

基于大豆叶绿素含量和生物产量积累的不同铁效率品种鉴定

张伟¹, 邱强¹, 赵婧¹, 韩喜国², 张伟龙¹, 徐长洪², 张鸣浩¹, 闫晓艳^{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, 长春 130033; 2. 吉林省农业科学院洮南试验站, 吉林 洮南 137100)

摘要:为筛选石灰性土壤上耐低铁的大豆品种,在吉林省洮南市石灰性缺铁土壤上,通过V3和R2期叶绿素含量和单株生物产量的测定,对126个大豆品种耐低铁性进行了鉴定及聚类分析。结果表明,不同时期不同大豆品种叶绿素含量和单株生物产量差异显著。聚类分析将126个品种分成5个级别,1级品种18个,占参试品种14.3%,对土壤缺铁抗性表现最强,整个生育期叶绿素含量、单株平均生物产量均较高;2级品种33个,占参试品种26.2%,对土壤缺铁抗性表现较高,单株平均生物产量积累低于1级品种;3级品种30个,占参试品种23.8%,对土壤缺铁抗性表现中等,品种叶片前期黄化,后期均会恢复,一定程度上影响了后期干物质积累;4级品种27个,占参试品种21.4%,对土壤缺铁抗性表现较敏感,品种叶片整个生育期均黄化,干物质积累受到极显著影响;5级品种18个,占参试品种14.3%,对土壤缺铁抗性表现敏感,前期叶片黄化严重,后期植株死亡。

关键词:石灰性土壤;大豆;铁效率鉴定;聚类分析

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1003-8701(2016)04-0008-06

Identification of Soybean Varieties with Different Fe Efficiencies Based on Chlorophyll Content and Biomass Accumulation

ZHANG Wei¹, QIU Qiang¹, ZHAO Jing¹, HAN Xiguo², ZHANG Weilong¹, XU Changhong², ZHANG Minghao¹, YAN Xiaoyan^{1*}

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

Abstract: For screening of soybean varieties tolerant to iron deficiency in calcareous soil, the tolerance of 126 soybean varieties to iron deficiency were identified by cluster analysis according to chlorophyll content and biomass per plant at V3 and R2 stages in calcareous soil area of Taonan, Jilin Province. The results showed that the differences of both chlorophyll content and biomass per plant at different stages between soybean varieties were significant. One hundred twenty six soybean varieties were divided into 5 levels, eighteen varieties in Level 1, accounting for 14.3% of testing varieties, their tolerance to iron deficiency was the strongest for their higher chlorophyll content and biomass per plant during whole growth period; thirty three varieties were in Level 2, accounting for 26.2% of testing varieties, stronger tolerance, lower biomass per plant than that of Level 1, thirty varieties in Level 3, twenty three point eight percent of testing varieties, moderate tolerance, leaf chlorosis at the early stage, though recovered later, but dry matter accumulation at later stage was affected; twenty seven varieties in Level 4, twenty one point four percent of testing varieties, less sensitive to iron deficiency, leaf chlorosis during whole growth period, dry matter accumulation was significantly affected, eighteen varieties in Level 5, fourteen point three percent of testing varieties, sensitive to iron deficiency, leaf chlorosis was severe at the early stage, and died later.

Key words: Calcareous soil; Soybean; Identification of iron efficiency; Cluster analysis

收稿日期:2016-04-04

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)

作者简介:张伟(1979-),男,研究员,博士,从事大豆栽培生理研究。

通讯作者:闫晓艳,女,研究员,E-mail: yanxy8548@163.com

铁是植物光合作用、呼吸作用、叶绿素生物合成及氧化还原反应的基本元件^[1]。尽管地壳中铁的丰度很高,但在高 pH 值和石灰性土壤中,铁的有效性大大降低^[2]。土壤中铁缺乏导致植物发育不良,包括萎黄、生长迟缓,并降低作物生物产量^[3]。

我国南起四川盆地,北至东北平原,东至淮北平原,西到黄土高原及甘肃、青海、新疆,都有缺铁现象的发生^[4-6],在吉林省西部地区,石灰性土壤作物缺铁黄化是限制大豆高产稳产的主要因素^[7]。国外研究表明,不同大豆品种对铁的吸收、利用效率存在显著差异^[8-9],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^[10-11]。但国内尚未开展大豆铁效率品种资源鉴定与评价。

开展大豆铁有效性鉴定首先需要建立一套简单而又可靠的鉴定技术。叶片叶绿素含量测定简单,与缺铁失绿程度及产量显著相关,在大豆铁效率品种的评估上被广泛应用^[12]。Fehr^[13]将大豆失绿症程度划分为 5 个等级,并提出 V2(第二节期)至 V3(第三节期)期叶片失绿症表现最为明显,此时评估结果比较可靠。但不同大豆品种叶片黄化是个动态过程,随着生育期推进,一些品种表现复绿,并且复绿快慢和生物产量积累与其前期黄化程度并非完全一致^[14],说明仅用苗期叶绿素含量评价铁效率品种,会存在一定偏差。为此我们选择 V3(第三节期)和 R2(盛花期)两个时期,对 126 个大豆品种叶绿素含量、生物产量进行测定,并通过聚类分析进行铁效率鉴定分级,筛选出适于石灰性土壤上种植的抗黄化品种,为大豆耐低铁胁迫的机理研究及铁高效品种的选育提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013 年在吉林省洮南市吉林省农业科学院洮南试验站进行。土壤为石灰性土壤, pH 8.55, 土壤有机质 1.92%, 速效氮 64.2 mg·kg⁻¹, 速

效磷 28.4 mg·kg⁻¹, 速效钾 78.2 mg·kg⁻¹, 速效锌 5.15 mg·kg⁻¹, 速效铁 4.24 mg·kg⁻¹。供试大豆品种 126 份,其中吉林省品种 83 份,黑龙江省 43 份,来自吉林省农业科学院大豆研究所资源库,具体品种见表 1。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,小区为 3 行区,行长 5 m,行距 63 cm,3 次重复,密度为 20 万株/hm²。5 月 15 日播种,其他同常规管理。分别在 6 月 20 日(V3, 三节期)和 7 月 20 日(R2, 盛花期)测定大豆叶片叶绿素值和植株生物产量。

1.3 测定项目与方法

叶绿素值(SPAD):用 SPAD-502 型手持叶绿素仪,以倒数第一片复叶中间小叶叶缘分离为准,测定倒数第二片复叶中间小叶叶绿素值,取 5 次读数的平均值。

生物产量:取有代表性植株 4 株,从子叶节剪断,留取地上植株,风干后称重。

1.4 数据处理

数据分析在 Excel 2010 和 DPS 14.5 软件上进行。

2 结果与分析

2.1 不同大豆品种不同时期叶绿素含量和生物产量

表 1 表明,不同时期不同大豆品种叶绿素含量和生物产量具有显著差异,V3 期叶绿素含量最大品种为 42.8 SPAD,叶绿素含量最小品种为 2.5 SPAD;单株生物产量最大的 2.07 g,最小为 0.41 g。R2 期叶绿素含量最大品种为 47.9 SPAD,单株生物产量最大为 24.2 g,敏感品种此时期已经死亡,占品种总数 14.3%。对比两个时期叶绿素含量,V3 期叶绿素含量在 30 SPAD 以内品种占总品种数的 61.1%,至 R2 期时,叶绿素含量在 30 SPAD 以内品种占总品种数的 35.7%,很多品种叶片已经复绿。

表 1 不同品种不同时期叶绿素含量和生物产量

序号	品种	V3		R2		序号	品种	V3		R2	
		叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)	叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)			叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)	叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)
1	吉育 30	14.3	0.66	25.3	3.8	64	九农 36	16.5	0.88	38.3	9.4
2	吉育 40	25.3	1.27	38.4	16.3	65	长农 7 号	12.3	0.80	22.6	3.2

续表 1

序号	品种	V3		R2		序号	品种	V3		R2	
		叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)	叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)			叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)	叶绿素含量(SPAD)	生物产量(g)
3	吉育 47	17.6	0.89	22.3	3.5	66	长农 13	15.0	0.96	20.4	4.7
4	吉育 55	18.1	0.79	30.5	3.8	67	长农 15	41.4	1.54	40.0	18.4
5	吉育 59	19.8	1.18	20.8	5.6	68	长农 16	20.1	1.56	37.9	12.0
6	吉育 62	12.6	0.70	25.5	5.9	69	长农 17	38.8	2.07	39.2	21.6
7	吉育 65	22.5	0.79	26.9	1.3	70	长农 18	41.1	1.23	39.2	13.6
8	吉育 66	36.4	1.10	37.0	9.3	71	长农 19	24.2	0.83	36.5	10.8
9	吉育 67	20.9	1.04	39.8	8.6	72	长农 20	42.8	1.34	41.9	11.3
10	吉育 68	34.7	1.25	37.3	11.5	73	长农 21	30.5	1.14	39.3	22.2
11	吉育 69	35.0	0.95	35.6	14.7	74	长农 22	15.1	0.80	0	0
12	吉育 70	26.0	1.23	27.2	7.8	75	长农 23	15.3	0.90	0	0
13	吉育 71	19.0	1.07	25.0	6.8	76	长农 24	18.5	0.93	42.8	12.8
14	吉育 72	25.9	0.78	28.5	2.7	77	吉大豆 2 号	27.1	1.35	39.2	17.8
15	吉育 73	27.9	0.95	42.0	12.4	78	吉利豆 2 号	21.1	0.91	38.4	10.0
16	吉育 74	25.2	1.11	37.6	11.5	79	吉利豆 3 号	20.4	0.95	39.5	10.6
17	吉育 75	38.4	1.47	39.7	23.3	80	平安 8 号	36.8	1.13	38.2	10.3
18	吉育 77	31.2	1.20	36.1	10.1	81	平安 16	39.1	1.74	42.6	16.4
19	吉育 79	11.3	0.65	0	0	82	平安 49	14.4	0.77	18.6	3.6
20	吉育 80	39.6	1.45	39.0	10.9	83	欧科豆 25	12.6	0.90	0	0
21	吉育 82	7.5	0.54	0	0	84	合丰 25	36.9	1.05	36.0	10.8
22	吉育 83	24.6	1.48	25.8	14.0	85	合丰 35	27.4	0.85	0	0
23	吉育 84	8.6	0.63	0	0	86	合丰 39	18.7	1.12	13.4	4.1
24	吉育 85	4.0	0.82	0	0	87	合丰 41	23.9	1.08	26.4	6.7
25	吉育 86	30.7	1.37	39.8	11.4	88	合丰 43	20.3	0.68	19.6	5.9
26	吉育 87	15.6	0.55	0	0	89	合丰 44	35.6	1.35	37.5	12.8
27	吉育 88	15.4	0.80	26.3	5.2	90	合丰 45	12.7	0.87	37.0	10.6
28	吉育 89	14.7	0.67	0	0	91	合丰 47	19.1	0.87	40.8	8.4
29	吉育 91	12.3	0.77	0	0	92	合丰 48	36.2	1.54	47.9	20.6
30	吉育 92	8.3	0.41	0	0	93	合丰 49	41.3	0.95	42.5	11.1
31	吉育 93	2.5	0.53	0	0	94	合丰 50	28.2	1.00	42.8	10.6
32	吉育 94	13.6	0.64	26.2	2.1	95	合丰 52	24.9	1.31	38.2	9.7
33	吉育 95	9.5	0.83	0	0	96	合丰 55	25.0	1.67	37.4	19.0
34	吉育 97	38.1	0.94	43.4	11.2	97	合丰 56	27.7	1.15	39.6	13.9
35	吉育 99	39.4	1.10	42.5	12.1	98	合丰 58	11.4	0.72	0	0
36	吉育 100	27.5	1.48	43.6	9.3	99	合丰 60	37.8	1.05	45.2	10.0
37	吉育 301	28.6	1.23	38.5	10.3	100	绥农 10	37.2	1.32	41.3	9.8
38	吉农 11	25.5	1.41	38.9	18.2	101	绥农 14	32.8	1.46	41.0	10.5
39	吉农 12	14.9	0.88	22.4	3.4	102	绥农 15	38.2	1.45	43.1	13.4
40	吉农 13	27.6	1.50	31.4	11.2	103	绥农 17	37.8	1.04	44.2	14.8
41	吉农 14	36.0	0.91	36.1	11.4	104	绥农 22	15.9	1.20	27.9	8.1
42	吉农 15	39.4	2.01	42.5	11.2	105	绥农 23	39.5	1.24	43.3	15.5
43	吉农 16	26.1	1.46	40.4	20.0	106	绥农 25	23.2	1.08	41.0	9.8
44	吉农 18	30.9	0.96	43.5	21.4	107	绥农 26	18.7	1.14	38.2	11.8
45	吉农 20	30.9	1.12	38.1	11.0	108	绥农 28	20.3	1.09	27.5	6.5
46	吉农 21	16.6	0.52	0	0	109	绥农 29	38.7	1.47	38.2	11.6
47	吉农 22	39.6	1.31	38.0	13.4	110	绥农 30	41.8	1.57	40.5	10.7

续表 1

序号	品种	V3		R2		序号	品种	V3		R2	
		叶绿素含量 (SPAD)	生物产量 (g)	叶绿素含量 (SPAD)	生物产量 (g)			叶绿素含量 (SPAD)	生物产量 (g)	叶绿素含量 (SPAD)	生物产量 (g)
48	吉农 23	25.2	1.23	38.4	12.0	111	绥农 31	36.7	1.00	38.5	12.2
49	吉农 24	26.1	1.16	41.1	17.2	112	黑农 38	27.0	1.42	36.5	10.3
50	吉农 26	38.2	0.93	38.4	13.6	113	黑农 44	20.6	0.90	22.5	5.7
51	吉农 27	12.3	0.58	0	0	114	黑农 48	22.9	1.25	23.2	3.2
52	吉农 28	39.4	1.67	40.5	13.8	115	黑农 51	34.6	0.99	39.7	10.5
53	九农 22	37.5	1.92	37.4	11.0	116	黑农 52	37.0	1.62	41.6	17.6
54	九农 23	31.6	1.27	38.4	10.8	117	黑农 57	37.8	1.33	38.1	11.9
55	九农 26	24.0	1.03	36.7	14.0	118	黑农 58	22.9	1.45	27.2	3.3
56	九农 27	5.1	0.85	0	0	119	黑农 64	21.6	0.77	27.6	4.9
57	九农 28	15.3	0.85	19.6	3.8	120	东农 48	23.8	1.03	26.8	4.2
58	九农 29	32.8	1.73	38.4	10.6	121	东农 51	29.6	1.55	36.6	19.6
59	九农 30	38.2	1.02	42.0	18.1	122	东农 53	34.0	1.34	45.4	15.6
60	九农 31	37.4	1.41	40.6	24.2	123	东农 54	40.9	1.09	38.5	15.3
61	九农 33	28.9	0.94	40.6	15.4	124	东农 57	36.2	1.78	41.6	19.6
62	九农 34	26.3	1.13	40.6	11.4	125	抗线 6 号	40.7	1.59	42.4	23.2
63	九农 35	19.1	0.97	28.2	4.8	126	抗线 7 号	31.7	1.71	37.4	10.4

2.2 不同铁效率品种聚类分析

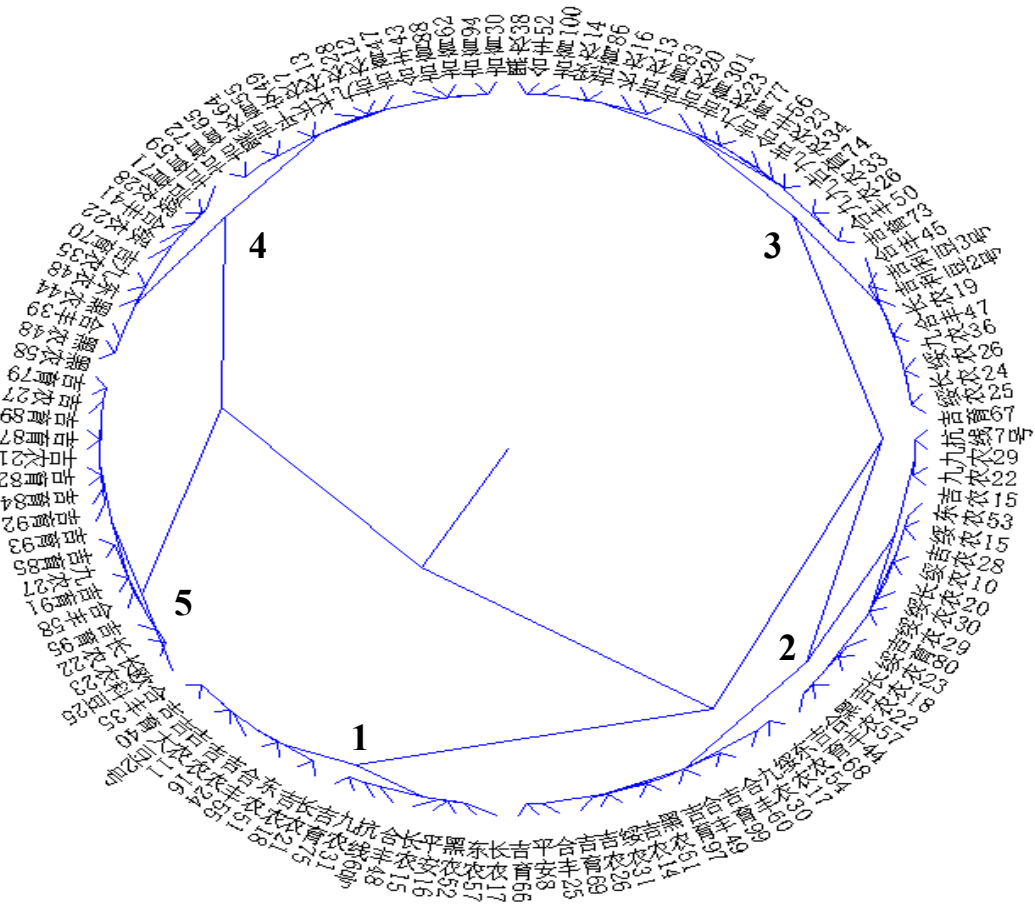


图 1 126 个品种聚类分析

根据品种 V3 和 R2 时期叶绿素含量和单株生物产量系统聚类分析,可将 126 个品种分成 5 个级别(图 1),结合表 2 分析表明。

1 级品种 18 个,占参试品种 14.3%,对土壤缺铁抗性表现最强。此类品种 V3 期叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 41.4、25.0 SPAD,R2 期叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 47.9、36.6 SPAD,多数品种叶片整个生育期均未黄化,虽然有部分品种 V3 期叶片略有黄化,但很快复绿。V3 期单株生物产量最大和最小值分别为 2.07、0.96 g,R2 期单株生物产量最大和最小值分别为 24.2、16.3 g。R2 期叶片平均叶绿素含量和 V3 ~ R2 期平均单株生物产量均极显著高于 2 级品种。此类品种包括吉林 40、吉育 75、吉农 11、吉农 16、吉农 18、吉农 24、九农 31、长农 15、长农 17、长农 21、平安 16、合丰 48、合丰 55、黑农 52、吉大豆 2 号、东农 51、东农 57、抗线 6 号。

2 级品种 33 个,占参试品种 26.2%,对土壤缺铁抗性表现较高,但后期单株生物产量积累要小于 1 级品种。V3 期品种叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 42.8、31.7 SPAD,R2 期叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 42.8、31.6 SPAD,多数品种整个生育期均保持较高叶绿素含量,但 V3 ~ R2 期平均单株生物产量显著低于 1 级品种。此类品种包括吉育 66、吉林 68、吉育 69、吉育 80、吉育 97、吉育 99、吉农 14、吉农 15、吉农 22、吉农 26、吉农 28、九农 22、九农 29、九农 30、长农 18、长农 20、平安 8 号、合丰 25、合丰 44、合丰 49、合丰 60、绥农 10、绥农 15、绥农 17、绥农 23、绥农 29、绥农 30、绥农 31、黑农

51、黑农 57、东农 53、东农 54、抗线 7 号。

3 级品种 30 个,占参试品种 23.8%,对土壤缺铁抗性表现中等。V3 期品种叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 32.8、12.7 SPAD,R2 期叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 43.6、25.8 SPAD,品种叶片表现前期黄化,后期复绿。但前期叶片黄化显著影响了干物质积累,V3 ~ R2 期平均单株生物产量显著低于 2 级品种。此类品种包括吉育 67、吉育 73、吉育 74、吉育 77、吉育 83、吉育 86、吉育 100、吉育 301、吉农 13、吉农 20、吉农 23、九农 23、九农 26、九农 33、九农 34、九农 36、长农 16、长农 19、长农 24、吉利豆 2 号、吉利豆 3 号、合丰 45、合丰 47、合丰 50、合丰 52、合丰 56、绥农 14、绥农 25、绥农 26、黑农 38。

4 级品种 27 个,占参试品种 21.4%,对土壤缺铁抗性表现较敏感。V3 期品种叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 26.0、12.3 SPAD,R2 期叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 30.5、13.4 SPAD,品种叶片整个生育期均黄化。干物质积累受到极显著影响,R2 期单株干物质仅在 1.3 ~ 8.1 g 之间。此类品种包括吉林 30、吉林 55、吉农 12、吉育 47、吉育 59、吉育 62、吉育 65、吉育 70、吉育 71、吉育 72、吉育 88、吉育 94、九农 28、九农 35、长农 13、长农 7 号、平安 49、合丰 39、合丰 41、合丰 43、绥农 22、绥农 28、黑农 44、黑农 48、黑农 58、黑农 64、东农 48。

5 级品种 18 个,占参试品种 14.3%,对土壤缺铁抗性表现敏感。V3 期品种叶片叶绿素含量最大和最小值分别为 27.4、2.5 SPAD,至 R2 期时,所有品种植株已经死亡。此类品种包括吉育 79、吉

表 2 不同类型品种叶绿素含量和生物产量特征

时期	性状	铁效率级别				
		1	2	3	4	5
V3	叶绿素	31.1bB	36.7aA	24.1cC	17.9dD	11.3eE
	最大值	41.4	42.8	32.8	26.0	27.4
	最小值	25.0	31.7	12.7	12.3	2.5
	干物质	1.48aA	1.27bB	1.15cB	0.94dC	0.69eD
	最大值	2.07	2.01	1.56	1.45	0.90
	最小值	0.96	0.91	0.83	0.64	0.41
R2	叶绿素	40.6aA	37.7bB	38.5bAB	24.2cC	0 dD
	最大值	47.9	42.8	43.6	30.5	0
	最小值	36.6	31.6	25.8	13.4	0
	干物质	19.8aA	12.3bB	11.2cB	4.9dC	0 eD
	最大值	24.2	18.1	15.4	8.1	0
	最小值	16.3	9.3	8.4	1.3	0

注:不同小写和大写字母分别代表不同铁效率品种间差异达 5% 和 1% 显著水平

育82、吉育84、吉育85、吉育87、吉育89、吉育91、吉育92、吉育93、吉育95、吉农21、吉农27、长农22、长农23、九农27、欧科豆25、合丰35、合丰58。

3 讨论与结论

在石灰性土壤上,大豆的耐低铁能力存在显著的基因型差异,耐铁能力强品种整个生育期叶片均正常生长,或者苗期略有黄化,后期很快复绿;耐铁能力差的品种,整个生育期上部叶片均表现黄化,甚至整个植株萎黄、死亡。因此学者们提出将叶片叶绿素含量作为铁效率鉴定指标^[12],并认为V2~V3叶绿素含量鉴定最为可靠^[13]。但仅以苗期叶片叶绿素含量为鉴定指标时,本文中一些V3期黄化,后期很快复绿1级和2级品种与3级品种将无差异,3级和4级分类中很多苗期黄化度相似品种也将无法区分。而采用苗期和生殖生长期叶绿素含量和生物产量作为衡量指标,可兼顾生育期叶片黄化和植株发育动态,能更有效区分不同铁效率品种。

本试验根据品种V3和R2时期叶绿素含量和单株生物产量系统聚类分析,可将126个品种分为5个级别,1级到5级抗黄化能力逐渐减弱,分别占参试品种总数14.3%、26.2%、23.8%、21.4%、14.3%。1级和2级类别品种可在缺铁土壤区域种植推广,作为铁高效品种育种材料;5级类别品种可做为铁敏感遗传研究材料。

参考文献:

[1] P J Seo, J Park, M J Park, et al. A Golgi-localized MATE trans-

porter mediates iron homeostasis under osmotic stress in Arabidopsis[J]. *Biochemical Journal*, 2012, 442: 551-561.

[2] Kobayashi T, Nishizawa N K. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2012, 63: 131-152.

[3] Briat J F, Curie C, Gaymard F. Iron utilization and metabolism in plants[J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2007, 10: 276-282.

[4] 曹 慧, 韩振海, 许雪峰, 等. 高等植物的铁营养[J]. *植物生理学通讯*, 2002, 38(2): 180-185.

[5] 许永久, 李占斌. 大豆黄化死苗的原因及防治对策[J]. *甘肃农业*, 2006(4): 152.

[6] 邱 强, 张 伟, 赵 婧, 等. 大豆铁胁迫研究进展与分析[J]. *大豆科技*, 2013(4): 67-70.

[7] 张 伟, 赵丽梅, 韩喜国, 等. 石灰性土壤大豆缺铁矫正[J]. *大豆科学*, 2011, 30(3): 463-467.

[8] Fehr W R. Control of iron-deficiency chlorosis in soybeans by plant breeding[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1982, 5: 4-7.

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

[10] 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.

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

[12] 张国平, 马国瑞. 大豆铁营养的遗传和铁高效品种的选育[J]. *大豆科学*, 1996, 5(2): 159-163.

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

[14] 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.

(责任编辑: 范杰英)