应可同时表现为对多种微量元素均为钝感, 这为通过遗传改良同时提高小黑麦子粒中微量元素含量成为可能; 而对氮素供应的响应均表现为敏感的小黑麦品种, 则可通过氮肥的合理调控, 达到同时富含多种微量元素的优质小黑麦的生产目的。

### 2.3 小黑麦植株铁、锰、铜、锌含量与粒重、子粒含

### 氮量的相关性

由图 2、图 3 可知, 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量与粒重和子粒含氮量呈线性关系。相关分析表明, 小黑麦子粒中铁 ( $r = 0.22$ ,  $df = 60$ )、锰 ( $r = 0.23$ ,  $df = 60$ ) 含量与粒重的相关性不显著; 铜、锌含量则与粒重呈极显著正相关, 其相关系数分别为 0.45、0.44。子粒中铁、锰、铜、锌含量均与含氮量的相关性达到了极显著水平, 其相关系数分别为 0.34、0.55、0.47、0.71。由前文可知, 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量以及各小黑麦品种的粒重、子粒含氮量均受氮肥的调节。因此, 虽然子粒中铁、锰含量与粒重无必然联系, 但其在正常供氮条件下铁、锰含量均显著高于低氮条件, 故可通过施用氮肥提高敏感型小黑麦子粒中铁、锰含量, 为实现富铁、富锰小黑麦的种植提供可能。对小黑麦子粒中铜、锌而言, 其含量与粒重相关性显著, 说明它们与粒重有协同提高的趋势, 对氮素供应响应为敏感型的小黑麦品种, 能在提高产量的同时, 大幅提高铜、锌含量与累积量, 实现富铜、富锌种植。由于小黑麦子粒微量元素含量与其含氮量显著正相关, 因此在提高子粒中微量元素含量的同时, 可达到提高其蛋白质含量的目的。

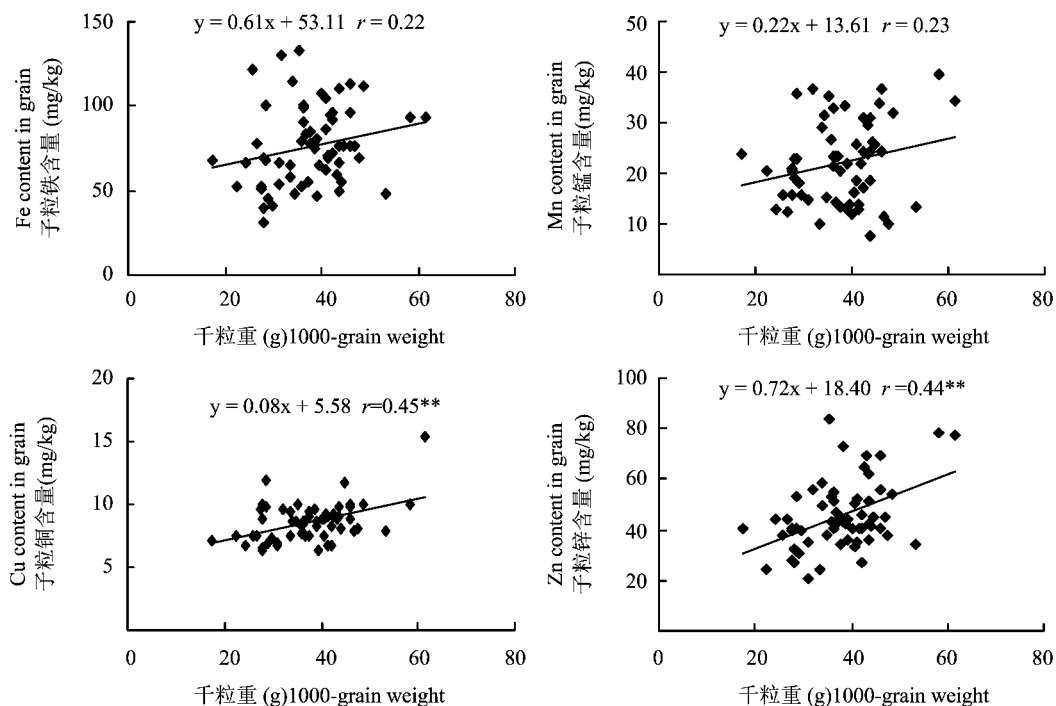


图 2 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量与千粒重的相关性

Fig. 2 Relationships between the content of Fe, Mn, Cu, Zn and 1000-grain weight in triticale grain

[注(Notes): \* 和 \*\* 表示 5% 和 1% 水平上差异显著 Indicated significant different at 5% and 1% levels.]

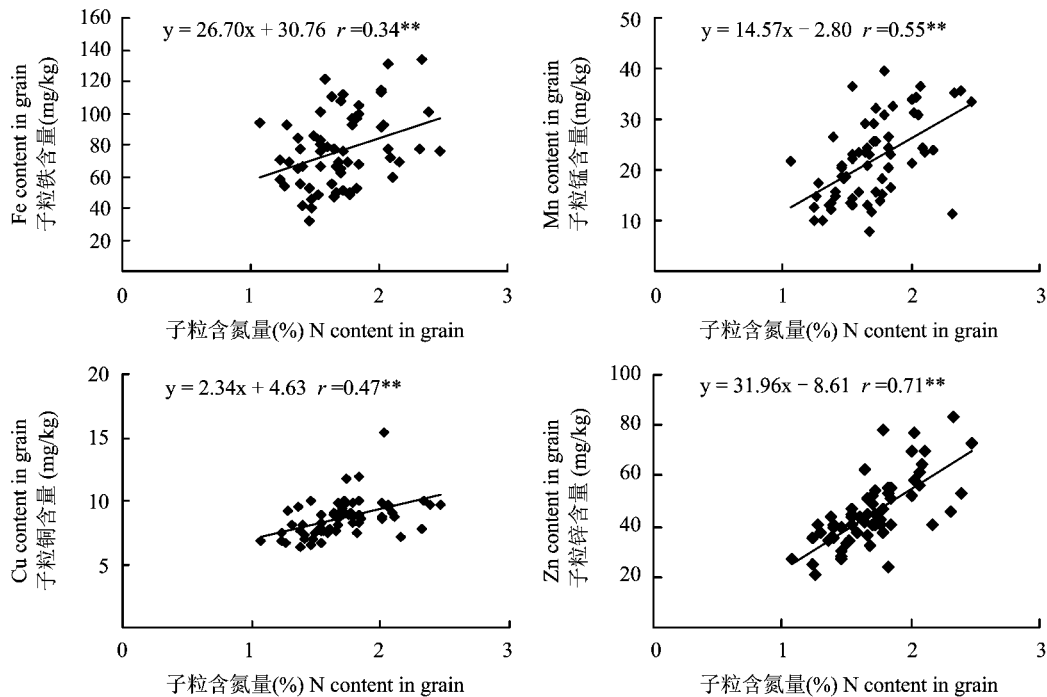


图3 小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量与含氮量的相关性

Fig. 3 Relationships between the content of Fe, Mn, Cu, Zn and nitrogen content in triticale grain

[注(Notes): \* 和 \*\* 表示 5% 和 1% 水平上差异显著 Indicated significant different at 5% and 1% levels.]

### 3 讨论

#### 3.1 提高作物子粒中微量元素含量的途径

谷类粮食作物是人类获取微量矿质元素的一种重要方式,增加主要粮食作物中微量元素的生物有效性是提高其含量的切实办法。目前提高作物中微量元素有效性的方式与策略主要为:施用矿质养分、品种选育、转基因技术<sup>[5]</sup>。虽然施用微肥能够起到增加作物中某些微量元素含量的作用,但它受施肥方式、土壤条件、矿质元素在土壤和植物中的移动性以及其累积部位和卸载能力的影响。如施用锌肥能大幅提高植物中锌的含量,但施用铁肥其效果不明显。这主要是锌在土壤和植物中的移动性强,而二价铁离子在土壤中极易被氧化为三价铁离子,同时在植物韧皮部的运输极为缓慢,可溶性铁肥施用后对子粒中的铁含量几乎没有影响<sup>[4-5]</sup>。已有的研究表明,作物子粒中的铁、锰、铜、锌含量存在显著的品种差异,这为通过获得富含矿质元素的作物品种,进而为实现品种的遗传改良提供可能<sup>[10]</sup>。本文通过对 31 份小黑麦品种在 2 种供氮条件下子粒中铁、锰、铜、锌含量的研究也发现,小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量存在显著的品种差异。这为通过育种或转基因技术来提高小黑麦子粒中微量元素含量提供了可能的途径。

#### 3.2 施用氮肥对小黑麦子粒微量元素含量的影响

除品种自身的遗传因素外,作物的铁、锰、铜、锌含量还受环境及二者互作效应的影响<sup>[3,16-18]</sup>。因此,对小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量的品种与环境互作效应的研究,对于富含微量元素小黑麦品种的选育及合理种植具有重要意义。本研究表明,小黑麦子粒中铁、锰、铜、锌含量对氮素供应的响应表现出多样性。究其原因,一方面可能与氮肥施用影响土壤中铁、锰、铜、锌含量的有效性有关<sup>[22]</sup>,另一方面也与不同小黑麦植物根系和土壤中铁、锰、铜、锌的相互作用及其吸收和它们在韧皮部的运输以及在子粒中的卸载强弱有关<sup>[3]</sup>。按照各小黑麦品种子粒微量元素含量对氮素供应的响应程度可将其划分为钝感型、中间型和敏感型 3 类。对氮素供应表现为钝感的小黑麦,其体内微量矿质元素含量主要受基因的调控,在 2 种供氮条件下铁、锰、铜、锌含量均较高的小黑麦品种,为受环境因素较小的品种,可作为遗传材料。对氮素供应表现为敏感的小黑麦,其体内铁、锰、铜、锌含量随供氮水平的增加而升高的品种,在现代作物重视氮肥施用的大背景下具有广泛的运用价值,它为种植高产优质小黑麦提供了可能的途径。

#### 3.3 粒重、含氮量与微量元素含量的相关性

铁、锰、铜、锌含量与粒重的相关性表明,子粒中

铁、锰含量与粒重不相关,铜、锌含量与其呈显著正相关。这表明,不同微量元素的含量与粒重的相关程度不一致,但仍有可能通过基因与环境的双重调节,实现高产、富含微量元素小黑麦的种植。铁、锰、铜、锌含量与子粒含氮量呈极显著正相关,这与相关研究结论一致<sup>[12]</sup>。由于蛋白质含量为含氮量的6.25倍,因此小黑麦子粒中微量元素含量能与蛋白质含量起到协同提高的作用,这为种植富含微量元素和蛋白质的小黑麦品种提供了可能。

### 参考文献:

- [1] 钟秀倩,钟俊辉. 微量元素与人体健康[J]. 现代预防医学, 2007,34(1): 61-63.  
Zhong X Q, Zhong J H. Micronutrient and human health [J]. Mod. Prev. Medic., 2007, 34(1): 61-63.
- [2] 考希宾,王治伦,高艳. 微量元素锌和人体健康[J]. 中国地方病防治杂志,2007,22(3): 192-194.  
Kao X B, Wang Z L, Gao Y. Micronutrient Zn and human health [J]. Chin. J. Ctrl. Endem. Dis., 2007, 22(3): 192-194.
- [3] Hao H L, Wei Y Z, Yang X E *et al.* Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn concentrations in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa*) [J]. Rice Sci., 2007, 14(4): 289-294.
- [4] 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 [J]. Adv. Agron., 2001, 70: 77-142.
- [5] Zhu C F, Naqvi S, Gomez-Galera S *et al.* Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants [J]. Trends Plant Sci., 2007,12(12): 548-555.
- [6] 曹玉贤,田霄鸿,杨习文,等. 小麦和小黑麦子粒的营养品质及其相关性分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010,38(1): 104-110.  
Cao Y X, Tian X H, Yang X W *et al.* Variation of nutritional quality and their relationships in wheat and triticale grain [J]. J. Northwest Sci-Tech Univ. Agric. For. (Nat. Sci. Ed.), 2010, 38(1): 104-110.
- [7] Pijls L, Ashwell M, Lambert J. EURRECA—A network of excellence to align European micronutrient recommendations [J]. Food Chem., 2009,113: 748-753.
- [8] Gene Y, Humphries J M, Lyons G H *et al.* Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations [J]. J. Trace Elem. Med. Biol., 2005, 18: 319-324.
- [9] 魏海燕,张洪程,戴其根,等. 施氮处理对水稻精米中铁含量的影响及基因型差异[J]. 中国水稻科学,2010,24(1): 55-61.  
Wei H Y, Zhang H C, Dai Q G *et al.* Effect of nitrogen level on iron content in milled rice and its genotypic difference [J]. Chin. J. Rice Sci., 2010, 24(1): 55-61.
- [10] Mayer J E, Pfeiffer W H, Beyer P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition [J]. Curr. Opin. Plant Biol., 2008, 11: 166-170.
- [11] Meenakshi J V, Johnson N L, Manyong V M *et al.* How cost-effective is biofortification in combating micronutrient malnutrition? An ex ante assessment [J]. World Devel., 2010, 38(1): 64-75.
- [12] Zhao F J, Su Y H, Dunham S J *et al.* Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin [J]. J. Cereal Sci., 2009, 49: 290-295.
- [13] Šimić D, Sudar R, Ledenčan T *et al.* Genetic variation of bioavailable iron and zinc in grain of a maize population [J]. J. Cereal Sci., 2009, 50: 392-397.
- [14] 郝志,田纪春,姜小冬. 小麦主要亲缘种子粒的 Fe、Zn、Cu、Mn 含量及其聚类分析 [J]. 作物学报,2007,33(11): 1834-1839.  
Hao Z, Tian J C, Jiang X L. 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*) [J]. Acta Agron. Sin., 2007, 33(11): 1834-1839.
- [15] 钱晓晴,王娟娟,周明耀,等. 不同水、氮供应条件下水稻锰素营养状况研究[J]. 作物学报,2006,32(11): 1689-1694.  
Qian X Q, Wang J J, Zhou M Y *et al.* Characteristics of manganese nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) cultivated under different water and nitrogen management conditions [J]. Acta Agron. Sin., 2006, 32(11): 1689-1694.
- [16] Shi R L, Zhang Y Q, Chen X P *et al.* Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. J. Cereal Sci., 2010, 51: 165-170.
- [17] Joshi A K, Crossa J, Arun B *et al.* Genotype × environment interaction for zinc and iron concentration of wheat grain in eastern Gangetic plains of India [J]. Field Crops Res., 2010, 116: 268-277.
- [18] Thavarajah D, Thavarajsh P, See C T, Vandenberg A. Physic acid and Fe and Zn concentration in lentil (*Lens culinaris* L.) seeds is influenced by temperature during seed filling period [J]. Food Chem., 2010, 122: 254-259.
- [19] 吴艳. 值得大面积推广的优质粮饲兼用作物—小黑麦[J]. 种子,2004,23(1): 74-76.  
Wu Y. The worth of large area extended food and fodder dual-purpose crop-triticale [J]. Seed, 2004, 23(1): 74-76.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社,2000,146-315.  
Lu R K. Analytical methods of soil and agricultural chemistry [J]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. 146-315.
- [21] 叶全宝,张洪程,夏科,等. 水稻粒重对氮素反应的基因型差异及其类型[J]. 作物学报,2005,31(8): 1021-1028.  
Ye Q B, Zhang H C, Xia K *et al.* Genotypic difference and the classification in response of grain weight to nitrogen in rice [J]. Acta Agron. Sin., 2005, 31(8): 1021-1028.
- [22] 张淑香,王小彬,金柯,等. 干旱条件下氮、磷水平对土壤锌、铜、锰、铁有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(4): 391-396  
Zhang S X, Wang X B, Jin K *et al.* Effect of different N and P levels on availability of zinc, copper, manganese and iron under arid conditions [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(4): 391-396.