

不同基因型小麦籽粒铁含量的差异 及其与农艺性状的关系

赵俊霞^{1,2,3}, 乔鲜花^{1,2}, 张萍萍^{1,2}, 陈建梅⁴, 高亚军^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 陕西省咸阳市环境监测站, 陕西 咸阳 712000; 4. 陕西省凤翔县园艺站, 陕西 凤翔 721400)

摘 要: 为了揭示不同基因型小麦籽粒铁含量差异的机理, 采用土培方法, 对北方 35 种不同基因型小麦进行籽粒含铁量筛选, 并分析比较其农艺性状的差异以及籽粒铁含量与主要农艺性状的相关性。结果表明: 35 个不同基因型小麦籽粒铁含量存在明显的基因型差异, 变化范围为 30.5 ~ 43.4 mg/kg(施铁)和 22.6 ~ 40.9 mg/kg(不施铁)。土施和叶面喷施铁肥有提高小麦籽粒铁含量的趋势。籽粒高铁基因型与低铁基因型之间在产量、生物量及其他农艺性状方面存在一定差异, 并是否与是否施铁有关: 施铁时, 高铁基因型小麦籽粒产量呈低于低铁基因型的趋势; 与此吻合的是, 高铁基因型小麦的穗粒数和千粒重也低于低铁基因型, 其中千粒重的差异达到显著水平; 分蘖数和株高有类似的规律。小麦籽粒铁含量与籽粒产量、茎叶干重、颖壳干重、收获指数和穗粒数均没有明显相关性, 而与千粒重呈显著或极显著负相关。小麦籽粒铁累积量与茎叶干重、颖壳干重、穗粒数达到极显著或显著正相关, 与穗粒重和千粒重没有明显相关性。

关键词: 小麦; 基因型; 籽粒; 铁; 农艺性状

中图分类号: S512.1; S143.7*2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2010)03-0114-05

据 WHO 资料统计, 全世界有近 37 亿的人遭受铁营养缺乏的困扰^[1]。植物产品是人体摄取铁营养的主要渠道之一, 增加农产品可食部位铁的含量及有效性是缓解人类铁营养缺乏最经济有效的方法。筛选高效累积铁素的作物基因型, 揭示作物铁累积的机制, 通过遗传方法改良作物铁营养性状是实现这一目标的基础。

许多研究表明, 谷物籽粒中铁的浓度存在很大的基因型差异^[2,3], 表明籽粒铁含量主要是由遗传特性决定的。然而, 不少研究发现, 小麦籽粒铁含量同时也受环境条件下的影响。吴兆明^[4]分析了不同小麦品种籽粒中微量元素含量的差异, 认为其差异是在不同土壤环境中长期适应形成的基因型特性。宋奇超对 25 份籽粒铁含量较高的小麦材料在我国 7 个不同小麦产区种植时的情况进行了研究, 结果表明, 小麦籽粒中铁含量在不同地区表现出一定的差异^[5], 说明环境条件会对小麦籽粒的铁含量造成影响。小麦籽粒 Fe 含量表现出的环境效应意味着可通过环境条件的改善提高小麦籽粒铁含量, 比如, 施用铁肥等。一般认为, 土壤施肥措施很难提高禾谷类作物籽粒中铁的浓度, 可能主要原因是铁肥施

入土壤后, 其有效性大大降低以及铁在韧皮部的移动性差等^[2,6,7]。通过叶面施肥对提高籽粒中微量元素含量可能性的报道较少。那么, 不同基因型小麦籽粒铁含量有无显著差异? 施用铁肥对小麦籽粒铁含量到底有没有效果? 不同基因型铁含量对施铁肥的反应是否一致? 籽粒铁含量与小麦农艺性状有何关系? 本研究以 35 个具有不同遗传背景的小麦材料为对象, 对这些问题做了初步探索, 以为选育籽粒铁高效基因型小麦、揭示其高效累积铁的机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2007 年 12 月至 2008 年 6 月在西北农林科技大学农作一站的玻璃温室内进行。盆栽供试土为红油土, 该土壤的养分含量均比较低, 其中 pH 7.65, 有机质 7.48 g/kg, 碱解氮 21.4 mg/kg, 速效磷 7.55 mg/kg, 速效钾 73.10 mg/kg, 有效铁 7.41 mg/kg。

供试小麦的基因型共有 35 个。种子分别由西北农林科技大学张正茂教授和闽东红副研究员提

收稿日期: 2009-11-27

基金项目: 教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-08-0465); 国家现代农业产业技术体系建设专项; 西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”项目

作者简介: 赵俊霞(1980—), 女, 山西运城人, 硕士生, 研究方向为植物营养与环境。E-mail: zhaomaomao1980@163.com。

* 通讯作者: 高亚军(1968—), 男, 教授, 博士, 研究方向为植物营养与环境。E-mail: yajungao@nwsuaf.edu.cn。

供。

1.2 试验方案

本研究包括小麦基因型和铁肥处理 2 个因素。小麦基因型共有 35 个,其中具有明确不同遗传背景的共有 18 个,包括黑麦系列的秦黑 4 号和小黑麦 33-29-6-1-4,华山新麦草系列的 M1258、H9511、D9401 和 V9846,小偃系列的小偃 22、小偃 6 号和小偃 503,冰草系列的普冰 151、普冰 202 和普冰 143-9,簇毛麦系列的 N9628,蓝粒系列的蓝粒 4 号和中 × 加 34-2-7-2,西农系列的西农 9871、西农 889 和西农 979;其他 17 个品种均为我国北方地区目前广泛推广的常规品种,包括中优 9507、烟农 21、陕 229、豫麦 34、邯鄹 6172、新麦 19、济南 17、偃展 4110、宁春 4 号、徐麦 270、烟农 2801、周麦 19、荔垦 2 号、秦农 142、烟农 19、豫麦 18 和新麦 18。铁肥处理设不施铁肥和施铁肥(土施 FeSO_4 0.25g/kg,在小麦开花期期喷施硫酸亚铁,浓度为 0.01%,每周喷施 1 次,连续喷 2 周)两个水平。完全组合,共 70 个处理,重复 3 次。

试验每盆用 10 kg 风干土,以氮、磷、钾为底肥,用量分别是 N 0.15 g/kg, P_2O_5 0.10 g/kg, K_2O 0.30 g/kg,在装盆时直接混匀施入。每盆定植小麦 20 株。

1.3 测定项目及方法

在小麦苗期获取分蘖数;在苗期、拔节期、成熟后采小麦地上部样品,并将茎叶、颖壳、籽粒分开称干重;成熟后称量小麦的产量、千粒重,数穗粒数,计算收获指数。植物样品铁含量采用干灰化—原子吸收法测定。

数据用 EXELE 和 DPS 软件做统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同基因型小麦籽粒含铁量的差异

35 个基因型小麦籽粒铁含量见表 1。结果表明,施铁条件下,35 个基因型小麦籽粒铁含量为 30.5 ~ 43.4 mg/kg,平均 36.4 mg/kg,变异系数 8.79%,最高值是最低值的 1.42 倍,差异达到显著水平;不施铁肥条件下,小麦籽粒铁含量为 22.6 ~ 40.9 mg/kg,平均 32.6 mg/kg,变异系数 13.61%,最高值是最低值的 1.81 倍,差异达到显著水平。施用铁肥有提高小麦籽粒铁含量的趋势。

在 35 个基因型籽粒铁含量排序中,最高的 5 个材料之间铁含量的差异不显著,最低的 5 个材料亦然;同时,由于本研究只在土培条件下进行了初步筛选,为了避免由于偶然因素造成的误判,我们以铁含量最高的 5 个基因型作为高铁基因型,以铁含量最

低的 5 个基因型为高铁基因型。在后面的结果分析中,将相应的 5 个基因型的指标平均值用来比较。需要指出的是,施铁与不施铁时籽粒铁含量最高的 5 个基因型并不相同,最低的 5 个基因型也不完全相同,因而,后面的结果分析中,高铁基因型和高铁基因型都分为施铁与不施铁两种情况。

表 1 不同基因型小麦籽粒铁含量(mg/kg)
Table 1 Fe content in seeds of 35 genotypes of wheat

施铁处理 Fe fertilizer treatment		不施铁处理 No Fe fertilizer treatment	
基因型编号 Genotype No.	平均值 Average	基因型编号 Genotype No.	平均值 Average
19	43.4 a	21	40.9 a
35	42.9 a	27	39.6 a
18	42.0 a	31	39.3 a
5	41.3 a	24	37.9 a
11	40.4 a	25	37.3 a
31	40.0 a	17	37.0 a
22	39.9 a	18	36.8 a
30	39.7 a	20	36.8 a
17	38.3 a	19	35.7 a
32	38.1 a	23	35.4 a
12	37.4 ab	14	35.2 a
23	36.9 ab	33	35.1 a
4	36.8 ab	26	33.9 ab
10	36.6 ab	4	33.8 ab
8	36.6 ab	3	33.5 ab
21	36.1 ab	35	33.4 ab
34	35.7 ab	11	33.3 ab
9	35.6 ab	32	32.7 ab
3	35.6 ab	5	32.5 ab
6	35.6 ab	28	32.0 ab
24	35.5 ab	12	31.9 ab
20	35.4 ab	2	31.5 ab
13	35.3 ab	22	30.8 ab
29	35.2 ab	9	30.7 ab
25	34.8 ab	29	30.7 ab
26	34.2 ab	30	30.5 ab
27	34.1 ab	1	29.9 ab
1	33.7 ab	13	29.3 ab
28	33.6 ab	10	29.0 ab
16	33.4 ab	8	27.9 b
15	33.2 ab	15	27.7 b
14	33.1 ab	34	26.7 b
7	32.3 b	7	26.0 b
2	31.2 b	16	23.0 b
33	30.5 b	6	22.6 b
平均值 Average	36.4	平均值 Average	32.6
标准差 Standard deviation	3.2	标准差 Standard deviation	4.4
变异系数 CV(%)	8.79	变异系数 CV(%)	13.61

注:同一列数据中具有相同字母的表示差异不显著,5%,邓肯法。

Note: The same letters following the data in the same column mean insignificant difference at $P < 0.05$ level.

2.2 不同铁含量基因型小麦生物量和收获指数的差异

施铁时,高铁基因型小麦籽粒产量、茎叶干重均呈低于低铁基因型的趋势,颖壳干重差异不大;不施铁时,高铁基因型与低铁基因型的小麦籽粒产量、茎叶和颖壳干重均没有显著差异。施铁有增加低铁基因型籽粒产量和茎叶干重的趋势,但对高铁基因型各器官的生物量没有显著影响(图 1)。

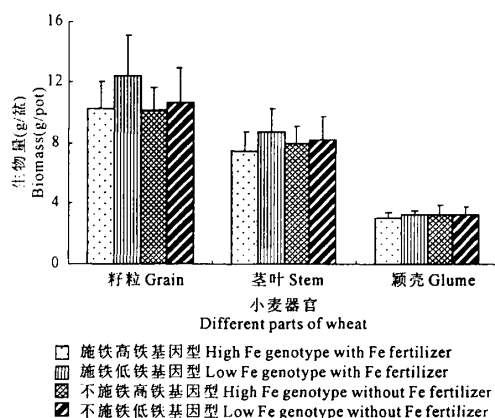


图 1 不同基因型小麦地上部各器官生物量的差异

Fig.1 Biomass differences between high Fe genotypes and low Fe genotypes

不论施铁与否,高铁基因型与低铁基因型小麦地上部各器官占地上总生物量的比例差异不显著。无论高铁基因型还是低铁基因型,施铁处理的籽粒产量占地上部总生物量的比例均略高于不施铁处理(图 2)。

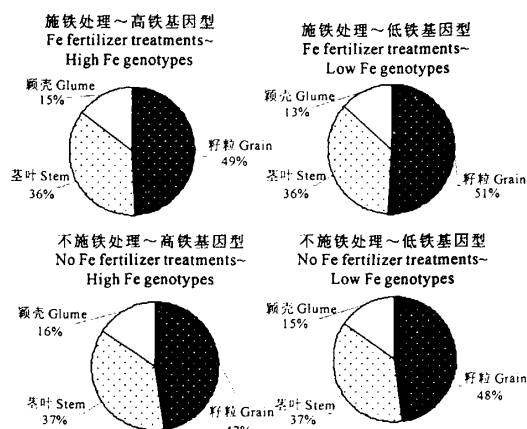


图 2 不同基因型小麦地上部各器官生物量占地上部总生物量的比例

Fig.2 Ratio of different parts of biomass to the whole overground biomass between high Fe genotypes and low Fe genotypes of wheat

施铁与不施铁条件下,高铁基因型小麦的收获指数均与低铁基因型没有显著差异。施铁有增加低铁基因型收获指数的趋势(图 3)。

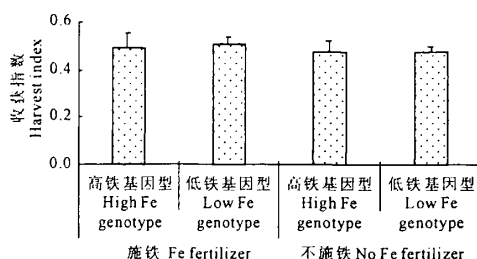


图 3 不同基因型小麦收获指数的差异

Fig.3 Harvest index differences between high Fe genotype and low Fe genotype

2.3 不同铁含量基因型小麦分蘖数、株高、穗粒数、千粒重、穗粒重的差异

不论施铁与不施铁,高铁基因型小麦的冬前分蘖数均低于低铁基因型。施铁时,高铁基因型和低铁基因型小麦的冬前分蘖数均有高于不施铁处理的趋势。春季分蘖数的差异与冬前分蘖数完全一致(图 4)。

施铁时,高铁基因型小麦的株高显著低于低铁基因型;不施铁时,两者的株高相差甚微。高铁基因型施铁处理的株高稍低于不施铁处理,施铁对低铁基因型小麦的株高没有显著影响(图 5)。

施铁时,高铁基因型小麦的穗粒数低于低铁基因型;不施铁时,高铁基因型小麦的穗粒数则有高于低铁基因型的趋势。施铁对高铁基因型小麦的穗粒数影响不显著;低铁基因型小麦的穗粒数施铁时稍高于不施铁(图 5)。

在施铁和不施铁时,高铁基因型小麦的千粒重均显著低于低铁基因型。高铁基因型和低铁基因型施铁处理的小麦千粒重均有低于不施铁处理的趋势(图 5)。

高铁基因型的穗粒重在施铁和不施铁处理下均显著低于低铁基因型,同一基因型小麦施铁处理和不施铁处理没有差异(图 5)。

2.4 不同基因型小麦籽粒铁含量与农艺性状的相关性

从表 2 可以看出,不论施铁与否,小麦籽粒的铁含量与籽粒产量、茎叶干重、颖壳干重、收获指数和穗粒数均没有明显相关性,而与千粒重呈显著或极显著负相关,与穗粒重的负相关关系只有在施铁肥时达到极显著水平,不施铁时未达到显著水平。

表 2 的数据还表明,小麦籽粒铁累积量与茎叶

干重、颖壳干重、穗粒数达到极显著或显著正相关， 与穗粒重和千粒重没有明显相关性。

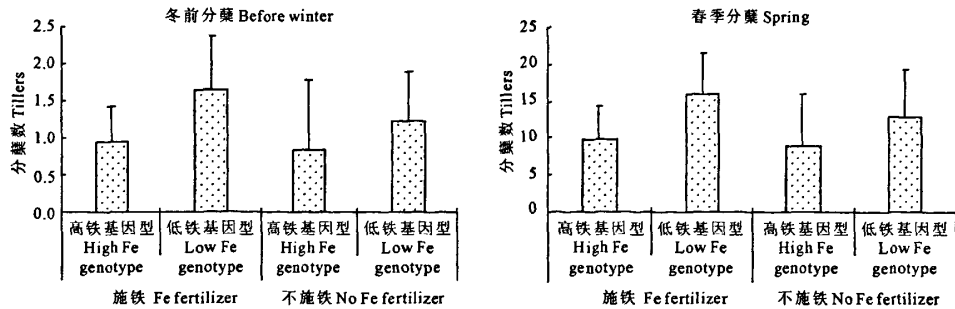


图 4 不同基因型小麦分蘖数的差异

Fig.4 Tiller differences between high Fe genotype and low Fe genotype

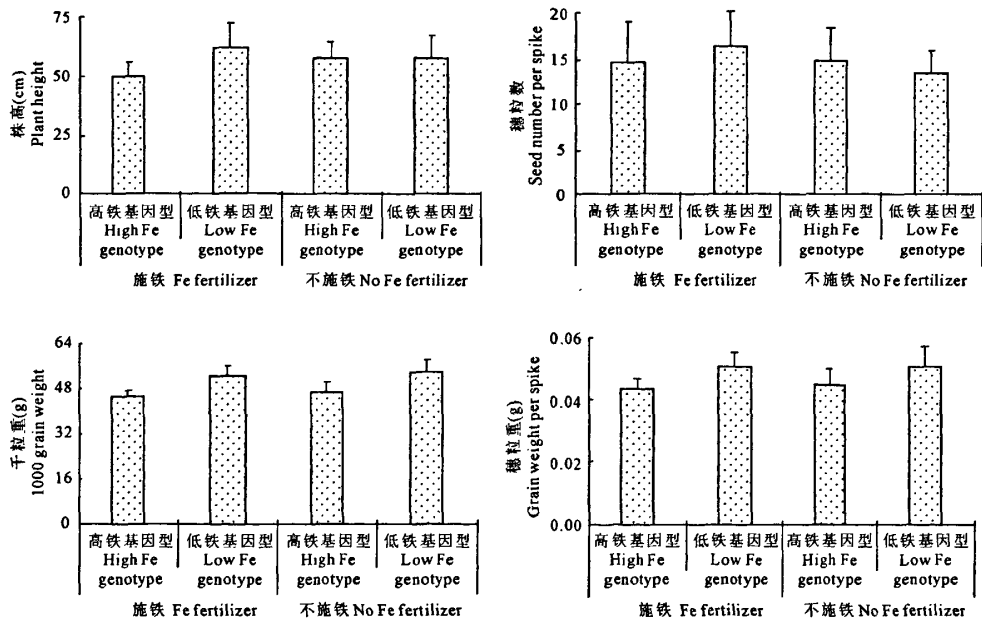


图 5 不同基因型小麦株高、穗粒数、千粒重和穗粒重的差异

Fig.5 Differences of plant height, seed number per spike, 1000-grain weight and grain weight per spike between high Fe genotype and low Fe genotype

表 2 小麦籽粒含铁量、籽粒铁累积量与农艺性状之间的相关系数

Table 2 The correlation of Fe content and accumulation in seed to agronomic characters of wheat

处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield	茎叶干重 Stem biomass	颖壳干重 Glume biomass	收获指数 Harvest index	穗粒数 Seed number per spike	穗粒重 Grain weight per spike	千粒重 1000-grain weight
籽粒铁含量与农艺性状的相关系数 The correlation of Fe content in seed to agronomic characters							
施铁 Fe fertilizer	-0.193	-0.312	-0.017	-0.019	0.013	-0.452**	-0.476**
不施铁 No Fe fertilizer	0.030	-0.132	-0.050	0.163	0.111	-0.314	-0.372*
籽粒铁累积量与农艺性状的相关系数 The correlation of Fe accumulation in seed to agronomic characters							
施铁 Fe fertilizer	—	0.585**	0.606**	0.364*	0.582**	0.033	0.007
不施铁 No Fe fertilizer	—	0.514**	0.423*	0.394*	0.644**	-0.142	-0.252

注: $r_{(0.05)} = 0.325 \sim 0.349$, $r_{(0.01)} = 0.418 \sim 0.449$, $n = 35$; * 表示相关性达到显著水平(5%), ** 表示相关性达到极显著水平(1%)。

Note: $r_{(0.05)} = 0.325 \sim 0.349$, $r_{(0.01)} = 0.418 \sim 0.449$, $n = 35$; * indicates significant difference at $P < 0.05$; ** indicates significant difference at $P < 0.01$.

3 讨论与结论

Peterson 等对来自 24 个国家, 6 个地区的 27 个小麦品种进行分析, 结果表明小麦中铁浓度存在很大差异, 最低为 26 mg/kg, 最高为 69 mg/kg^[8]。我国研究者宋奇超将 263 份小麦材料种植于河南省安阳, 测定结果表明, 小麦籽粒铁浓度范围为 32.7 ~ 59.1 mg/kg^[5]。本研究测定了北方 35 个不同基因型小麦, 也发现小麦籽粒铁含量存在明显的基因型差异, 变化范围为 30.52 ~ 43.36 mg/kg (施铁) 和 22.57 ~ 40.86 mg/kg (不施铁), 表明这些基因型具有不同的铁累积遗传特性。小麦籽粒铁含量的基因型差异为通过遗传育种提高农产品铁含量提供了可能。

Gupta 曾报道, 叶面喷施未能增加籽粒中铁含量^[6]。Zuo 等发现, 花生-玉米间作可以改善花生铁营养状况, 提高其铁含量, 但是提高幅度非常有限^[9]。本研究有类似的结果: 土施和叶面喷施结合有提高小麦籽粒铁含量的趋势。然而, 不同基因型对铁肥的反应存在差异, 共有四种类型: 有些基因型在不施铁肥时籽粒铁含量较高, 施铁肥后籽粒铁含量仍然较高 (比如 17、18、19 和 31 号); 有些基因型不施铁肥时籽粒铁含量较低, 施铁肥后籽粒铁含量仍然较低 (比如 1、7、15 和 16 号); 有些基因型不施铁肥时籽粒铁含量较高, 施铁肥后籽粒铁含量反而偏低 (比如 27 号); 另一些基因型不施铁肥时籽粒铁含量较低, 施铁肥后籽粒铁含量却较高 (比如 30 号)。其中第一种类型和第三种类型是筛选高铁基因型的候选者, 对高铁小麦育种有重要意义。不同基因型对铁肥的不同响应意味着其吸收利用铁素的机制可能有差异, 这一点有待深入研究。另外, 叶面喷施在小麦的哪个生育阶段效果最好也需要进一步探索。

如果在提高小麦籽粒铁含量的同时还能增加产量, 这将具有更重要的意义。然而, 到目前为止有不同的报道。张祝新^[10]等在对不同类型土壤上种植的不同作物进行喷铁实验后, 发现所有的作物均有增产。但在墨西哥一个四十年来一直用作育种的小麦田上发现, 小麦产量增加了两倍, 但铁的含量并没

有明显的变化^[3]。本研究结果指出, 小麦籽粒中的铁含量与小麦产量之间的负相关性 (施铁处理) 虽然没有达到显著水平, 但是, 施铁时, 高铁基因型小麦籽粒产量呈低于高铁基因型的趋势。与此吻合的是, 高铁基因型小麦的穗粒数和千粒重也低于高铁基因型, 其中千粒重的差异达到显著水平; 分蘖数和株高有类似的规律。也就是说, 小麦籽粒高铁含量与高产似乎无法取得一致。不过, 籽粒铁累积量与小麦穗粒数有极显著的正相关关系, 这意味着在籽粒高铁基因型筛选时, 穗粒数将是个有用的指标。

致谢: 西北农林科技大学张正茂教授和闫东红副研究员为本研究提供小麦基因型的种子, 并对本研究的方案设计及实施提出了很多建设性的意见, 在此深表感谢。

参考文献:

- [1] Cakmak L. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways[J]. *Plant and Soil*, 2002, 247: 3—14.
- [2] Graham R D, Senadhir 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.
- [3] 吴兆明, 王玉琦, 孙景信. 不同品系小麦和小黑麦种子中金属元素含量的比较研究[J]. *作物学报*, 1996, 22(5): 565—567.
- [4] 宋奇超. 籽粒高铁锌小麦品系的筛选及环境影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [5] Gupta U C. Iron status of crops in prince edward island and effect of soil pH on plant iron concentration[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1991, 71: 197—202.
- [6] Frossard E, Bucher M, Machler F, et al. Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80: 861—879.
- [7] Peterson C J, Johnson V A, Matern P J. Influence of cultivar and environment on mineral[J]. *Cereal Chemists*, 1986, 63(3): 13—18.
- [8] Zuo Y M, Cao Y P, Li X L, et al. Studies on the improvement iron nutrition of peanut intercropping with maize on a calcareous soil[J]. *Plant and Soil*, 2000, 220(1/2): 13—25.
- [9] 王雪艳, 左晓旭, 舒小丽, 等. 富铁水稻研究进展[J]. *核农学报*, 2005, 19(5): 404—408.
- [10] 张祝新, 杨凯艳, 王平, 等. 旱作黄潮土中铁元素的有效性研究[J]. *土壤肥料*, 2001, (5): 27—30.

(英文摘要下转第 128 页)

Chugoku National Agriculture Experiment Station Fukuyama, Japan.
1990, Volume IV:14—19.

- [29] Glendinning M J, Powlson D S. 130 years of inorganic nitrogen fertilizer application to the broadbalk wheat experiment: The effect on soil

organic matter[C]// Society of Soil Science Transactions 14th International Congress of Soil Science. Kyoto, Japan: Chugoku National Agriculture Experiment Station Fukuyama, Japan. 1990, Volume IV: 9—13.

Effects of different fertilization systems on crop yield and soil P and K fertility

YU Wan-tai, MA Qiang, ZHOU Hua

(Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, Liaoning 110016, China)

Abstract: A study on crop yield and soil P and K fertility was conducted based on a consecutive 19-year field trial in different fertilization systems. The result indicated that N treatment had a significant yield-increasing effect on maize. Soybean yield increased with the application of K fertilizer, while the application of P fertilizer could not increase soybean yield significantly. The application of recycled manure increased soybean seeds and maize grain yields to a certain degree. Combined application of NPK and recycled manure could not only increase significantly but also stabilize crop yield. In the treatments without phosphorous fertilizer, the available P content decreased rapidly in the first several years, then the rate of decrease slowed over time. In the treatments with phosphorous, the soil available P content increased significantly. The concentration of soil available K and slow-release K decreased significantly without K fertilizer application, and the concentration of soil available K and slow-release K maintained the initial value in NPK treatment. The application of recycled manure and NPK fertilizer increased significantly the concentration of soil available K, while the increment of slow-release K was not significant.

Keywords: application of fertilizer; soil fertility; yield

(上接第 118 页)

Difference of Fe content of wheat seed between high-Fe genotypes and low-Fe ones and its relation to agronomic characteristics

ZHAO Jun-xia^{1,2,3}, QIAO Xian-hua^{1,2}, ZHANG Ping-ping^{1,2}, CHEN Jian-mei⁴, GAO Ya-jun^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Key Lab for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Shaanxi Xianyang Institute of Environment Sciences, Xianyang,

Shaanxi 712000, China; 4. Shaanxi Fengxiang Horticulture Station, Fengxiang, Shaanxi 721400, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to screen Fe content in wheat seeds among 35 genotypes and to investigate the difference of agronomic characteristics of various genotypes and the relationship between economic characteristics and Fe content of wheat seed. The results showed that significant difference of Fe content in wheat seeds was found among 35 genotypes, ranging from 30.5 mg/kg to 43.4 mg/kg (Fe fertilizer treatments) and 22.6 mg/kg to 40.9 mg/kg (No Fe fertilizer treatments). Fe fertilizer treatment trended to increase Fe content. There were differences between high-Fe enotypes and low-Fe genotypes in yield, biomass and other agronomic characteristics. These differences depended on Fe fertilizer. When Fe fertilizer was applied, less wheat yield of high-Fe genotype was found, compared to low-Fe genotypes. High-Fe genotypes also had less grain number per spike, 1000-grain-weight, plant height and tillers, compared to low-Fe genotypes. There was no remarkable correlation between wheat seed Fe content and yield, stem biomass, glume biomass, harvest index and grain number per spike while there was significant negative correlation between wheat seed Fe content and 1000-grain-weight. Fe accumulated in wheat seeds had significant positive correlation to stem biomass, glume biomass and grain number per spike, but no correlation to 1000-grain-weight.

Keywords: wheat; genotype; seed; Fe; agronomic characteristics