

石灰性土壤上大豆耐低铁品种的鉴定指标研究

张伟¹,赵婧¹,邱强¹,韩喜国²,张伟龙¹,徐长洪²,闫晓艳¹,赵丽梅¹

(1. 吉林省农业科学院 大豆研究所/大豆国家工程研究中心,吉林 长春 130033; 2. 吉林省农业科学院 洮南试验站,吉林 洮南 137100)

摘要:采用盆栽试验,研究了45个不同铁效率品种生育期间新叶的叶绿素含量变化及收获后株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量、百粒重、籽粒铁含量,以总结石灰性土壤上不同铁效率大豆品种叶片的黄化规律,确定不同铁效率大豆品种的鉴定指标。结果表明:根据叶片黄化规律,可将品种分为1级、2级、3级、4级。V2~V4期不同品种新叶平均叶绿素含量1级>2级>3级>4级,差异达极显著水平;至R1时期,2级品种新叶已经复绿,而4级品种的植株已全部死亡;R1~R6期,1级与2级品种新叶平均叶绿素含量差异不显著,但2级>3级>4级,差异达极显著水平。不同铁效率类型品种平均株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量均存在显著差异,1级、2级品种平均百粒重、籽粒Fe含量差异不显著;2级、3级、4级品种以上各性状平均值均达极显著差异。说明苗期为大豆叶片缺铁黄化的敏感时期,可将苗期和生殖生长期的叶绿素含量共同作为大豆铁效率鉴定指标,株高、单株荚重、单株粒重和单株生物量可作辅助鉴定指标。

关键词:石灰性土壤;大豆;铁效率;铁高效;缺铁黄化

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2016.05.0760

Research on Identification Indexes of Fe-efficient Soybean Varieties in Calcareous Soil

ZHANG Wei¹, ZHAO Jing¹, QIU Qiang¹, HAN Xi-guo², ZHANG Wei-long¹, XU Chang-hong¹, YAN Xiao-yan¹, ZHAO Li-mei¹

(1. Soybean Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences/National Engineering Research Center of Soybean, Changchun 130033, China; 2. Taonan Experimental Station, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Taonan 137100, China)

Abstract: In the pot experiments, 45 soybean varieties with different Fe efficiency were used as materials, then young leaf chlorophyll content during growth period, and plant height, pods weight per plant, grain weight per plant, biomass per plant, 100-seed weight, Fe concentration in grain after harvest were determined, for summarizing leaf yellowing rules for soybean varieties with different Fe efficiencies, and confirming appraisal indicators for Fe efficiency of soybean varieties. The results showed that, according to leaf chlorosis rules, these varieties were divided into four levels, including efficient, more efficient, more sensitive and sensitive. The average chlorophyll content of their young leaves from V2 to V4 stage were efficient > higher efficient > more sensitive > sensitive, with significant difference; until R1 stage, young leaf of more efficient variety had recovered green, while all sensitive varieties had been dead; during R1 – R6 stages, there was no significant difference between efficient variety and more efficient variety, but more efficient > more sensitive > sensitive, the difference among them were very significant. The difference of plant height, pods weight per plant, grain weight per plant and biomass per plant among soybean varieties with different Fe efficiency were significant, 100-seed weight, Fe concentration in grain among efficient and more efficient varieties were not significant; all traits above among more efficient, more sensitive and sensitive varieties were very significant. These results indicated that seedling stage is sensitive stage of leaf iron deficiency chlorosis, chlorophyll contents at seedling stage and reproductive stage are together taken as identification indexes of Fe-efficient soybean varieties, plant height, pods weight per plant, grain weight per plant and biomass per plant are taken as complementary identification indexes.

Keywords: Calcareous soil; Soybean; Fe efficiency; Fe-efficient; Iron deficiency chlorosis

我国石灰性土壤分布很广,约占耕地面积一半左右^[1],石灰性土壤作物缺铁黄化是限制其高产稳产的主要因素^[2-3]。造成作物缺铁黄化的原因是土壤中铁的有效性低或作物对铁的利用效率较低所致^[4]。根据作物对铁吸收机制研究,可将作物分为两大类,机理I为双子叶作物和非禾本科单子叶作物,机理II为禾本科作物,机理I作物更容易发生缺铁黄化现象^[5]。大豆属机理I作物,缺铁时叶片黄化,轻者减产10%~15%,重者造成大片植株黄化、矮缩甚至绝收^[3],但不同大豆品种对铁的吸收、利

收稿日期:2016-04-18
基金项目: 国家自然科学基金(31271647); 吉林省自然科学基金(20150101100JC); 国家高技术研究发展计划“863计划”(2011AA10A105)。
第一作者简介:张伟(1979-),男,博士,研究员,主要从事大豆栽培生理研究。E-mail:soyzyw@163.com。
通讯作者:闫晓艳(1960-),女,研究员,主要从事土壤肥料与作物栽培研究。E-mail: yanxy8548@163.com。
赵丽梅(1964-),女,博士,研究员,主要从事大豆杂种优势利用研究。E-mail: l_mzhao@126.com。

用效率存显著差异^[6-7],筛选与培育铁高效品种是解决大豆缺铁黄化的最经济有效措施^[8-9]。

铁效率鉴定指标的确定是筛选铁高效品种前提,测定根系 Fe³⁺ 还原酶还原能力,可作为检测铁效率的可靠指标^[10-11],但对育种程序中大量品系进行精确、一致测定很难实现^[12]。学者们研究表明叶绿素值、生物量、籽粒产量及籽粒铁含量,与铁效率密切相关,可作为品种铁效率鉴定指标^[13-14],但目前尚没有一个明确简易的筛选指标,并且对缺铁黄化规律研究报道也不多。本研究通过盆栽试验,对石灰性土壤上 45 个不同铁效率大豆品种的不同时期叶绿素含量及收获后株高、籽粒产量及籽粒铁含量进行测定,分析大豆整个生育期叶片缺铁黄化规律,探讨大豆铁效率鉴定有效简易指标,为铁高效大豆品种的筛选提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤为典型石灰性土壤,采自吉林省洮南市大豆缺铁黄化严重的地块。土壤基本性状为:土壤有机质 0.98%,pH8.20,速效氮 52.4 mg·kg⁻¹,速效磷 12.4 mg·kg⁻¹,速效钾 55.6 mg·kg⁻¹,速效锌 4.12 mg·kg⁻¹,速效铁 3.55 mg·kg⁻¹。供试大豆品种 45 个,分别来自吉林省农业科学院大豆研究所、吉林农业大学农学院、长春市农业科学院和吉林市农业科学院。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2014 年在吉林省农科院公主岭基

地进行。试验用塑料桶(塑料桶规格为:顶部直径 33 cm,底部直径 23 cm,高 30 cm),6 次重复,装土时混入毒死蜱,防止线虫干扰。大豆于 5 月 15 日播种,每盆播种 2 穴,每穴 4 粒,最后每穴留苗 1 株。出苗后观察生长状况,记录叶片的黄化时间和黄化程度。分别在 V2、V4、R1、R2、R3、R5、R6 期,测定新叶的叶绿素值;成熟期收获,进行考种,测定籽粒中 Fe 含量。常规栽培管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶绿素值(SPAD) 用 SPAD-502 型手持叶绿素仪,测定完全展开新叶的绿素值,取 6 次读数的平均值。

1.3.2 考种项目 收获后,取 10 株,测定株高、单株荚重、单株粒重、百粒重、单株茎重,单株生物量为荚重 + 茎重。

1.3.3 籽粒铁含量 籽粒磨碎后,称取 1.0 g 样品,用硝酸、高氯酸法消化,采用原子吸收光谱仪(德国 JENA ZEEnit 700 BU)测定滤液中铁含量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 和 DPS 14.5 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同铁效率大豆品种黄化程度分级

根据不同时期大豆叶片黄化特点及植株长势,将大豆品种分为 4 个级别(表 1),其中 1 级品种 11 个,2 级品种 13 个,3 级品种 11 个,4 级品种 10 个,具体品种见表 2。

表 1 不同铁效率大豆品种黄化程度分级

Table 1 The classification for leaf yellowing levels of soybean varieties with different Fe efficiencies

品种级别	品种数量	黄化及长势特征
Variety level	Variety number	Yellowing and growing traits
1	11	整个生育时期新叶均为绿色,植株长势正常
2	13	苗期新叶黄化,生殖生长期叶片复绿,植株长势正常
3	11	整个生育时期新叶表现为黄化,植株表现为矮化
4	10	苗期新叶黄化严重,生殖生长期植株死亡

2.2 不同铁效率大豆品种不同时期新叶叶绿素含量变化

由表 2 可见,石灰性土壤上 1 级品各时期叶绿素含量均保持较高水平;V2 ~ V4 期不同品种新叶平均叶绿素含量 1 级 > 2 级 > 3 级 > 4 级,达显著水平;R1 期 2 级品种黄化叶片已复绿,R1 ~ R6 期,1 级与 2 级品种新叶平均叶绿素含量差异不显著;但 2 级 > 3 级 > 4 级,且差异达极显著水平;4 级品种 V2 和 V4 期平均 SPAD 值分别为 9.2 和 10.0,V4 期

吉育 85、吉育 93 植株已死亡,至 R1 期敏感品种植株已全部死亡。说明大豆营养生长期是大豆缺铁敏感时期,敏感品种在此期间均已死亡。虽然不同类型品种平均叶绿素含量存在显著差异,但叶绿素含量作为铁效率鉴定指标时,不可以用某一时期瞬时叶绿素含量值,如用营养生长期新叶叶绿素含量值,2 级和 3 级,3 级和 4 级部分品种将无法区分;用生殖生长期新叶叶绿素含量值,1 级和 2 级品种将无法区分。

表 2 石灰性土壤上 45 个大豆品种不同时期新叶叶绿素值的差异

Table 2 The difference of young leaf chlorophyll value between 45 soybean varieties at different stages in calcareous soil

类型 Type	品种 Varietiy	SPAD						
		V2	V4	R1	R2	R3	R5	R6
1 级 Level 1	吉育 66 Jiyu 66	32.5	31.7	32.5	34.9	33.5	40.1	37.5
	吉育 68 Jiyu 68	30.8	31.9	33.0	32.5	30.9	39.1	38.2
	吉育 75 Jiyu 75	29.3	29.1	28.2	31.4	32.1	35.6	37.1
	吉育 80 Jiyu 80	29.6	30.8	28.2	29.6	34.3	39.4	38.6
	吉育 99 Jiyu 99	31.0	29.8	32.5	34.0	33.0	37.3	38.0
	长农 15 Changnong 15	25.8	25.4	30.2	31.7	31.1	38.2	35.9
	长农 20 Changnong 20	31.3	31.9	33.1	36.0	36.5	32.7	40.1
	吉农 22 Jinong 22	27.6	29.9	29.4	32.8	31.9	39.1	38.2
	吉农 28 Jinong 28	30.1	28.6	29.4	33.8	33.4	38.4	38.1
	九农 30 Jiunong 30	29.3	30.2	31.1	33.9	32.7	36.1	39.8
	九农 31 Jiunong30	31.5	29.8	29.5	33.9	34.0	35.5	38.5
	均值 Average	29.9 aA	29.9 aA	30.6 aA	33.1 aA	33.0 aA	37.4 aA	38.2 aA
2 级 Level 2	吉育 67 Jiyu 67	23.8	28.7	31.0	37.7	39.4	38.7	38.5
	吉育 73 Jiyu 73	17.7	17.0	31.7	35.1	35.1	38.3	38.8
	吉育 77 Jiyu 77	18.0	19.1	28.4	29.3	26.9	36.8	37.0
	吉育 86 Jiyu 86	23.3	25.5	29.1	33.5	35.1	41.0	40.3
	吉育 100 Jiyu 100	16.6	14.6	25.3	26.2	33.6	35.3	38.1
	吉育 301 Jiyu 301	17.4	18.7	31.8	33.3	33.5	34.1	39.2
	吉农 11 Jinong 11	17.9	16.0	28.9	26.4	28.2	34.9	36.7
	吉农 13 Jinong 13	25.5	27.7	27.4	32.0	33.0	34.9	37.4
	吉农 18 Jinong 18	18.1	19.0	27.6	31.1	32.3	36.3	36.3
	吉农 23 Jinong 23	16.1	14.4	25.4	32.0	29.2	36.5	35.4
	九农 23 Jiunong 23	19.5	20.0	31.3	30.0	36.7	40.5	40.1
	九农 34 Jiunong 31	22.7	26.3	30.2	32.0	30.4	35.5	38.7
3 级 Level 3	吉大豆 2 号 Jidadou 2	15.4	17.6	29.7	30.6	30.7	32.6	33.5
	均值 Average	19.4 bB	20.3 bB	29.0 aA	31.5 aA	32.6 aA	36.6 aA	37.7 aA
	吉育 47 Jiyu 47	11.7	12.1	17.0	16.2	15.3	24.8	17.2
	吉育 62 Jiyu 62	20.9	23.7	24.7	25.0	26.8	26.3	28.2
	吉育 65 Jiyu 65	16.3	16.6	23.4	25.9	19.0	22.5	18.5
	吉育 70 Jiyu 70	18.5	24.5	23.5	22.4	18.1	28.1	22.6
	吉育 72 Jiyu 72	12.4	18.1	20.5	23.9	23.9	26.5	28.3
	吉育 91 Jiyu 91	8.0	9.8	19.2	20.5	22.3	24.2	26.5
	长农 7 号 Changnong 7	13.3	14.2	16.2	15.3	23.2	25.6	24.8
	吉农 21 Jinong 21	12.8	12.9	17.8	18.3	15.1	17.6	19.8
	九农 28 Jiunong 28	11.1	10.6	16.8	15.8	18.5	16.8	15.2
	九农 36 Jiunong 36	17.4	16.1	18.1	20.8	22.4	26.9	28.2
	平安 49 Pingan 49	15.6	16.3	22.9	25.2	27.3	30.4	29.4
	均值 Average	14.3 cC	15.9 cC	20.0 bB	20.8 bB	21.1 bB	24.5 bB	23.5 bB

续表 2

类型 Types	品种 Varieties	SPAD						
		V2	V4	R1	R2	R3	R5	R6
4 级	吉育 79 Jiyu 79	10.6	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Level 4	吉育 82 Jiyu 82	6.9	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 85 Jiyu 85	11.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 87 Jiyu 87	11.7	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 91 Jiyu 91	8.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 92 Jiyu 92	6.1	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 93 Jiyu 93	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 95 Jiyu 95	5.5	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉农 17 Jinong 17	12.8	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	九农 27 Jiunong 27	10.4	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	均值 Average	9.2 dD	10.0 dC	0.0 cC	0.0 cC	0.0 cC	0.0 cC	0.0 cC

不同大小写字母分别代表不同铁效率品种间差异达 1% 和 5% 显著水平;数据“0”代表植株已经死亡。下同。
Different lowercase respectively means significance at 1% and 5% levels among soybean varieties with different Fe efficiency, ‘0’ means the plant was dead. The same below.

2.2 不同铁效率大豆品种农艺性状与籽粒铁含量变化

表 3 可见,不同类型品种株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量均存在显著差异,2 级、3 级、4 级品种除株高外,各性状均达极显著差异。但以上性状作为铁效率鉴定指标时,部分品种性状无法区分 1 级和 2 级品种,3 级和 4 级品种。1 级、2 级品种百

粒重分别为 15.3,14.3 g;籽粒 Fe 含量分别为 44.2, 41.0 mg·kg⁻¹,差异未达显著水平。2 级、3 级、4 级品种百粒重、籽粒 Fe 含量达极显著差异。说明株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量可作为不同铁效率品种鉴定参考指标,百粒重、籽粒 Fe 含量作为铁效率品种鉴定指标,会存在更大偏差。

表 3 石灰性土壤上 45 个大豆品种农艺性状及籽粒含铁量差异

Table 3 The differences of agronomic traits and Fe concentration in grain between 45 soybean varieties in calcareous soil							
类型 Type	品种 Variety	株高 Plant height /cm	单株荚重 Pod weight per plant/g	单株粒重 Seed weight per plant/g	百粒重 100-seed weight /g	单株生物量 Biomass per plant/g	籽粒 Fe 含量 Fe concentration in grain/(mg·kg ⁻¹)
1 级	吉育 66 Jiyu 66	75.5	17.7	11.0	15.0	27.5	48.12
Level 1	吉育 68 Jiyu 68	62.1	9.5	6.0	19.3	15.2	46.64
	吉育 75 Jiyu 75	63.0	10.9	6.6	15.8	17.0	47.32
	吉育 80 Jiyu 80	53.0	10.5	6.4	15.8	15.7	49.68
	吉育 99 Jiyu 99	62.5	12.8	6.8	15.2	19.2	45.49
	长农 15 Changnong 15	69.7	14.6	8.1	16.3	20.9	39.07
	长农 20 Changnong 20	51.2	11.2	6.7	11.8	15.9	42.79
	吉农 22 Jinong 22	87.0	13.3	7.3	12.8	24.5	46.26
	吉农 28 Jinong 28	57.0	12.8	6.5	19.5	18.0	39.35
	九农 30 Jiunong 30	57.0	10.6	6.5	13.2	16.0	45.58
	九农 31 Jiunong 30	53.3	10.4	5.7	13.3	14.7	35.81
	均值 Average	62.8 aA	12.2 aA	7.1 aA	15.3 aA	18.6 aA	44.2 aA
2 级	吉育 67 Jiyu 67	55.0	12.7	7.8	18.4	17.0	45.64
Level 2	吉育 73 Jiyu 73	61.3	11.5	6.5	15.5	18.8	38.37
	吉育 77 Jiyu 77	55.0	10.4	6.1	17.3	14.4	37.63
	吉育 86 Jiyu 86	66.0	9.2	5.3	17.0	17.7	35.74
	吉育 100 Jiyu 100	50.0	9.4	5.4	6.8	13.5	46.55

续表 3

类型 Type	品种 Variety	株高 Plant height /cm	单株荚重 Pod weight per plant/g	单株粒重 Seed weight per plant/g	百粒重 100-seed weight /g	单株生物量 Biomass per plant/g	籽粒 Fe 含量 Fe concentration in grain/(mg·kg ⁻¹)
3 级 Level 3	吉育 301 Jiyu 301	49.4	8.6	4.8	12.6	13.2	43.53
	吉农 11 Jinong 11	53.0	9.0	5.1	13.5	15.0	37.60
	吉农 13 Jinong 13	68.7	9.6	5.6	14.2	16.4	39.51
	吉农 18 Jinong 18	52.3	11.2	6.3	12.4	16.3	46.80
	吉农 23 Jinong 23	62.0	9.1	5.2	13.3	15.3	40.28
	九农 23 Jiunong 23	48.5	12.2	7.5	13.3	16.2	35.08
	九农 34 Jiunong 31	52.0	13.8	8.4	13.1	19.4	49.78
	吉大豆 2 号 Jidadou 2	50.7	10.3	5.8	17.9	16.6	36.13
	均值 Average	55.7 bA	10.5 bA	6.1 bA	14.3 abA	16.1 bA	41.0 aA
	吉育 47 Jiyu 47	38.8	5.0	3.3	10.4	7.6	29.49
	吉育 62 Jiyu 62	45.3	7.1	4.3	14.9	11.3	38.35
	吉育 65 Jiyu 65	46.3	5.4	3.0	16.2	10.6	22.03
	吉育 70 Jiyu 70	56.0	5.0	3.2	15.0	10.9	34.12
	吉育 72 Jiyu 72	54.8	5.7	4.2	16.3	11.6	36.69
	吉育 91 Jiyu 91	34.3	8.9	4.9	10.0	11.0	32.02
4 级 Level 4	长农 7 号 Changnong 7	29.0	7.2	3.6	13.6	9.4	23.20
	吉农 21 Jinong 21	40.0	4.0	2.3	8.9	7.5	21.35
	九农 28 Jiunong 28	37.8	5.4	3.6	12.6	9.3	28.57
	九农 36 Jiunong 36	45.7	4.5	2.0	7.1	8.8	35.60
	平安 49 Pingan 49	33.7	9.2	5.2	14.0	9.5	30.65
	均值 Average	42.0 cA	6.1 cB	3.6 cB	12.6 bA	9.8 cB	30.2 bB
	吉育 79 Jiyu 79	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 82 Jiyu 82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 85 Jiyu 85	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 87 Jiyu 87	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 91 Jiyu 91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 92 Jiyu 92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 93 Jiyu 93	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉育 95 Jiyu 95	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	吉农 17 Jinong 17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	九农 27 Jiunong 27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	均值 Average	0.0 dA	0.0 dC	0.0 dC	0.0 cB	0.0 dC	0.0 cC

3 结论与讨论

大豆是石灰性土壤上易发生缺铁黄化的作物，铁高效品种选择是减少和避免铁缺失的最佳策略^[8-9]，大豆叶片黄化程度可作为铁效率鉴定指标^[6]，但有些学者认为，在石灰土性土壤上，锰、锌也是经常缺乏的元素，而锰、锌元素缺乏，叶片也会失绿，仅靠叶片黄化程度来鉴定大豆铁效率，可能会存在偏差^[15-16]。因此，Wiersma^[17]提出用籽粒中

的含铁量作为大豆铁效率的鉴定方法。

本试验已明确此区域大豆缺铁黄化是石灰性土壤缺铁所致^[18]，不同铁效率大豆品种黄化规律明显，1 级品种整个生育时期叶片均未黄化；2 级、3 级、4 级品种表现为真叶绿色，新生复叶黄色，随着生育期推进，2 级品种 V4 期以后叶片开始复绿，至 R1 期时与 1 级品种新叶叶绿素含量已无显著差异；3 级品种新叶整个生育时期均表现为黄化状态，一些品种下部部分节位叶片可以复绿，植株明显矮

化,产量损失严重;4级品种,叶片黄化萎缩严重,部分品种V4期已死亡,至R1期已全部死亡。说明大豆营养生长期为大豆缺铁敏感时期。叶绿素含量作为鉴定铁效率指标时,首先要明确作物叶片黄化是否是缺铁所致,并且不能仅以某一时期叶绿素含量鉴定品种铁效率高,应在苗期及生殖生长期测定的叶绿素含量综合衡量大豆铁效率类型。

花生荚果产量、生物产量可作为铁效率鉴定指标^[19-20]。本研究表明,不同铁效率类型品种平均株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量均存在显著差异,但存在部分品种性状无法区分1级、2级、3级、4级品种情况,株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量可作为不同铁效率品种鉴定参考指标。百粒重、籽粒Fe含量作为铁效率品种鉴定指标,会存在更大偏差,说明Wiersma提出以大豆籽粒含铁量作为铁效率鉴定指标也不够精确。

综上所述,石灰性土壤大豆铁效率品种鉴定中,可将苗期及生殖生长期两个时期测定的叶绿素含量综合衡量大豆铁效率类型,株高、单株荚重、单株粒重、单株生物量可作为不同铁效率品种辅助鉴定指标。

参考文献

[1] 李光锐,郭毓德,陈培森. 尿素在石灰性土壤中移动、分解和转化的初步探讨[J]. 中国农业科学, 1985,18(1):73-76. (Li G R,Guo Y D,Chen P S. A Preliminary investigation on the movement, disintegration and transformation of urea in calcareous soils [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1985, 18(1): 73-76.)

[2] 张智猛,万书波,戴良香,等. 花生铁营养状况研究[J]. 花生学报, 2003, 32(增刊): 361- 3671. (Zhang Z M, Wan S B, Dai L X, et al. Research on Fe-nutient condition in peanut[J] . Journal of Peanut Science, 2003, 32(S): 361-367.)

[3] 张伟,赵丽梅,赵婧,等. 石灰性土壤大豆缺铁矫正[J]. 大豆科学, 2011, 30(3): 463- 467. (Zhang W, Zhao L M, Zhao J, et al. Remediation iron deficiency of soybean grown in lime soil [J]. Soybean Science, 2011, 30(3): 463-467.)

[4] 翟丙年,刘海轮,尚浩博,等. 植物吸收利用铁的机理[J] . 西北植物学报, 2002, 22(1): 184-1891. (Zhai B N, Liu H L, Shang H B, et al. Mechanism of iron uptake and utilization by plant [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2002, 22 (1): 184-189.)

[5] 左元梅,张福锁. 不同禾本科作物与花生混作对花生根际外体铁的累积和还原力的影响[J]. 应用生态学报, 2004, (2):221-225. (Zuo Y M, Zhang F S. Effects of peanut mixed cropping with different gramineous plants on apoplast iron accumulation and reducing capacity of peanut[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2004,15(2):221-225.)

[6] Fehr W R. Control of iron-deficiency chlorosis in soybeans by plant breeding[J]. Journal of Plant Nutrition, 1982, 5: 611-621.

[7] Cianzio S R D, Fehr W R. Genetic control of iron deficiency chlorosis in soybeans[J]. Iowa State Journal of Research, 1980, 54: 367-375.

[8] Goos R J, Brian E J. A comparison of three methods for reducing iron deficiency chlorosis in soybean[J]. Agronomy Journal, 2000, 92:1135-1139.

[9] Naeve S L, Rehman G W. Genotype × environment interactions with iron deficiency chlorosis-tolerant soybean genotypes[J]. Agronomy Journal, 2006, 98: 808-814.

[10] Ellsworth J W, Jolley V D, Nuland D S, et al. Use of hydrogen release or a combination of hydrogen release and iron reduction for selecting iron-efficient dry bean and soybean cultivars[J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 1:2639-2651.

[11] Blair M W, Knewton S J B, Astudillo C, et al. Variation and inheritance of iron reductase activity in the roots of common bean and association with seed iron accumulation QLT[J]. BMC Plant Biology, 2010, 10:215.

[12] Fairbanks D J. Development of genetic resistance to iron deficiency chlorosis in soybean[J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 23: 1903-1913.

[13] Samdur M Y, Mathur R K, Manivel P, et al. Screening of some advanced breeding lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) for tolerance of lime-induced iron-deficiency chlorosis[J]. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 1999, 69(10): 722-725.

[14] Frenkel C, Hadar Y, Chen Y. Peanut plants based bioassay for iron deficiency and its remediation[J] . Soil Science & Plant Nutrition, 2004, 50(7): 1063-1070.

[15] Kobayashi T, Yoshihara T, Jiang T, et al. Combined deficiency of iron and other divalent cations mitigates the symptoms of iron deficiency in tobacco plants[J]. Physiologia Plantarum, 2003, 119: 400-408.

[16] Jolley V D, Hansen N C, Shiffler A K. Nutritional and management related interactions with iron-deficiency stress response mechanisms [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 2004, 50:973-981.

[17] Wiersma J V. Importance of seed [Fe] for improved agronomic performance and efficient genotype selection[M]// Krezhova D. Soybean-genetics and novel techniques for yield enhancement. Rijeka: Science, Technology and Medicine Open Access Publisher, 2011, 23-50.

[18] 张伟,赵丽梅,韩喜国,等. 吉林省白城地区大豆黄叶原因分析[J]. 河南农业科学, 2011, 40(11):57-59. (Zhang W, Zhao Li M, Han X G, et al. Analysis of etiolated soybean leaves in baicheng region of Jilin province[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2011, 40(11):57-59.)

[19] Samdur M Y, Singh A L, Mathru R K, et al. Field evaluation of-chlorophyll meter for screening groundnut (*Arachis hypogaea*) genotypes tolerant to iron-deficiency chlorosis [J]. Current Science, 2000, 79(2): 213-214.

[20] 夏友霖,廖伯寿,毛金雄,等. 四川丘陵紫色土花生品种耐缺铁性鉴定与评价[J]. 中国油料作物学报, 2013, 35(3):326-330. (Xia Y L, Liao B S, Mao J X, et al. Evaluation of lime induced iron-deficiency chlorosis tolerance of peanut on calcareous and purplish soil in Sichuan[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(3):326-330.)