

不同大豆品种钼富集因素的主成分分析和聚类分析

徐守俊,孙学成,胡承孝,谭启玲

(华中农业大学 资源与环境学院,微量元素研究中心,湖北 武汉 430070)

摘要:探究不同大豆品种钼吸收和转运差异及其影响因素。以 26 个大豆品种为试验材料,设置低钼和高钼 2 个钼水平,田间条件下生长至成熟期分籽粒、豆荚、茎秆、叶片和根等各部位取样,测定不同部位干物质重和钼含量,并通过计算得出不同部位钼迁移系数,然后对不同部位钼含量和钼迁移系数等 13 个指标进行主成分分析,筛选出了 3 个影响钼富集的主成分,利用筛选出的 3 个主成分结合数学模型: $F_i = A_1ZX_1 + A_2ZX_2 + \dots + A_iZX_p$ 进行计算,并得出其主成分值以及其排序,利用 3 个主成分值在 SPSS 软件中进行聚类分析。结果表明:26 个大豆品种被分为两类,第一类大豆品种有:13028、13030,籽粒具有较高的钼富集能力;第二类大豆品种有 1301、1302、1303、1304、1305、1306、1308、1309、13011、13012、13013、13014、13015、13016、13017、13018、13019、13020、13021、13023、13024、13025、13026、13027,豆荚获取钼能力较强。为将来大豆钼吸收转运研究提供了一定的研究依据,并且提供了良好的试验材料。

关键词:大豆;钼;吸收;转运;主成分分析;聚类分析

中图分类号:S565.03 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2016)增刊-0399-06

doi:10.7668/hbxb.2016.S1.067

Principal Component Analysis and Cluster Analysis of Molybdenum Enrichment Factors in Different Soybean

XU Shoujun, SUN Xuecheng, HU Chengxiao, TAN Qiling

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University,
Microelements Research Centre, Wuhan 430070, China)

Abstract: To explore the differences of molybdenum absorption and transport between various soybean cultivars and the main influence factors of molybdenum absorption and transport. Research method: This research took 26 soybean cultivars as material, two Mo levels (Mo deficient or Mo sufficient) were set. All soybean cultivars were grown to mature period, then the molybdenum concentration and dry weight of each part were sampled and analyzed, and molybdenum transport coefficient between different parts were calculated. The 13 indexes of molybdenum content of each part and molybdenum transport coefficient were chosen to conduct principal component analysis. By principal component, 13 indexes belong to 3 principal components. Three principal components were put into the formula such as $F_i = A_1ZX_1 + A_2ZX_2 + \dots + A_iZX_p$, then we got the value and rank of three principal components. Furthermore, the result of principal component was used to cluster analysis, 26 soybean varieties were clustered into 2 categories: the first kind of soybean variety were 13028, 13030, defined as having a high ability of molybdenum enrichment in seed, the second kind of soybean variety were 1301, 1302, 1303, 1304, 1305, 1306, 1308, 1309, 13011, 13012, 13013, 13014, 13015, 13016, 13017, 13018, 13019, 13020, 13021, 13023, 13024, 13025, 13026, 13027, defined as having a strong ability of molybdenum enrichment in pod. The research results offered references for further study on the characteristic of molybdenum absorption and transport, and offered good experimental material about the differences of molybdenum between divers soybean cultivars.

Key words: Soybean; Molybdenum; Enrichment; Transport; Principal component analysis; Cluster analysis

收稿日期:2016-09-10

基金项目:国家科技支撑计划项目(2014BAD14B02);中央高校基本科研业务费专项基金(2013PY135)

作者简介:徐守俊(1990-),男,河南驻马店人,在读博士,主要从事大豆钼营养研究。

通讯作者:孙学成(1974-),男,湖北房县人,副教授,博士,主要从事植物微量元素营养研究。

钼是植物生长的必需微量元素,其在植物体内的一些生理功能通过参与植物生长过程中一些重要酶的代谢来实现。在植物中,钼参与了硝酸还原酶、固氮酶、醛氧化酶、亚硫酸盐氧化酶、黄嘌呤脱氢酶的代谢过程^[1-4]。大豆是对钼缺乏比较敏感的一种经济作物,钼在大豆固氮过程中起着重要作用^[5-7]。缺钼影响了豆科作物的氮代谢,降低了游离氨基酸的组分以及蛋白质含量,从而造成作物产量以及品质的下降^[8-12]。因此,钼对大豆正常生长具有重要作用。

在我国存在大面积的缺钼土壤,吴明才等^[13]对黄淮、长江中下游等大豆产区 178 个土壤进行分析,缺钼(有效钼含量 < 0.15 ppm)土壤达到 98%。土壤的酸化,土壤中有机质含量的降低,随着生产水平的不断提高将会造成缺钼的土壤越来越多^[14]。尽管通过施钼可以在一定程度上缓解钼缺乏问题^[15],然而植物对外界中钼的利用率比较低,并且外界施入的钼肥比较容易造成土壤重金属的污染以及植物中毒。因此,通过改良作物的营养特性来适应不利的环境条件将会成为最经济有效的一种措施。

研究表明,同一作物不同品种间对钼元素的吸

收利用存在基因型差异^[16],刘鹏等^[17]研究表明大豆对抗缺钼能力存在基因型差异,因此可在钼缺乏土壤上筛选出对大豆具有较高或者较低吸收转运能力的大豆品种,研究大豆对钼的吸收转运钼吸收转运特性差异,进行基因改良培育良种。关于大豆钼吸收转运特性的重要影响因子的研究报道较少,研究众多品种的钼吸收转运特性因子从中筛选出几个重要影响因子,通过对这些特性进行研究,了解其特性,并进行不同大豆品种钼吸收转运差异机制的研究。因此,本研究搜集 26 个的大豆品种对植株地上部钼含量、籽粒钼含量、叶片钼含量、豆荚钼含量、茎秆钼含量、根钼含量以及不同部位间钼迁移系数进行主成分分析和聚类分析,阐明影响大豆钼吸收转运的主要影响因素,为大豆钼吸收转运机理研究提供依据,并为不同品种间钼吸收转运差异的研究提供良好的试验材料。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试品种为全国范围内收集的 26 个大豆纯系品种(表 1)。

表 1 供试大豆品种及代号

Tab.1 Germplasm resources and the codes of soybean in the experiment

编号 Code	品种 Variety	编号 Code	品种 Variety	编号 Code	品种 Variety
1301	东农 53	1312	豫豆 28	1321	徐豆九号(博黄 16)
1302	东农 4400 号	1313	中黄 22	1323	翠扇
1303	东农 54 号	1314	郑 59	1324	中黄 36
1304	东农 42 号	1315	中黄优冠(合豆 5 号)	1325	金大豆 626
1305	东农 47 号	1316	汾豆 72	1326	中黄 13
1306	东农 52 号	1317	郑 196	1327	千斤大豆王
1308	中华大豆王	1318	泗豆 4 号	1328	徐豆 12
1309	中黄 31	1319	临豆 10	1330	K 新早
1311	中黄 42	1320	徐豆 14		

1.2 试验设计

试验于 2013 年在华中农业大学植物营养试验区长期定位试验地进行。试验在钼缺乏土壤上进行,其基本农化性状为:pH 值 4.6(水提),有机质 9.6 g/kg,速效氮(N)81.2 mg/kg,速效磷(P₂O₅)89.02 mg/kg,速效钾(K₂O)239.9 mg/kg,有效钼 0.101 mg/kg。小区面积为 9 m × 4 m,行距 0.3 m,株距 0.1 m,每行种植一个品种,各品种随机播种,重复 3 次,各小区土壤肥力和管理措施均保持一致。播种日期于 5 月 23 日,成熟期收获日期于 8 月 30 日。

1.3 样品采集及分析

在成熟期,每个小区每个品种随机取 6 株长势一致的大豆植株,取大豆各部位(叶片、茎秆、豆荚、

籽粒、根)样品先自来水洗,再用去离子水冲洗 3 次,105 °C 杀青 30 min,70 °C 烘至恒重,测定各部位干物质重及钼含量。

1.4 测定指标

测定指标包括叶片、茎秆、豆荚、籽粒、根的干物质重以及各部位钼含量。

1.5 钼含量的测定

大豆各部位钼含量参考万耀星和刘雄德等^[18]方法在 JP-4000 示波极谱仪进行测定。

1.5 数据分析

采用 Excel 进行数据汇总和计算,用 SPSS 分别对数据进行处理。主成分分析运用差累积贡献率在 80% 以上的前 k 个主成分取代原有的指标,聚类分析采用系统聚类(组间联接方法,平方 Euclidean 距

离为度量标准)的方法^[19]。

2 结果与分析

2.1 不同钼水平下大豆不同品种相关指标的分析

高钼相对于低钼水平下能够明显提高地上部钼含量、籽粒钼含量、豆荚钼含量、叶钼含量(1308品

种除外)、茎秆钼含量、根钼含量。在低钼水平下,各相关指标在不同大豆品种间存在明显差异,其中品种13030籽粒中钼含量是13012籽粒钼含量的11倍,品种13030豆荚向籽粒的迁移系数是品种13012的9.5倍(表2)。由此表明不同品种间相关指标表现出明显差异。

表2 不同钼水平下大豆不同品种成熟期相关指标的平均值

Tab.2 Average of maturity stage characters of soybean varieties at two molybdenum levels

品种 Cultivar	钼水平 Mo levels	地上部钼含量	籽粒钼含量	豆荚钼含量	叶钼含量	茎秆钼含量	根钼含量	茎秆/根	叶/茎秆	豆荚/叶	籽粒/豆荚	地上部/ 地下部
		/(g/g)	/(g/g)	/(g/g)	/(g/g)	/(g/g)	/(g/g)	/(g/g)	Stalk/Root	Leaf/Stalk	Pod/Leaf	Seed/Pod
1301	低钼	0.490	1.155	0.040	0.117	0.081	0.141	0.578	1.438	0.348	28.300	3.467
	高钼	1.649	3.734	0.199	0.227	0.145	0.243	0.596	1.569	0.873	18.762	8.226
1302	低钼	0.451	0.939	0.077	0.134	0.079	0.079	1.006	1.681	0.577	12.125	5.688
	高钼	1.003	2.373	0.243	0.240	0.122	0.234	0.524	1.954	1.014	9.743	4.275
1303	低钼	0.199	0.553	0.164	0.091	0.104	0.181	0.578	0.871	1.802	3.363	1.100
	高钼	0.943	2.235	0.184	0.207	0.144	0.365	0.395	1.441	0.886	12.136	2.582
1304	低钼	0.139	0.321	0.050	0.080	0.042	0.085	0.504	1.875	0.625	6.397	1.629
	高钼	0.710	1.951	0.110	0.248	0.125	0.228	0.551	1.975	0.446	17.601	3.108
1305	低钼	0.177	0.344	0.023	0.135	0.092	0.074	1.237	1.463	0.169	15.071	2.360
	高钼	0.886	1.834	0.155	0.178	0.165	0.243	0.680	1.074	0.873	11.787	3.629
1306	低钼	0.120	0.178	0.022	0.072	0.097	0.075	1.283	0.745	0.310	7.981	1.589
	高钼	0.766	1.746	0.204	0.251	0.120	0.219	0.550	2.081	0.812	8.558	3.491
1308	低钼	0.319	0.595	0.057	0.168	0.044	0.096	0.463	3.780	0.342	10.328	3.320
	高钼	0.694	1.798	0.082	0.117	0.142	0.190	0.749	0.825	0.702	21.732	3.640
1309	低钼	0.160	0.325	0.065	0.121	0.028	0.052	0.546	4.247	0.543	4.936	3.056
	高钼	0.823	1.748	0.105	0.149	0.263	0.233	1.128	0.566	0.709	16.534	3.527
13011	低钼	0.161	0.372	0.056	0.064	0.034	0.136	0.253	1.866	0.876	6.614	1.179
	高钼	0.778	1.857	0.112	0.099	0.126	0.208	0.607	0.787	1.132	16.458	3.727
13012	低钼	0.121	0.220	0.072	0.100	0.049	0.195	0.255	2.008	0.723	3.050	0.620
	高钼	0.891	2.111	0.129	0.113	0.148	0.186	0.797	0.763	1.145	16.296	4.788
13013	低钼	0.161	0.343	0.075	0.067	0.036	0.105	0.350	1.839	1.117	4.538	1.534
	高钼	0.963	2.492	0.210	0.193	0.179	0.288	0.624	1.077	1.086	11.853	3.341
13014	低钼	0.209	0.421	0.108	0.086	0.075	0.179	0.421	1.142	1.259	3.886	1.166
	高钼	0.732	2.228	0.171	0.137	0.594	0.254	2.330	0.232	1.248	12.967	2.871
13015	低钼	0.224	0.512	0.028	0.098	0.080	0.082	0.974	1.226	0.293	17.688	2.706
	高钼	0.961	2.151	0.224	0.135	0.227	0.265	0.858	0.595	1.654	9.591	3.618
13016	低钼	0.333	0.673	0.103	0.111	0.077	0.117	0.661	1.427	0.929	6.529	2.832
	高钼	0.896	2.058	0.242	0.121	0.230	0.299	0.770	0.527	1.995	8.494	2.990
13017	低钼	0.246	0.583	0.068	0.142	0.156	0.085	1.836	0.909	0.483	8.460	2.875
	高钼	1.041	2.232	0.158	0.260	0.569	0.247	2.303	0.458	0.607	14.099	4.209
13018	低钼	0.156	0.456	0.042	0.103	0.061	0.088	0.690	1.692	0.412	10.700	1.754
	高钼	1.308	3.538	0.103	0.145	0.302	0.283	1.066	0.482	0.712	34.148	4.615
13019	低钼	0.192	0.404	0.046	0.099	0.092	0.071	1.294	1.080	0.463	8.786	2.702
	高钼	1.244	3.100	0.242	0.229	0.202	0.265	0.764	1.133	1.055	12.787	4.689
13020	低钼	0.116	0.472	0.045	0.090	0.057	0.103	0.552	1.584	0.499	10.421	1.115
	高钼	0.974	2.587	0.211	0.123	0.123	0.191	0.643	1.005	1.707	12.236	5.081
13021	低钼	0.177	0.427	0.078	0.086	0.035	0.085	0.418	2.429	0.910	5.445	2.085
	高钼	0.930	2.597	0.195	0.182	0.336	0.306	1.099	0.541	1.074	13.255	3.035
13023	低钼	0.199	0.472	0.065	0.142	0.050	0.081	0.612	2.841	0.461	7.201	2.429
	高钼	1.156	2.679	0.160	0.239	0.412	0.275	1.497	0.581	0.669	16.689	4.191
13024	低钼	0.181	0.392	0.049	0.086	0.070	0.139	0.505	1.220	0.578	7.878	1.291
	高钼	1.314	3.166	0.197	0.264	0.300	0.295	1.016	0.880	0.746	16.048	4.439
13025	低钼	0.252	0.601	0.044	0.112	0.076	0.061	1.234	1.478	0.392	13.619	4.089
	高钼	1.024	2.270	0.150	0.173	0.345	0.194	1.773	0.502	0.869	15.095	5.261
13026	低钼	0.213	0.450	0.021	0.137	0.100	0.078	1.278	1.378	0.154	21.260	2.716
	高钼	1.093	2.401	0.133	0.172	0.324	0.275	1.175	0.531	0.776	17.982	3.961
13027	低钼	0.287	0.563	0.062	0.212	0.078	0.087	0.902	2.711	0.293	9.056	3.294
	高钼	0.815	2.042	0.173	0.122	0.228	0.208	1.097	0.534	1.420	11.762	3.905
13028	低钼	0.491	1.007	0.065	0.163	0.271	0.133	2.036	0.602	0.401	15.380	3.680
	高钼	0.987	2.314	0.185	0.155	0.380	0.226	1.685	0.409	1.190	12.470	4.368
13030	低钼	1.139	2.579	0.088	0.156	0.226	0.118	1.916	0.690	0.570	29.001	9.651
	高钼	1.596	5.582	0.464	0.200	0.555	0.452	1.227	0.361	2.315	12.024	3.524

2.2 大豆各相关指标的主成分分析

对不同大豆品种的地上部钼含量、籽粒钼含量、叶片钼含量、豆荚钼含量、茎秆钼含量、根钼含量、豆荚向籽粒钼迁移系数、叶片向豆荚钼迁移系数、茎秆

向叶片钼迁移系数、根向茎秆钼迁移系数、地下部向地上部钼迁移系数、地上部钼累积量、地上部干物质重 13 个指标进行分析,计算原始数据标准化后的特征值、方差贡献率及累计方差贡献率,结果见表 3。

表 3 方差分解主成分提取表
Tab.3 Total variance explained

成分 Component	初始特征值方差/% The percentage of the initial characteristic value of variance			提取平方和载入方差/% Extraction of sum of squares in the percentage of the variance		
	合计 Total		累积/% Accumulation	合计 Total		累积/% Accumulation
1	5.979	45.995	45.995	5.979	45.995	45.995
2	2.860	22.002	67.997	2.860	22.002	67.997
3	1.609	12.378	80.375	1.609	12.378	80.375
4	1.273	9.790	90.165			
5	0.605	4.650	94.815			
6	0.351	2.697	97.512			
7	0.159	1.224	98.736			
8	0.094	0.722	99.458			
9	0.038	0.296	99.754			
10	0.015	0.116	99.870			
11	0.009	0.072	99.941			
12	0.006	0.048	99.989			
13	0.001	0.011	100.000			

通过主成分分析,如表 3 所示,提取 3 个主成分,从表 4(初始因子载荷矩阵)中可知地上部钼含量、籽粒钼含量、茎秆钼含量、根向茎秆迁移系数、豆荚向籽粒迁移系数、地下部向地上部迁移系数、地上部钼累积量在主成分 1 中有较高的载荷,说明主成分 1 基本反映了以上指标的信息;豆荚钼含量、根钼含量、叶向豆荚迁移系数在主成分 2 上表现出较高载荷,说明这些指标基本上代表了主成分 2 的信息;茎秆向叶片迁移系数在主成分 3 上具有较高载荷,说明其代表主

成分 3 的信息。因此,可以利用 3 个主成分反映全部的指标信息,可以用 3 个变量代替 13 个变量进行分析。通过对不同指标在 3 个主成分因子上的载荷大小进行分析地上部钼含量、籽粒钼含量、茎秆钼含量、根向茎秆迁移系数、豆荚向籽粒迁移系数、地下部向地上部迁移系数、地上部钼累积量这个些指标表示籽粒富集钼的能力,可以把主成分 1 成为籽粒富集钼能力,同理主成分 2 可称为根和叶向豆荚中钼转移能力,主成分 3 称为茎秆向叶片的迁移系数。

表 4 初始因子载荷矩阵
Tab.4 Component Matrix

	成分 Component		
	1	2	3
地上部钼含量 Shoot Mo concentration	0.915	0.268	0.079
籽粒钼含量 Seed Mo concentration	0.900	0.298	0.045
豆荚钼含量 Pod Mo concentration	-0.026	0.851	0.450
叶钼含量 Leaf Mo concentration	0.627	-0.330	0.530
茎秆钼含量 Stalk Mo concentration	0.825	0.194	-0.161
根钼含量 Root Mo concentration	-0.111	0.808	-0.039
根向茎秆迁移系数 Root to stem migration coefficient	0.797	-0.200	-0.212
茎秆向叶迁移系数 Stalk to leaf migration coefficient	-0.345	-0.391	0.717
叶向豆荚迁移系数 Leaf to pod migration coefficient	-0.360	0.873	0.187
豆荚向籽粒迁移系数 Pod to seed migration coefficient	0.788	-0.191	-0.322
地下部向地上部迁移系数 Root to shoot migration coefficient	0.904	-0.020	0.165
地上部干物质重 Shoot weight	0.192	-0.358	0.575
地上部钼累积量 Shoot Mo accumulation	0.942	0.235	0.184

但是这 3 个新变量的表达不能直接获取,因为“Component Matrix”是指初始因子载荷矩阵,每一个载荷量表示主成分与对应变量的相关系数。用表 4 中的数据除以主成分相对应的特征值开平方根便得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数用 A_i 表示,

然后用 A_i 乘以对应的标准化后数据,其数学模型可如下所示: $F_i = A_1ZX_1 + A_2ZX_2 + \dots + A_iZX_p$; A_i 表示主成分对应的系数, ZX_p 表示标准化之后的数值。按以上数学模型进行计算,可得 3 个主成分的综合主成分值及其排序,结果如表 5 所示。

表 5 三个主成分的综合主成分值及排序

Tab. 5 The values of three comprehensive components and sequencing

品种编号 Cultivar	第一主成分 F1 First principal component	排序 Rank	第二主成分 F2 Second principal component	排序 Rank	第三主成分 F3 Third principal component	排序 Rank
1301	1.768	4	0.311	11	-1.509	24
1302	1.793	3	0.073	12	0.710	5
1303	-1.588	20	4.933	1	0.694	6
1304	-1.909	22	-0.392	13	-0.485	18
1305	0.342	9	-2.108	26	-0.774	20
1306	-0.991	16	-1.195	19	-2.364	26
1308	0.050	11	-1.513	22	2.580	3
1309	-1.439	18	-1.830	24	2.670	1
13011	-2.200	24	0.641	7	0.113	11
13012	-2.585	26	1.438	5	0.081	12
13013	-2.360	25	1.114	6	-0.010	14
13014	-1.809	21	2.984	2	0.222	9
13015	0.300	10	-1.326	20	-1.237	22
13016	-0.232	12	1.590	4	0.646	7
13017	1.659	5	-0.731	16	0.524	8
13018	-0.812	14	-0.994	18	-0.305	17
13019	-0.326	13	-0.588	15	-1.674	25
13020	-1.283	17	-0.490	14	-0.556	19
13021	-2.009	23	0.547	9	0.159	10
13023	-0.963	15	-0.788	17	0.743	4
13024	-1.565	19	0.636	8	-1.440	23
13025	0.882	8	-1.390	21	-0.117	15
13026	0.983	7	-2.018	25	-1.214	21
13027	1.048	6	-1.761	23	2.666	2
13028	4.371	2	0.457	10	-0.124	16
13030	8.875	1	2.398	3	0.002	13

2.3 聚类分析

利用主成分分析结果进行聚类分析,聚类分析指标为主成分所提取的主因素分别为主成分 1、主成分 2 和主成分 3,所用数据如表 5 所示。利用 SPSS 通过系统聚类方法进行分析,结果如图 1 所示。可将 26 个大豆品种分为两类,第一类大豆品种有:13028、13030;第二类大豆品种有 1301、1302、1303、1304、1305、1306、1308、1309、13011、13012、13013、13014、13015、13016、13017、13018、13019、13020、13021、13023、13024、13025、13026、13027。

结合表 5 中个主成分综合评价得分分析可知,第一类大豆品种在主成分 1 上综合得分排名为前 2 位表现突出,而在主成分 2 豆荚中钼的来源,主成分 3 茎秆向叶片的迁移系数中表现一般,由此得出第一类大豆品种为籽粒钼富集能力强的大豆品种,同理可得出第二类大豆品种为豆荚中钼获取能力较强品种。

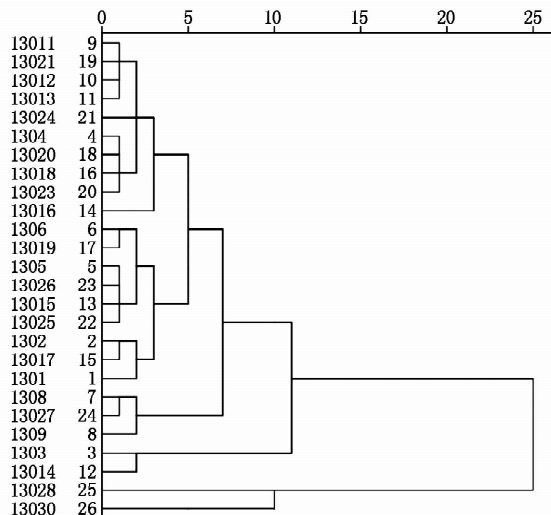


图 1 利用 3 个主成分综合得分对 26 个不同品种大豆进行聚类分析

Fig. 1 Clustering results of soybean varieties by using the factor scores

3 讨论与结论

通过对 26 个大豆品种的 13 个钼吸收转运相关指标进行主成分分析,最终筛选出了影响大豆钼吸收转运的 3 个主成分,其分别是籽粒钼富集能力、豆荚中钼获取能力和茎秆向叶片的钼转移能力,利用这 3 个钼吸收转运影响因子进一步研究不同大豆品种钼吸收转运差异提供了参考依据。其中籽粒钼含量和地上部钼含量呈正相关关系,刘鹏等^[20]研究表明大豆籽粒中钼含量占整个地上部钼含量的 50% 以上,这与本研究结果相符;豆荚向籽粒的钼迁移系数在因子 1 上有较大载荷,说明豆荚向籽粒的钼迁移系数是影响钼转运能力的一个重要指标,Ishizuka 等^[21]研究表明在大豆成熟期豆荚中的钼大量向籽粒中转移,这与以上研究结果相一致。

目前利用因子分析和聚类分析方法进行不同大豆品种钼吸收转运差异的研究尚无人进行,并且钼吸收转运能力存在基因型差异。本研究基于影响大豆钼吸收转运的相关指标进行了一系列分析,通过聚类分析,将 26 个品种分为二类。第一类大豆品种的地上部钼含量、籽粒钼含量、茎秆钼含量、叶向豆荚迁移系数、豆荚向籽粒迁移系数、地下部向地上部迁移系数等指标表现突出,这些指标反映了大豆籽粒富集钼的能力,说明这些品种在缺钼条件下籽粒具有较强的钼富集能力,因此,这类大豆品种可以作为良好的试验材料进行钼高富集大豆品种生理生化差异的研究;第二类豆荚钼含量、根钼含量、叶向豆荚迁移系数和茎秆向叶迁移系数等指标表现较突出,而在其他方面表现一般,因此,此类大豆品种豆荚获取钼能力较强而籽粒钼累积能力较弱,可作为对照材料研究不同品种之间存在钼累积差异机制。

参考文献:

[1] Mendel R R, Hänsch R. Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(375): 1689 - 1698.

[2] Burgess B K, Lowe D J. Mechanism of molybdenum nitrogenase[J]. *Chemical Reviews*, 1996, 96(7): 2983 - 3012.

[3] 吴自明, 谭雪明, 韩瑞才, 等. 高等植物黄嘌呤脱氢酶的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(21): 159 - 163.

[4] Zhou Z, Wang H, Yu P, et al. Structure and spectroscopy of a bidentate bis-homocitratodioxo-molybdenum (VI) complex; insights relevant to the structure and properties of the FeMo-cofactor in nitrogenase[J]. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2013, 118(1): 100 - 106.

[5] Janssen K A, Vitosh M L. Effect of lime, sulfur, and molybdenum on N₂ fixation and yield of dark red kidney

beans[J]. *Agronomy Journal*, 1974, 66(6): 736 - 740.

[6] Jabbar B K, Saud H M, Othman R, et al. Effect of Azospirillum in association with molybdenum on enhanced biological nitrogen fixation, growth, yield and yield contributing characters of soybean[J]. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2014, 1212(2): 302 - 306.

[7] Mungai N W, Baijukya F P. Effect of tillage on biological nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2014, 8(8): 1140 - 1146.

[8] Kandil H, Gad N, Abdelhamid M T. Effects of different rates of phosphorus and molybdenum application on two varieties common bean of (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. *J Agric Food Tech*, 2013, 3(3): 8 - 16.

[9] Costa D S, Oliveira J S, Sa M E, et al. Foliar application of calcium and molybdenum in common bean plants: yield and seed physiological potential [J]. *Agriculturae Sciences*, 2014, 5(11): 1037 - 1045.

[10] Hristozkova M, Geneva M, Stancheva I. Regulation of nitrogen assimilation in foliar fed legume plants at insufficient molybdenum supply [J]. *Microbiology Monographs*, 1970, 18(4): 417 - 431.

[11] Neto D D, Aparecido Dario G J, Martin T N, et al. Mineral fertilizer with cobalt and molybdenum in soybean [J]. *Semina-Ciencias Agrarias*, 2012, 33(1): 2741 - 2751.

[12] Farooq M, Wahid A, Siddique K H. Micronutrient application through seed treatments: a review [J]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, 12(1): 125 - 142.

[13] 吴明才, 肖昌珍. 大豆钼素研究 [J]. *大豆科学*, 1994, 13(3): 245 - 251.

[14] Delgado Almeida F F, Araujo A P, Rodrigues Alves B J. Seeds with high molybdenum concentration improved growth and nitrogen acquisition of rhizobium-inoculated and nitrogen-fertilized common bean plants [J]. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 2013, 37(2): 367 - 378.

[15] Hashimoto K, Yamasaki S. Effects of Molybdenum application on the yield, nitrogen nutrition and nodule development of soybeans [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1976, 22(4): 435 - 443.

[16] 喻敏, 王运华. 冬小麦不同基因型的钼效率及其生理基础 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2000.

[17] 刘鹏, 杨玉爱. 大豆抗缺钼胁迫的基因型筛选 [J]. *中国油料作物学报*, 2001, 23(4): 65 - 70.

[18] 万耀星, 刘雄德, 李正艳. 土壤有效钼及植物全钼的示波极谱测定 [J]. *土壤通报*, 1988, 19(1): 43 - 46.

[19] 张桂英, 张国权, 罗勤贵, 等. 陕西关中小麦品质性状的因子及聚类分析 [J]. *麦类作物学报*, 2010, 30(3): 548 - 554.

[20] 刘鹏, 吴建之, 杨玉爱. 钼、硼供给水平对大豆钼、硼吸收与分配的影响 [J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2005, 31(4): 399 - 407.

[21] Ishizuka J. Characteristics of molybdenum absorption and translocation in soybean plants [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1982, 28(1): 63 - 77.