

# 不同基因型大豆苗期耐低磷特性研究

王晶琴, 石贵阳, 杨松花, 陈竹\*

贵州大学农学院, 贵州 贵阳  
Email: \*274586492@qq.com

收稿日期: 2021年6月2日; 录用日期: 2021年6月29日; 发布日期: 2021年7月6日

## 摘 要

为研究不同基因型大豆耐低磷能力, 筛选磷高效大豆品种, 选用4个不同生态类型的大豆品种, 在营养液水培条件下进行耐低磷研究。测定各大豆苗期生物量、根系形态、磷含量和磷利用效率等21个形态和生理指标, 结果表明: 低磷胁迫下, 大豆苗期叶面积、地上部和地下部生物量、根系表面积、叶绿素含量、地上部和地下部磷含量和磷积累量下降, 而磷利用效率升高。所有指标在各品种间存在显著差异, 可用于评价大豆耐低磷能力。灰色关联分析表明: 川豆14耐低磷性最强, 晋豆23号次之, 滇86-4和矮选较弱。

## 关键词

大豆, 低磷胁迫, 灰色关联分析, 耐低磷

# Study on the Characteristics of Low Phosphorus Tolerance of Soybean of Different Genotypes at Seedling Stage

Jingqin Wang, Guiyang Shi, Songhua Yang, Zhu Chen\*

College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang Guizhou  
Email: \*274586492@qq.com

Received: Jun. 2<sup>nd</sup>, 2021; accepted: Jun. 29<sup>th</sup>, 2021; published: Jul. 6<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In order to study the low phosphorus tolerance of different genotypes of soybean, four soybean varieties with different ecological types were selected to study their low phosphorus tolerance

\*通讯作者。

under hydroponic conditions. Twenty-one morphological and physiological indexes such as biomass, root morphology, phosphorus content and phosphorus use efficiency of soybean seedlings were measured. The results showed that under low phosphorus stress, leaf area, dry and fresh weight of above and underground parts of the seedlings, root surface area, chlorophyll content, phosphorus content and phosphorus accumulation decreased, while phosphorus use efficiency increased. All indexes were significantly different among varieties, which could be used to evaluate the low phosphorus tolerance of soybean. Grey relation analysis suggests that the tolerance of the four rootstocks to low phosphorus is in order of Chuandou 14 > Jindou 23 > Dian 86-4 > Aixuan.

## Keywords

Soybean, Low Phosphorus Stress, Grey Correlation Analysis, Low Phosphorus Tolerance

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

大豆是我国重要的植物油脂和蛋白来源[1]。大豆是喜磷作物，磷的供应是影响其生长发育及产量品质的关键因子[2]。施磷是目前缓解大豆磷胁迫的最主要方式，但由于磷的化学特性，施入土壤中的磷肥大部分被土壤中的铁、铝或钙离子固定，难以被作物吸收利用，造成磷肥的当季利用率只有 15%，包括后效在内一般也不超过 25% [3]。过量施磷还会导致严重的环境污染，并消耗了有限的磷矿资源。挖掘大豆自身的潜力，培育和筛选耐低磷品种是提高大豆产量的重要途径[4]。

对东北、华北等区域大豆品种的研究表明，相对地上部干重[5]、根长、根表面积[6]、磷效率[7]是筛选耐低磷大豆品种的重要指标。但分子生物学研究表明：植物磷效率受多基因控制，因此采用单一指标难以准确鉴定植物耐低磷能力[8]。灰色关联分析将众多性状综合为一个灰色系统，计算关联度并判断各性状的重要性，克服了评判的主观性[9]。被广泛应用于大豆[10]、小麦[11]、玉米[12]、糯高粱[13]种质资源的筛选评价。本研究采用室内水培法，研究低磷胁迫下不同基因型大豆幼苗生长、根系形态及生理特性等差异，并通过灰色关联分析对各品种大豆的耐低磷能力综合评价，旨在为南方耐低磷大豆的筛选及育种提供理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 供试材料

供试大豆品种为“矮选”、“川豆 14”、“晋豆 23 号”和“滇 86-4”，均由贵州大学农学院何进教授提供。

### 2.2. 试验方法

试验设正常供磷的对照处理(0.5 mmol/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , NP)和低磷胁迫处理(0.02 mmol/L,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , LP)，每个品种每个处理设 3 次生物学重复。选取大小均匀的大豆种子，1%次氯酸钠浸泡 5 min 后用无菌水洗净，避光发芽。幼苗发芽后先移入灭菌基质中栽培，待子叶展开后，移入光照培养箱，营养液水培，每小时向营养液通气 15 min，每 3 d 用 0.1 mol/L 的 KOH 或 HCl 调节营养液 pH 值至 5.9~6.0。

### 2.3. 主要测定指标与方法

叶绿素含量使用 SPAD-502 叶绿素仪测定；株高用直尺直接测定；茎粗用游标卡尺测定；根长、根表面积、根体积、根尖数等根系形态指标用 Win-RHIZO 分析系统进行分析。植株收取后先置于烘箱内 105℃ 杀青 30 min，之后 75℃ 烘干至恒重，分别称量地下部和地上部干重；磷含量用钒钼黄比色法测定。磷积累量(mg/株) = 含磷量 × 生物量 × 1000；磷利用率(g/mg) = 生物量/磷积累量；根冠比 = 地下部干重/地上部干重。

### 2.4. 数据分析

采用 SPSS 18.0 软件对实验数据进行分析。为了消除不同大豆基因型间固有的生物学和遗传学特性差异的影响，本试验采用相对耐低磷指数，通过利用灰色关联分析综合评价 4 个大豆品种耐低磷胁迫能力的强弱。

耐低磷胁迫指数的计算公式：低磷胁迫指数 = 低磷胁迫下的指标值/正常供磷下的指标值 × 100%。

灰色关联度的计算公式[14]： $r_i = 1/n \sum_{k=1}^n \xi_i(k)$  式中， $n$  表示性状数， $k$  表示品种数， $\xi$  表示关联系数， $i$  表示品种序号。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 低磷胁迫对不同基因型大豆苗期相关农艺性状的影响

#### 3.1.1. 低磷胁迫对大豆植株地上部生长的影响

与正常供磷相比，低磷胁迫条件下 4 个大豆品种的叶面积、地上部干重和鲜重降低(表 1)，降幅分别为 34.1%~86.3%、4.2%~74.3% 和 15.7%~73.7%，不同品种降幅存在显著差异。低磷胁迫下，晋豆 23 号和川豆 14 的株高和茎粗均较正常供磷增加，而矮选和滇 86-4 的株高和茎粗减少。在正常供磷和低磷胁迫条件下，滇 86-4 的株高、叶面积和地上部干鲜重均高于其他三个品种。

**Table 1.** Effects of low phosphorus stress on shoot growth of different soybean genotypes

**表 1.** 低磷胁迫对不同基因型大豆幼苗地上部生长的影响

基因型	株高/cm	茎粗/mm	叶面积/mm <sup>2</sup>	地上部鲜重/g	地上部干重/g
正常供磷					
矮选	9.9 ± 0.71 b	3.33 ± 0.30 a	219.27 ± 32.14 bc	6.18 ± 1.71 b	0.74 ± 0.21 b
晋豆 23 号	11.7 ± 0.61 b	3.64 ± 0.37 a	359.60 ± 40.90 b	5.29 ± 1.06 b	0.71 ± 0.15 b
滇 86-4	16.2 ± 1.71 a	3.63 ± 0.23 a	524.43 ± 77.57 a	12.76 ± 2.63 a	1.64 ± 0.35 a
川豆 14	10.4 ± 0.98 b	2.39 ± 0.14 b	141.50 ± 27.44 c	2.94 ± 0.21 b	0.44 ± 0.04 b
低磷胁迫					
矮选	7.7 ± 0.96 b	2.41 ± 0.15 b	39.27 ± 14.33 b	1.63 ± 0.35 b	0.19 ± 0.04 c
晋豆 23 号	12.6 ± 2.25 a	3.65 ± 0.60 a	49.23 ± 7.80 b	4.34 ± 0.67 ab	0.68 ± 0.08 b
滇 86-4	13.1 ± 0.51 a	3.30 ± 0.14 ab	345.90 ± 44.42 a	7.53 ± 0.11 a	0.96 ± 0.03 a
川豆 14	12.3 ± 0.87a	2.53 ± 0.05 b	55.23 ± 2.63 b	2.48 ± 0.12 ab	0.41 ± 0.01 bc

注：表中数据为平均值±标准误。同一磷处理下标的不同小写字母表示在 0.05 水平显著差异。下同。

#### 3.1.2. 低磷胁迫对大豆植株根系生长的影响

低磷胁迫下，除川豆 14 根系平均直径和体积增加外(表 2)，其余大豆品种的根系平均直径、根系体积、

根表面积和根尖数均降低, 降幅分别为 15.5%~38.5%、44.2%~78.7%、17.1%~64.1%和 4.5%~36.0%, 其中降幅最大的 2 个品种为矮选和滇 86-4。低磷胁迫下, 矮选和川豆 14 的根冠比与正常供磷处理相比没有显著性差异, 而晋豆 23 号和滇 86-4 的根冠比显著下降, 降幅分别为 37.5%和 23.7%。低磷和正常供磷条件下, 滇 86-4 最长根长、根系平均直径、根系体积和表面积、根系干重以及根尖数均显著高于其他大豆品种。

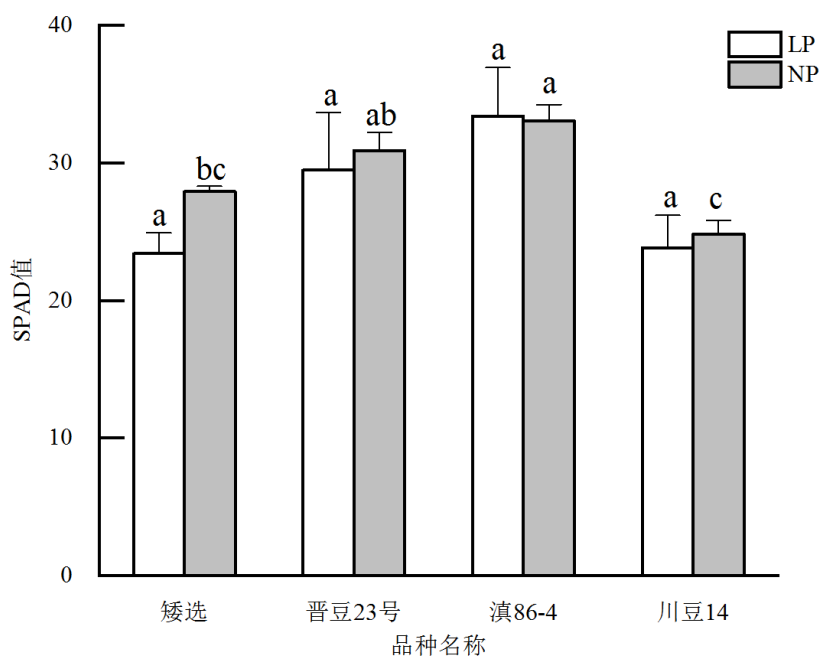
**Table 2.** Effects of low phosphorus stress on root growth of different soybean varieties

**表 2.** 低磷胁迫对不同品种大豆根系生长的影响

基因型	最长根长/cm	平均直径/mm	根系体积/cm <sup>3</sup>	根系表面积/cm <sup>2</sup>	根系干重/g	根尖数	根冠比
正常供磷							
矮选	40.7 ± 2.79 ab	1.04 ± 0.15 a	3.47 ± 1.05 b	128.27 ± 20.55 b	0.22 ± 0.08 b	474 ± 65.55 b	0.29 ± 0.02 ab
晋豆 23 号	43.2 ± 1.15 ab	0.91 ± 0.12 ab	3.19 ± 0.69 bc	137.82 ± 11.58 b	0.28 ± 0.10 b	595 ± 47.16 b	0.40 ± 0.01 a
滇 86-4	48.3 ± 5.09 a	1.10 ± 0.05 a	6.94 ± 0.25 a	253.56 ± 9.92 a	0.57 ± 0.07 a	1017 ± 119.48 a	0.38 ± 0.07 a
川豆 14	32.8 ± 2.46 b	0.61 ± 0.05 b	1.19 ± 0.08 c	78.43 ± 4.80 c	0.10 ± 0.01 b	487 ± 84.05 b	0.24 ± 0.01 b
低磷胁迫							
矮选	28.3 ± 7.36 a	0.64 ± 0.02 b	0.74 ± 0.17 b	46.09 ± 9.80 bc	0.05 ± 0.01 c	358 ± 30.73 a	0.28 ± 0.02 a
晋豆 23 号	42.5 ± 7.15 a	0.69 ± 0.02 b	1.78 ± 0.45 b	101.64 ± 24.32 ab	0.15 ± 0.05 b	531 ± 164.14 a	0.25 ± 0.04 ab
滇 86-4	38.9 ± 1.73 a	0.93 ± 0.08 a	3.38 ± 0.40 a	144.48 ± 4.28 a	0.28 ± 0.02 a	651 ± 63.50 a	0.29 ± 0.01 a
川豆 14	31.8 ± 2.57 a	0.78 ± 0.07 ab	1.25 ± 0.06 b	65.03 ± 4.53 c	0.10 ± 0.01 bc	465 ± 21.67 a	0.23 ± 0.02 b

### 3.2. 低磷胁迫对叶绿素含量的影响

低磷胁迫下除滇 86-4 外(图 1), 其余品种叶绿素含量降低, 其降幅矮选 > 晋豆 23 号 > 川豆 14, 分别为 16.1%、4.5%和 4.0%, 说明这些品种的叶片叶绿素含量对低磷胁迫较为敏感。



注: LP: 低磷胁迫; NP: 正常供磷。柱上不同小写字母表示在 0.05 概率水平差异显著。

**Figure 1.** Effects of low phosphorus stress on chlorophyll content in leaves of different soybean varieties

**图 1.** 低磷胁迫对不同品种大豆叶片叶绿素含量的影响

### 3.3. 低磷胁迫对不同基因型大豆磷含量、磷积累量及磷利用效率的影响

低磷胁迫下各基因型大豆的地上部和地下部磷含量及磷积累量呈降低趋势，而磷利用效率均较正常供磷升高。正常供磷下，各基因型大豆地上部磷含量和地下部磷含量分别为 1.64~2.53% 和 1.04~2.10%，而低磷胁迫下地上部磷含量和地下部磷含量分别是 0.73~1.97% 和 0.42~0.83%；各基因型大豆的地上部和地下部磷积累量降幅最大的品种都是矮选，幅度达 79.7% 和 89.0%，滇 86-4 次之，而磷利用效率增幅最大的品种是矮选(72.9%)，晋豆 23 号和滇 86-4 次之(表 3)。

**Table 3.** The effect of low phosphorus stress on phosphorus content, phosphorus accumulation and phosphorus utilization efficiency of different soybean varieties

**表 3.** 低磷胁迫对不同大豆品种磷含量、磷积累量及磷利用效率的影响

基因型	地上部磷含量/%	地上部磷积累量/(mg/株)	地上部磷利用效率/(g/mg)	地下部磷含量/%	地下部磷积累量/(mg/株)	地下部磷利用效率/(g/mg)
正常供磷						
矮选	2.34 ± 0.13 a	17.80 ± 5.98 b	0.16 ± 0.04 ab	1.72 ± 0.20 b	3.90 ± 0.75 bc	0.06 ± 0.01 ab
晋豆 23 号	2.39 ± 0.16 a	16.58 ± 3.01 b	0.15 ± 0.03 ab	2.10 ± 0.04 a	5.92 ± 1.12 b	0.05 ± 0.00 b
滇 86-4	1.64 ± 0.11 b	42.15 ± 10.05 a	0.07 ± 0.02 b	1.75 ± 0.02 b	10.04 ± 1.24 a	0.06 ± 0.00 ab
川豆 14	2.53 ± 0.13 a	7.27 ± 0.96 b	0.23 ± 0.02 a	1.04 ± 0.21 b	1.06 ± 0.18 c	0.11 ± 0.03 a
低磷胁迫						
矮选	1.97 ± 0.04 a	3.62 ± 0.52 a	0.59 ± 0.16 a	0.83 ± 0.03 a	0.43 ± 0.09 a	0.12 ± 0.01 b
晋豆 23 号	1.21 ± 0.18 b	11.26 ± 2.90 a	0.22 ± 0.08 b	0.81 ± 0.29 a	1.49 ± 0.91 a	0.15 ± 0.07 ab
滇 86-4	0.73 ± 0.05 c	15.75 ± 1.21 a	0.10 ± 0.00 b	0.70 ± 0.10 a	2.00 ± 0.39 a	0.15 ± 0.04 ab
川豆 14	1.81 ± 0.06 a	4.06 ± 0.40 a	0.25 ± 0.00 b	0.42 ± 0.07 a	0.44 ± 0.11 a	0.25 ± 0.08 a

### 3.4. 不同大豆品种苗期耐低磷胁迫综合评价

各品种参与综合评价的胁迫指数列于表 4，由表 4 可知，一个品种不是在所有的耐低磷指标上都表现突出。采用单一指标评价大豆的耐低磷能力具有一定的片面性，用多个指标进行综合评价更具科学性。灰色关联分析可将各项形态指标和生理生化指标的耐低磷胁迫指数综合成关联度，并根据关联度对品种的耐低磷胁迫能力作出评价。取所有每个指标上的最优值构造一个参考品种。视每个指标同等重要，经分析得出关联度列于表 5。川豆 14 的灰色关联度  $r_i = 0.8396$ ，与各品种间相比其关联度最大，表明它与参考品种最接近，是耐低磷胁迫性最强的大豆品种；耐低磷胁迫性中等的大豆品种是晋豆 23 号，关联度  $r_i$  为 0.7001；耐低磷胁迫性较差的大豆品种是滇 86-4 和矮选，关联度  $r_i$  分别为 0.5788 和 0.5520。

**Table 4.** Stress index of soybean morphological index and physiological and biochemical index

**表 4.** 大豆形态指标和生理生化指标的胁迫指数

指标	耐低磷胁迫指数(%)			
	矮选	晋豆 23 号	滇 86-4	川豆 14
SPAD 值	83.9	95.5	101.0	96.0
株高	78.1	108.4	81.0	118.9
茎粗	72.2	100.2	91.0	105.7

## Continued

叶面积	17.9	13.7	66.0	39.0
地上部鲜重	26.3	100.8	59.0	118.3
地上部干重	25.7	95.8	58.4	101.2
最长根长	69.6	98.4	80.5	96.9
根平均直径	61.2	76.4	84.9	126.9
总根体积	21.3	55.7	48.8	104.4
总根表面积	35.9	73.7	57.0	82.9
总根长	58.1	94.6	67.2	66.6
地下部鲜重	31.8	60.0	51.2	101.9
地下部干重	24.4	53.3	49.1	98.8
根尖数	75.5	106.1	64.0	95.4
根冠比	97.7	63.3	77.2	95.8
地上部磷含量	83.9	50.5	44.6	71.6
地上部磷积累量	20.3	67.9	37.4	55.9
地上部磷利用效率	376.5	141.4	147.6	95.7
地下部磷含量	48.1	38.7	39.9	40.7
地下部磷积累量	11.1	25.2	19.9	41.6

Table 5. Grey correlation degree and low phosphorus tolerance of varieties

表 5. 各品种的灰色关联度及耐低磷能力排序

品种	矮选	晋豆 23 号	滇 86-4	川豆 14
关联度	0.5520	0.7001	0.5788	0.8396
排序	4	2	3	1

## 4. 结论与讨论

缺磷是限制 43% 的陆地生产力的主导因素[15]。选育耐低磷型品种是提高作物产量及品质、促进低磷地区农业发展的有效途径。目前,人们一般采用在低磷胁迫条件下测定植物各生长指标或生理生化指标来评价其耐低磷特性[16]。本研究选取了 4 种不同的大豆品种,在苗期设置低磷和正常供磷处理,于苗期测定磷利用效率相关的形态和生理指标以评价各品种的耐低磷能力。结果表明:低磷胁迫下,大豆的株高、地上部和地下部干重、最长根长、叶面积、叶绿素含量、根表面积、根体积等指标在各品种间差异显著,可以用于评价大豆耐低磷能力。

对模式植物拟南芥的研究表明,低磷会抑制初生根生长、促进侧根的生长和根毛的发育,对玉米、水稻、菜豆、白羽扇豆等作物的研究也获得了相同的结论[17]。王树起[18]等研究表明低磷胁迫下大豆品种黑农 35 的根长、根表面积和根体积均比正常供磷条件下增加。但在本研究中,除川豆 14 外,其余品种在低磷胁迫下都表现出根系体积下降、根系鲜重和干重降低,侧根发育减少的趋势。金剑[19]等和张彦丽[20]对东北不同大豆基因型的研究也表明:不施磷处理下,大豆根系生物量、根长、根表面积和根体积都显著低于施磷处理。大豆的根系构型受基因型影响[21],磷效率高的品种会在低磷胁迫时增加根系长度甚至改变根系构型[22]。灰色关联分析法表明:本研究中耐低磷胁迫性最强的品种是川豆 14,除根系体

积和根系鲜重增加外,低磷胁迫下,川豆 14 还表现出地下部磷利用效率升高。

值得注意的是,虽然耐低磷能力不强,但无论在低磷还是正常供磷水平下,滇 86-4 地上部和地下部生长状况,以及叶绿素含量都优于其他品种。滇 86-4 是云南省农业科学院选育的夏大豆品种,生长势强,特别耐荫[23]。本实验是在光照培养箱中开展,光照度较低,这可能是滇 86-4 苗势较好的原因。但低磷胁迫下,滇 86-4 地上和地下部生物量下降 50%,地上部磷累积量降幅高达 63%。苗期是大豆的磷肥营养临界期,缺磷会对幼苗生长和最终产量产生严重影响。因此,种植包括滇 86-4、矮选在内的耐低磷能力较弱的品种时,要注意增施磷肥。

## 基金项目

国家自然科学基金地区基金项目(31860115);国家自然科学基金地区基金项目(32060427);贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2018]100);贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2019]2399);贵州大学线上线下混合式课程建设项目《植物营养学》。

## 参考文献

- [1] 王连铮,郭庆元.现代中国大豆[M].北京:金盾出版社,2007.
- [2] 董钻.大豆产量生理[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [3] 王庆仁,李继云,李振声.植物高效利用土壤难溶态磷研究动态及展望[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):107-116.
- [4] 刘海旭,吴俊江,王金生,等.大豆耐低磷研究进展[J].大豆科学,2017,36(4):639-644.
- [5] Pan, X.-W., et al. (2008) Assessment on Phosphorus Efficiency Characteristics of Soybean Genotypes in Phosphorus-Deficient Soils. *Agricultural Sciences in China*, 7, 958-969. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60135-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60135-2)
- [6] 张彦丽,贾健辉,赵月琪,等.大豆苗期耐低磷筛选指标的研究[J].安徽农业科学,2010,38(10):5506-5507,5510.
- [7] 王英,李喜焕,张彩英.河北大豆地方品种耐低磷种质筛选[J].大豆科学,2009,28(4):588-594.
- [8] Lam, H.M., Xu, X., Liu, X., et al. (2010) Resequencing of 31 Wild and Cultivated Soybean Genomes Identifies Patterns of Genetic Diversity and Selection. *Nature Genetics*, 42, 1053-1059. <https://doi.org/10.1038/ng.715>
- [9] 王正航,武仙山,吕小平,等.小麦旗叶叶绿素含量及荧光动力学参数与产量的灰色关联度分析[J].作物学报,2010,6(2):217-227.
- [10] 申忠宝,王建丽,潘多锋,等.大豆单株产量与主要农艺性状的灰色关联度分析[J].中国农学通报,2012,28(33):75-77.
- [11] 王永士,郭瑞林,贺德先,等.灰色关联度分析法在安阳市强筋小麦适宜品种筛选中的应用[J].麦类作物学报,2009,29(2):271-274.
- [12] 李凤艳,张兴华,张仁和.玉米优异地方种质资源的筛选与评价[J].植物遗传资源学报,2003,4(3):225-227.
- [13] 吴兆发,罗胡科,刘黔,等.应用灰色关联分析法筛选优质酒用糯高粱种质[J].种子,2012,31(6):61-65.
- [14] 张薇,曹连甫,吕新,等.用灰色关联度分析评价大麦区试品种[J].种子,2000(1):21-22+25.
- [15] Du, E.Z., et al. (2020) Global Patterns of Terrestrial Nitrogen and Phosphorus Limitation. *Nature Geoscience*, 13, 221-226. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0530-4>
- [16] 张美俊,乔治军,杨武德,等.不同糜子品种对低氮胁迫的生物学响应[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):661-669.
- [17] Niu, Y.F., Chai, R.S., Lei, J.G., et al. (2013) Responses of Root Architecture Development to Low Phosphorus Availability: A Review. *Annals of Botany*, 112, 391-408. <https://doi.org/10.1093/aob/mcs285>
- [18] 王树起,韩晓增,严君,等.缺磷胁迫对大豆根系形态和氮磷吸收积累的影响[J].土壤通报,2010,41(3):644-650.
- [19] 金剑,王光华,刘晓冰,等.不同施磷量对大豆苗期根系形态性状的影响[J].大豆科学,2006,25(4):360-364.
- [20] 张彦丽.不同磷效率大豆基因型根形态构型对低磷胁迫的响应[J].中国农学通报,2010,26(14):182-185.

- [21] 赵静, 付家兵, 廖红, 等. 大豆磷效率应用核心种质的根构型性状评价[J]. 科学通报, 2004, 49(13): 1249-1257.
- [22] 王聪, 刘玉平, 李秀辉, 等. 磷胁迫下不同基因型大豆苗期根系形态及生物量的差异[J]. 中国农学通报, 2005, 21(2): 155-159.
- [23] 赵银月, 詹和明, 代希茜, 等. 云南间作大豆耐荫性综合评价及鉴定指标筛选[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(1): 81-91.