

桂西北岩溶地区中国特有植物任豆种子性状差异及影响因素分析

马秋妮¹, 邓慧莲^{1,2}, 覃勇荣^{1*}, 刘旭辉^{1*}, 罗春宇¹, 苏黎颖¹

¹河池学院化学与生物工程学院, 广西 河池

²广西师范大学生命科学学院, 广西 桂林

收稿日期: 2025年8月12日; 录用日期: 2025年9月16日; 发布日期: 2025年9月24日

摘要

为说明桂西北岩溶地区任豆种子的性状差异及其影响因素, 观测了不同种源任豆种子的长度、宽度、厚度、百粒质量、长厚比、长宽比6个表型性状, 并对不同种源地土壤基本理化特性及气候地理条件与任豆种子表型性状的相关性进行比较分析。结果表明: 1) 桂西北岩溶地区不同种源任豆种子的表型性状均有极显著差异; 2) 任豆种子表型性状与土壤理化因子有一定的相关性, 土壤有机质含量和碱解氮含量是影响任豆种子表型性状的重要因素, 但土壤理化特性不是影响任豆种子表型性状的关键因素; 3) 气候地理因子对任豆种子表型性状有一定的影响, 任豆种子厚度与海拔高度呈显著正相关, 与其余气候地理因子具有一定相关性, 但不显著。由此可见, 不同种源任豆种子表型性状的差异, 是遗传因子和多种环境因子相互作用的结果, 但主要还是由其遗传因子所决定。

关键词

桂西北, 岩溶地区, 中国特有植物, 任豆种子, 性状差异

Analysis of Differences in Seed Traits and Influencing Factors of Chinese Endemic Plant *Zenia insignis* Chun in Karst Areas of Northwest Guangxi

Qiuni Ma¹, Huilian Deng^{1,2}, Yongrong Qin^{1*}, Xuhui Liu^{1*}, Chunyu Luo¹, Liying Su¹

¹School of Chemistry and Bio-Engineering, Hechi University, Hechi Guangxi

²College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

Received: August 12, 2025; accepted: September 16, 2025; published: September 24, 2025

*通讯作者。

文章引用: 马秋妮, 邓慧莲, 覃勇荣, 刘旭辉, 罗春宇, 苏黎颖. 桂西北岩溶地区中国特有植物任豆种子性状差异及影响因素分析[J]. 林业世界, 2025, 14(4): 538-552. DOI: 10.12677/wjf.2025.144065

Abstract

In order to explain the differences in the characteristics and influencing factors of *Zenia insignis* seeds in the karst areas of northwest Guangxi, six phenotypic traits of *Z. insignis* seeds from different provenances, including length, width, thickness, hundred seed weight, length to thickness ratio, and length to width ratio, were observed. A comparative analysis was conducted on the correlation between the basic physicochemical characteristics of soil and climatic and geographical conditions in different provenances areas and the phenotypic traits of *Z. insignis* seeds. The results showed that: 1) there were significant differences in the phenotypic traits of *Z. insignis* seeds from different provenances in the karst areas of northwest Guangxi; 2) There is a certain correlation between the phenotypic traits of *Z. insignis* seeds and soil physicochemical factors. The content of soil organic matter and alkaline nitrogen are important factors affecting the phenotypic traits of *Z. insignis* seeds, but soil physicochemical characteristics are not the key factors affecting the phenotypic traits of *Z. insignis* seeds; 3) Climate geographical factors have a certain impact on the phenotypic traits of *Z. insignis* seeds. The thickness of *Z. insignis* seed is significantly positively correlated with altitude, and has a certain correlation with other climate geographical factors, but not significantly. It can be seen that the differences in phenotypic traits of *Z. insignis* seeds from different provenances are the result of the interaction between genetic factors and multiple environmental factors, but mainly determined by their genetic factors.

Keywords

Northwest Guangxi, Karst Area, Chinese Endemic Plants, *Zenia insignis* Seeds, Trait Differences

Copyright © 2025 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

任豆(*Zenia insignis* Chun)又名翅荚木,是中国特有的二级保护珍稀植物,也是我国南方岩溶地区常见的乡土树种,因其优良的耐旱特性,常被作为石漠化治理的先锋树种。目前,关于任豆的研究,多侧重于种群分布[1]、群落结构调查[2]、生理生态特性[3] [4]、种子发芽试验[5]、栽培管理[6]、环境修复[7]、地理种源变异及引种试验[8]等方面,而关于任豆种子表型性状的研究相对较少。

种子是植物的重要器官,性状比较稳定,因此常被作为植物分类及遗传多样性研究的重要材料。学者们对任豆种子的性状差异进行了一些研究,并取得了一定的理论成果,但以往的研究,大多只关注气候地理因素对种子表型性状差异的影响,而关于土壤理化特性及种子遗传特性对任豆种子表型性状差异的影响,鲜有文献报道。基于上述原因,作者综合考虑各种影响因素,通过比较分析的方法,说明各种环境因子对任豆种子表型性状的影响,旨在为优质任豆种源地筛选、种质资源评价及良种培育提供参考依据。

2. 研究区域气候地理概况

研究区域主要位于广西壮族自治区西北部河池市。河池境内山多地少,地势西北高东南低,为桂西北典型的喀斯特地貌[9]。采样点主要选择在河池市的金城江区、宜州区、环江县、罗城县、南丹县、都安县的27个任豆种源地,并分别以桂西南百色靖西2个种源地和桂北桂林市七星区2个种源地、桂林市

象山区的 1 个种源地作为实验对照, 共 32 个采样点, 用 GPS 进行定位。各采样点地理坐标及气候情况见表 1。

Table 1. Geographical information and basic climate situation of different sources of *Zenia insignis*
表 1. 任豆不同种源的地理信息及基本气候情况一览表

编号	分布区	采集地	北纬 (°N)	东经 (°E)	海拔 (m)	年均气温 (°C)	年均降雨 (mm)	年均日照 (h)
01	河池金城江	龙贵洞	24.39	107.34	528	20.8	1470.8	1350.9
02	河池金城江	山脚屯	24.39	107.35	485	20.8	1470.8	1350.9
03	河池金城江	拉海屯	24.39	107.34	532	20.8	1470.8	1350.9
04	河池金城江	拉平屯	24.39	107.34	541	20.8	1470.8	1350.9
05	河池宜州	白龙洞	24.30	108.39	212	20.4	1455.4	1383.7
06	河池宜州	祥贝街	24.36	108.42	149	20.4	1455.4	1383.7
07	河池宜州	下板凡	24.23	108.42	229	20.4	1455.4	1383.7
08	河池宜州	古黄坳	24.41	108.39	157	20.4	1455.4	1383.7
09	河池宜州	冲隘屯	24.32	108.31	158	20.4	1455.4	1383.7
10	河池宜州	古龙村	24.36	108.42	130	20.4	1455.4	1383.7
11	河池宜州	龙王庙	24.27	108.56	136	20.4	1455.4	1383.7
12	河池宜州	甘村屯	24.31	108.28	223	20.4	1455.4	1383.7
13	河池宜州	遥望屯	24.19	108.42	218	20.4	1455.4	1383.7
14	河池宜州	王八山	24.30	108.39	158	20.4	1455.4	1383.7
15	河池宜州	巴思屯	24.38	108.40	158	20.4	1455.4	1383.7
16	河池宜州	白伟村	24.37	108.40	156	20.4	1455.4	1383.7
17	河池环江	豪垌屯	25.90	108.03	324	18.7	1530.0	145.01
18	河池环江	垌平-1	25.80	108.03	295	18.7	1530.0	145.01
19	河池环江	垌平-2	25.80	108.03	292	18.7	1530.0	145.01
20	河池环江	东风屯	25.40	107.57	492	18.7	1530.0	145.01
21	河池罗城	宝聚村	24.56	108.56	139	19.5	1540.8	1320.1
22	河池罗城	乔善村	24.51	108.42	223	19.5	1540.8	1320.1
23	河池罗城	门豆屯	24.51	109.00	264	19.5	1540.8	1320.1
24	河池罗城	六团屯	24.53	108.41	268	19.5	1540.8	1320.1
25	河池南丹	甘河屯	25.30	107.37	607	17.4	1472.7	1331.2
26	河池南丹	水教屯	25.70	107.34	570	17.4	1472.7	1331.2
27	河池都安	拉仁屯	24.24	108.15	222	21.5	1712.5	1396.7
28	百色靖西	陇乃-1	24.23	108.42	202	19.3	1636.3	1458.4
29	百色靖西	陇乃-2	23.00	106.02	661	19.3	1636.3	1458.4
30	桂林七星区	彰泰园	25.15	110.17	171	19.1	1886.8	1447.3
31	桂林七星区	尧山脚	25.15	110.21	199	19.1	1886.8	1447.3
32	桂林象山区	黄村	25.12	110.14	195	19.1	1886.8	1447.3

3. 材料与方法

3.1. 样品采集及处理

2023年8月上旬至2023年11月下旬,在大量查阅文献的基础上,通过实地调查,深入了解桂西北岩溶地区不同种源任豆种群的分布情况、树龄(种植年限)、保护状况及相关信息,确定实验样地,使用GPS记录不同种源地的经度、纬度、海拔高度等相关信息,不同种源地年均气温、年均降雨量、年均日照数据,从当地气象部门或通过官网发布的权威数据进行查询。

通过实地调查和分析比较,共采集了32个不同种源地的任豆种子。将野外采集的任豆果荚带回实验室,在通风处晾干,及时剥出纯净种子,并筛选出形态正常、颗粒饱满、无病虫害的种子,做好实验样品标记,置于通风干燥处保存,防止发霉,必要时可放置4℃的冰箱中保存。

采集任豆种子时,同时采集每个种源地任豆根部的土壤样品,采用五点取样法,每个种源地选取5株正常生长的任豆树(株距超过10 m),首先清除其根周围的凋落物及砾石,然后采集0~20 cm的表土并充分混匀,过20目标准筛,用四分法取适量,装入塑料密封袋中,做好相应记录,尽快带回实验室。

将野外采集的土壤样品置于阴凉通风处,自然风干后将其研磨粉碎,分别过20目、60目和100目标准土筛,将处理好的土壤样品分别装入塑料密封袋中,做好相应的标记,置于阴凉干燥处妥善保存,待测。

3.2. 实验方法

3.2.1. 任豆种子表型性状的测定

每个种源随机抽取纯净种子30粒,用数显千分尺测量每粒种子的长度、宽度、厚度(种子最厚部分),精确至0.01 mm,并计算出相应种子的长宽比与长厚比,再随机抽取纯净种子100粒,用精度为万分之一的电子分析天平称量种子质量,重复抽取3次,结果取平均值[10]。

3.2.2. 土壤理化性质的测定

用电位法(水土的比例为5:1)测定土壤pH,用重量法测定土壤水分含量,用重铬酸钾氧化-分光光度法测定土壤有机质(Soil Organic Matter, SOM)含量,用凯氏定氮法测定土壤全氮(Total Nitrogen, TN)含量,用碱解扩散法测定土壤有效氮(Available Nitrogen, AN)含量,用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定土壤全磷(Total Phosphorus, TP)含量,用碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法测定土壤速效磷(Available Phosphorus, AP)含量[11]。

3.3. 数据处理

为保证实验数据的可信度,每个样品的测定均做3个重复,结果取平均值,数据以“平均值±标准差”的形式表示;使用Excel 2021进行数据整理;采用IBM SPSS Statistics 24进行方差分析、多重比较、相关性分析、主成分分析和聚类分析;实验结果数据图的绘制用Origin 2024进行。

4. 结果与分析

4.1. 不同种源任豆种子表型性状的差异

不同种源任豆种子的表型性状中,任豆种子各项被测指标在种源间均具有极显著差异($p < 0.01$),且变异程度较大,不同种源任豆种子的6个性状指标间的变异系数为6.34%~11.92%。结果表明,不同种源地任豆种子长度在5.39~6.06 mm之间,相差0.67 mm,且不同种源任豆种子的长度均存在极显著差异,其中,采自古龙村的任豆种子长度相对较大(6.06 mm),彰泰园的任豆种子长度相对较小(5.39 mm);不同

种源地任豆种子宽度在 4.71~5.29 mm 之间, 变异系数最小, 为 6.34%, 说明该性状在种源间的差异较小, 其中, 采自山脚屯和豪垌屯的宽度相对较大, 均超过 5.20 mm 以上, 且这两者间的宽度大小差异不显著, 采自拉仁屯和彰泰园的任豆种子宽度大小极为相似, 且差异不显著; 不同种源地任豆种子厚度在 1.73~2.08 mm 之间, 相差 0.35 mm, 水教屯的任豆种子厚度最大(2.08 mm), 甘村屯的种子厚度次之(2.07 mm), 遥望屯的种子厚度最小(1.73 mm), 拉仁屯和尧山脚的种子厚度较小, 两者之间差异不显著; 不同种源地任豆种子的百粒质量在 4.10~5.51 g 之间, 两者相差 1.41 g, 豪垌屯的任豆种子百粒质量较大(5.51 g), 彰泰园的任豆种子百粒质量最小(4.10 g), 说明这两个种源任豆种子之间的宽度与百粒质量具有一定相关性; 不同种源任豆种子的长宽比为 1.06~1.23, 比值均超过 1, 其形状近似圆形或椭圆形, 说明不同种源之间的任豆种子性状具有一定相关性; 不同种源任豆种子的长厚比介于 2.71~3.43 mm 之间, 最大值与最小值相差 0.72 mm, 变异系数最大, 为 11.92%, 说明该性状在种源间的差异较大, 其中, 拉海屯和甘村屯的长厚比极为相似, 且两者间差异不显著。具体情况见图 1 和表 2。

Table 2. Comparison of phenotypic traits of *Zenia insignis* seeds from different seed sources
表 2. 不同种源任豆种子表型性状的差异比较

编号	采集地	种子长度 (mm)	种子宽度 (mm)	种子厚度 (mm)	百粒质量 (g)	种子长宽比	种子长厚比
01	龙贵洞	5.63 ± 0.23 ^{EFGHI}	4.90 ± 0.27 ^{EFGHI}	2.00 ± 0.11 ^{ABCDEF}	4.39 ± 0.00 ^{JKLM}	1.15 ± 0.07 ^{ABCD}	2.83 ± 0.23 ^{GHIJ}
02	山脚屯	6.00 ± 0.28 ^{AB}	5.29 ± 0.29 ^{AB}	1.86 ± 0.13 ^{GHIJ}	4.87 ± 0.00 ^{CDE}	1.14 ± 0.07 ^{BCDE}	3.24 ± 0.21 ^{ABC}
03	拉海屯	5.55 ± 0.39 ^{FGHI}	5.21 ± 0.38 ^{ABCD}	2.03 ± 0.13 ^{ABC}	4.74 ± 0.18 ^{CDEFGH}	1.07 ± 0.07 ^{DE}	2.74 ± 0.21 ^{IJ}
04	拉平屯	5.48 ± 0.31 ^{GHI}	4.96 ± 0.30 ^{CDEFGHI}	2.03 ± 0.10 ^{ABCD}	5.00 ± 0.00 ^{BC}	1.11 ± 0.07 ^{CDE}	2.71 ± 0.15 ^J
05	白龙洞	5.69 ± 0.21 ^{CDEFGH}	5.08 ± 0.20 ^{ABCDEFG}	1.88 ± 0.16 ^{FGHIJ}	4.37 ± 0.03 ^{JKLM}	1.12 ± 0.05 ^{BCDE}	3.05 ± 0.26 ^{CDEFG}
06	祥贝街	5.64 ± 0.36 ^{EFGHI}	4.90 ± 0.28 ^{EFGHI}	1.88 ± 0.26 ^{FGHIJ}	4.88 ± 0.15 ^{CDE}	1.15 ± 0.08 ^{ABCD}	3.07 ± 0.62 ^{CDEFG}
07	下板凡	5.68 ± 0.24 ^{CDEFGH}	4.92 ± 0.22 ^{DEFGHI}	2.02 ± 0.13 ^{ABCDE}	4.78 ± 0.18 ^{CDEF}	1.16 ± 0.07 ^{ABCD}	2.82 ± 0.21 ^{GHIJ}
08	古黄坳	5.49 ± 0.33 ^{GHI}	4.94 ± 0.23 ^{CDEFGHI}	1.90 ± 0.19 ^{DEFGHIJ}	4.32 ± 0.11 ^{KLMN}	1.11 ± 0.06 ^{CDE}	2.91 ± 0.30 ^{EFGHIJ}
09	冲隘屯	5.74 ± 0.51 ^{BCDEFG}	5.02 ± 0.67 ^{ABCDEF}	1.86 ± 0.19 ^{GHIJ}	4.55 ± 0.03 ^{FGHIJKL}	1.18 ± 0.36 ^{ABC}	3.11 ± 0.37 ^{BCDEF}
10	古龙村	6.06 ± 0.21 ^A	5.09 ± 0.25 ^{ABCDEFG}	1.82 ± 0.13 ^{HIJK}	4.93 ± 0.07 ^{BCD}	1.19 ± 0.08 ^{ABC}	3.34 ± 0.26 ^{AB}
11	龙王庙	5.91 ± 0.33 ^{ABCD}	5.12 ± 0.41 ^{ABCDEF}	1.91 ± 0.17 ^{CDEFGHIJ}	4.79 ± 0.06 ^{CDEF}	1.16 ± 0.11 ^{ABC}	3.12 ± 0.31 ^{BCDEF}
12	甘村屯	5.61 ± 0.37 ^{EFGHI}	4.75 ± 0.32 ^{HI}	2.07 ± 0.20 ^{AB}	4.71 ± 0.05 ^{DEFGHI}	1.19 ± 0.10 ^{ABC}	2.74 ± 0.33 ^{IJ}
13	遥望屯	5.84 ± 0.51 ^{ABCDE}	5.22 ± 0.65 ^{ABC}	1.73 ± 0.17 ^K	4.71 ± 0.02 ^{DEFGHI}	1.14 ± 0.18 ^{BCDE}	3.43 ± 0.56 ^A
14	王八山	5.81 ± 0.38 ^{ABCDEF}	4.84 ± 0.39 ^{FGHI}	1.87 ± 0.11 ^{FGHIJ}	4.45 ± 0.02 ^{IJKLM}	1.21 ± 0.12 ^{AB}	3.12 ± 0.32 ^{BCDEF}
15	巴思屯	5.46 ± 0.27 ^{HI}	5.18 ± 0.36 ^{ABCDE}	1.90 ± 0.13 ^{DEFGHIJ}	4.23 ± 0.20 ^{MN}	1.06 ± 0.11 ^E	2.88 ± 0.25 ^{FGHIJ}
16	白伟村	5.55 ± 0.34 ^{FGHI}	4.86 ± 0.34 ^{FGHI}	1.95 ± 0.22 ^{BCDEFGH}	4.23 ± 0.20 ^{MN}	1.15 ± 0.11 ^{ABCDE}	2.87 ± 0.29 ^{FGHIJ}
17	豪垌屯	5.92 ± 0.63 ^{ABCD}	5.29 ± 0.61 ^{AB}	1.95 ± 0.23 ^{BCDEFGHI}	5.51 ± 0.17 ^A	1.12 ± 0.07 ^{BCDE}	3.06 ± 0.32 ^{CDEFG}
18	垌平-1	5.60 ± 0.44 ^{EFGHI}	4.89 ± 0.36 ^{EFGHI}	1.88 ± 0.21 ^{FGHIJ}	4.37 ± 0.19 ^{JKLM}	1.15 ± 0.10 ^{ABCDE}	3.01 ± 0.37 ^{CDEFGH}
19	垌平-2	5.69 ± 0.27 ^{CDEFGH}	4.98 ± 0.35 ^{CDEFGHI}	1.90 ± 0.17 ^{DEFGHIJ}	4.58 ± 0.32 ^{FGHIJK}	1.15 ± 0.12 ^{ABCDE}	3.02 ± 0.29 ^{CDEFG}
20	东风屯	5.95 ± 0.42 ^{ABC}	5.03 ± 0.40 ^{ABCDEFGH}	1.89 ± 0.14 ^{EFGHIJ}	4.88 ± 0.00 ^{CDE}	1.19 ± 0.15 ^{ABC}	3.16 ± 0.33 ^{BCDE}
21	宝聚村	5.66 ± 0.34 ^{DEFGH}	5.00 ± 0.35 ^{BCDEFGHI}	1.82 ± 0.19 ^{IJK}	4.48 ± 0.01 ^{HIJKLM}	1.14 ± 0.10 ^{BCDE}	3.15 ± 0.36 ^{BCDE}
22	乔善村	5.79 ± 0.24 ^{BCDEF}	4.94 ± 0.27 ^{CDEFGHI}	1.99 ± 0.16 ^{ABCDEF}	4.77 ± 0.00 ^{CDEFG}	1.18 ± 0.06 ^{ABC}	2.93 ± 0.22 ^{DEFGHIJ}
23	门豆屯	5.44 ± 0.33 ^{HI}	4.87 ± 0.48 ^{FGHI}	1.92 ± 0.19 ^{CDEFGHIJ}	4.34 ± 0.08 ^{KLMN}	1.12 ± 0.07 ^{BCDE}	2.87 ± 0.36 ^{FGHIJ}
24	六团屯	5.79 ± 0.33 ^{BCDEF}	5.05 ± 0.36 ^{ABCDEFGH}	1.99 ± 0.16 ^{ABCDEF}	4.67 ± 0.00 ^{DEFGHI}	1.15 ± 0.10 ^{ABCD}	2.92 ± 0.27 ^{EFGHIJ}
25	甘河屯	5.57 ± 0.25 ^{FGHI}	4.98 ± 0.44 ^{CDEFGHI}	1.89 ± 0.15 ^{EFGHIJ}	4.30 ± 0.00 ^{MN}	1.13 ± 0.10 ^{BCDE}	2.96 ± 0.32 ^{DEFGHI}

续表

26	水教屯	5.86 ± 0.27 ^{ABCDE}	4.80 ± 0.43 ^{GHI}	2.08 ± 0.15 ^{AB}	4.76 ± 0.00 ^{CDEFG}	1.23 ± 0.13 ^A	2.83 ± 0.25 ^{GHIJ}
27	拉仁屯	5.46 ± 0.18 ^{HI}	4.71 ± 0.33 ^I	1.80 ± 0.13 ^{JK}	4.50 ± 0.07 ^{GHIJKLM}	1.16 ± 0.10 ^{ABC}	3.05 ± 0.26 ^{CDEFG}
28	陇乃-1	5.80 ± 0.42 ^{ABCDEF}	5.11 ± 0.33 ^{ABCDEF}	1.99 ± 0.12 ^{ABCDEF}	4.87 ± 0.08 ^{CDE}	1.14 ± 0.09 ^{BCDE}	2.93 ± 0.29 ^{DEFGHIJ}
29	陇乃-2	5.84 ± 0.28 ^{ABCDE}	5.12 ± 0.27 ^{ABCDEF}	1.97 ± 0.12 ^{ABCDEF}	4.94 ± 0.00 ^{BCD}	1.14 ± 0.07 ^{ABCDE}	2.98 ± 0.28 ^{DEFGHI}
30	彰泰园	5.39 ± 0.22 ^I	4.72 ± 0.31 ^I	1.96 ± 0.12 ^{ABCDEF}	4.10 ± 0.00 ^N	1.15 ± 0.07 ^{ABCDE}	2.76 ± 0.27 ^{HIJ}
31	尧山脚	5.73 ± 0.18 ^{CDEFG}	5.14 ± 0.28 ^{ABCDEF}	1.81 ± 0.11 ^{JK}	4.63 ± 0.09 ^{EFGHIJ}	1.12 ± 0.08 ^{BCDE}	3.18 ± 0.24 ^{BCD}
32	黄村	5.86 ± 0.27 ^{ABCDE}	5.32 ± 0.34 ^A	1.96 ± 0.21 ^{ABCDEF}	5.16 ± 0.06 ^B	1.10 ± 0.06 ^{CDE}	3.03 ± 0.43 ^{CDEFG}
CV/%		6.57	6.34	9.41	6.77	10.28	11.92
F 值		8.22	5.83	7.61	22.85	3.09	8.92

注：表中各项指标数值均为“平均值 ± 标准差”表示，同列数据中不同大写英文字母表示差异显著($p < 0.01$)，下同。

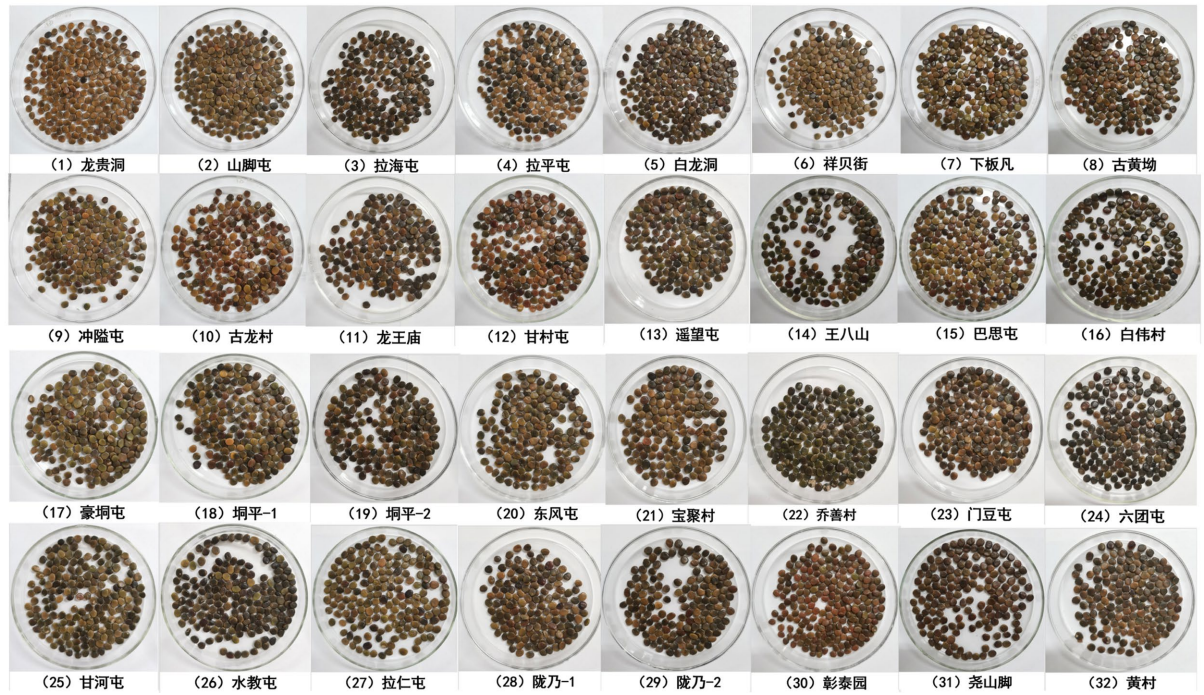


Figure 1. Comparison of external morphology of *Zenia insignis* seeds from different seed source regions
图 1. 不同种源地任豆种子的外部形态比较

4.2. 不同种源任豆根部土壤理化性质的差异

不同种源任豆根部土壤的理化特性存在极显著差异($p < 0.01$)，变异系数在 8.82%~84.77%之间。土壤 pH 介于 6.08~8.61 之间，属于弱酸性至弱碱性，变异系数最小，为 8.82%，说明土壤酸碱度在种源间的差异较小，其中，甘村屯的土壤 pH 最小，龙贵洞、东风屯、乔善村、尧山脚的土壤 pH 较大，均达到 8.20 以上，且差异不显著，下板凡、遥望屯的土壤 pH 相近；风干土水分含量介于 1.30%~17.78%之间，其中，彰泰园最高，龙王庙最小，山脚屯、巴思屯、水教屯的风干土水分含量极为相近，且差异不显著；土壤有机质含量介于 13.88~55.34 g/kg 之间，其中，山脚屯和陇乃-2 较小，两者差异不显著；土壤全氮含量介于 0.99~16.60 g/kg 之间，其中，甘河屯最高，龙王庙和尧山脚较小，两者差异不显著；土壤碱解氮含量在 71.75~564.90 mg/kg 之间，其中，东风屯最高，山脚屯、王八山、尧山脚的碱解氮含量相近；土壤全磷含

量在 0.25~3.15 g/kg 之间, 其中, 乔善村最高, 水教屯最小; 土壤速效磷含量介于 069~46.50 mg/kg 之间, 变异系数最大, 为 84.77%, 说明土壤速效磷含量在种源间的差异较大, 其中, 甘河屯最高, 甘村屯、门豆屯的较小, 且两者间的土壤速效磷含量差异不显著。

参照全国第二次土壤普查养分分级标准, 除了白龙洞、龙王庙、王八山、巴思屯、豪垌屯、乔善村 6 个任豆种源地根部土壤有机质含量为中等, 山脚屯、门豆屯、陇乃-2、尧山脚 4 个种源任豆根部土壤有机质含量为缺乏, 黄村种源任豆根部土壤有机质含量为极缺乏外, 其余种源地土壤有机质含量均达到丰富至很丰富水平; 从土壤全氮含量及碱解氮含量测定结果看, 除了黄村种源任豆根部土壤全氮含量为缺乏外, 其余种源地土壤全氮及碱解氮含量均处于丰富至很丰富水平; 除水教屯土壤全磷含量为很缺乏, 豪垌屯、垌平-1、东风屯、门豆屯、六团屯 5 个种源地土壤全磷含量为缺乏外, 其余种源地土壤全磷含量均属中等至很丰富水平; 不同种源地任豆根部土壤速效磷含量差异较大, 其中, 龙贵洞、山脚屯、拉平屯、甘河屯、拉仁屯为丰富水平至很丰富水平, 拉海屯、古龙村、遥望屯、六团屯、陇乃-1、尧山脚 6 个种源地土壤速效磷为中等水平外, 其余种源地土壤速效磷含量处于极缺乏至缺乏水平。具体情况见表 3。

Table 3. Comparison of physicochemical properties of root soil of *Zenia insignis* from different provenances
表 3. 不同种源任豆根部土壤理化性质的差异比较

编号	采集地	pH	MC (%)	SOM (g/kg)	TN (g/kg)	AN (mg/kg)	TP (mg/kg)	AP (mg/kg)
01	龙贵洞	8.32 ± 0.08 ^{BC}	6.82 ± 0.01 ^{HIJK}	33.67 ± 0.45 ^{HI}	4.43 ± 0.02 ^{GHI}	296.09 ± 0.02 ^J	0.96 ± 0.05 ^{CDEFG}	30.31 ± 1.45 ^B
02	山脚屯	6.97 ± 0.11 ^{IJ}	3.73 ± 0.04 ^{QRS}	13.88 ± 0.72 ^P	1.91 ± 0.02 ^N	143.49 ± 0.98 ^O	0.61 ± 0.02 ^{EFG}	22.18 ± 1.87 ^C
03	拉海屯	7.24 ± 0.03 ^{FGH}	6.56 ± 0.01 ^{IJKL}	43.76 ± 0.60 ^{FG}	6.22 ± 0.30 ^{DE}	381.03 ± 0.40 ^D	0.90 ± 0.04 ^{CDEFG}	18.71 ± 1.05 ^D
04	拉平屯	7.45 ± 0.01 ^{DEF}	8.23 ± 0.07 ^{FG}	30.71 ± 0.16 ^{IJK}	4.27 ± 0.10 ^{HI}	271.59 ± 4.24 ^K	0.64 ± 0.01 ^{EFG}	21.56 ± 1.26 ^C
05	白龙洞	6.84 ± 0.03 ^{JKL}	4.19 ± 0.06 ^{PQR}	29.12 ± 0.82 ^{JKL}	3.16 ± 0.03 ^{KL}	216.64 ± 0.49 ^L	1.07 ± 0.06 ^{BCDEFG}	7.39 ± 0.68 ^{HIJ}
06	祥贝街	7.28 ± 0.01 ^{FGH}	13.09 ± 0.07 ^C	48.83 ± 8.25 ^{CDE}	2.87 ± 0.06 ^{LM}	435.75 ± 2.47 ^B	1.05 ± 0.07 ^{BCDEFG}	9.19 ± 0.69 ^{GH}
07	下板凡	6.41 ± 0.06 ^M	3.04 ± 0.01 ST	35.62 ± 0.13 ^H	3.76 ± 0.02 ^J	310.09 ± 1.00 ^{HI}	0.71 ± 0.08 ^{DEFG}	7.66 ± 0.01 ^{GHIJ}
08	古黄坳	7.25 ± 0.02 ^{FGH}	4.47 ± 0.03 ^{PQ}	50.45 ± 0.22 ^{BC}	5.45 ± 0.01 ^F	301.70 ± 2.97 ^{IJ}	1.35 ± 0.12 ^{BCDEF}	6.97 ± 0.36 ^{HIJ}
09	冲隘屯	7.33 ± 0.02 ^{EFG}	4.72 ± 0.02 ^{OP}	41.64 ± 0.27 ^G	4.79 ± 0.14 ^G	292.42 ± 0.25 ^J	1.75 ± 0.05 ^{BCD}	9.94 ± 0.13 ^G
10	古龙村	6.88 ± 0.07 ^{JKL}	5.84 ± 0.06 ^{LMN}	51.89 ± 1.17 ^{ABC}	5.92 ± 0.03 ^E	345.62 ± 3.23 ^F	1.18 ± 0.01 ^{BCDEFG}	15.10 ± 0.50 ^E
11	龙王庙	6.92 ± 0.11 ^{IJK}	1.30 ± 0.06 ^U	25.1 ± 0.55 ^{LM}	1.87 ± 0.04 ^N	129.84 ± 1.48 ^P	0.69 ± 0.00 ^{DEFG}	6.48 ± 0.33 ^{IJK}
12	甘村屯	6.08 ± 0.01 ^N	2.76 ± 0.04 ^T	35.74 ± 0.66 ^H	3.77 ± 0.09 ^J	296.08 ± 6.50 ^J	1.08 ± 0.01 ^{BCDEFG}	1.20 ± 0.04 ^O
13	遥望屯	6.38 ± 0.04 ^M	9.93 ± 1.07 ^E	53.18 ± 1.51 ^{AB}	6.45 ± 0.76 ^{CD}	441.07 ± 6.93 ^B	1.94 ± 0.08 ^{BC}	13.67 ± 0.98 ^{EF}
14	王八山	7.39 ± 0.19 ^{EFG}	6.19 ± 0.09 ^{KLMN}	26.73 ± 0.98 ^{KL}	3.34 ± 0.05 ^K	145.25 ± 3.47 ^O	1.20 ± 0.10 ^{BCDEFG}	3.40 ± 1.53 ^{MNO}
15	巴思屯	6.82 ± 0.08 ^{JKL}	3.73 ± 0.05 ^{QRS}	21.66 ± 0.98 ^{MN}	2.97 ± 0.12 ^{KLM}	175.92 ± 2.51 ^N	1.39 ± 0.40 ^{BCDEF}	3.39 ± 0.75 ^{MNO}
16	白伟村	6.66 ± 0.03 ^L	4.38 ± 0.04 ^{PQR}	21.66 ± 0.97 ^{MN}	4.74 ± 0.25 ^G	294.68 ± 5.68 ^J	1.09 ± 0.04 ^{BCDEFG}	3.63 ± 0.86 ^{LMNO}
17	豪垌屯	8.44 ± 0.00 ^{AB}	5.85 ± 0.03 ^{LMN}	27.01 ± 0.26 ^{KL}	4.73 ± 0.08 ^G	314.99 ± 1.01 ^H	0.45 ± 0.02 ^{FG}	7.11 ± 0.21 ^{HIJ}
18	垌平-1	7.38 ± 0.03 ^{EFG}	7.18 ± 0.02 ^{HIJ}	43.43 ± 1.75 ^{FG}	5.31 ± 0.24 ^F	328.30 ± 0.00 ^G	0.58 ± 0.02 ^{FG}	8.13 ± 0.47 ^{GHIJ}
19	垌平-2	7.28 ± 0.02 ^{FGH}	7.35 ± 0.09 ^{HI}	45.75 ± 0.70 ^{EFG}	7.63 ± 0.03 ^B	445.55 ± 2.47 ^B	0.74 ± 0.12 ^{DEFG}	8.66 ± 0.20 ^{GHI}
20	东风屯	8.27 ± 0.01 ^{BC}	7.63 ± 1.44 ^{GH}	46.12 ± 0.65 ^{DEF}	4.23 ± 0.11 ^{HI}	564.90 ± 2.97 ^A	0.56 ± 0.02 ^{FG}	6.81 ± 0.36 ^{HIJ}
21	宝聚村	8.08 ± 0.10 ^C	8.34 ± 0.01 ^{FG}	44.22 ± 2.21 ^{FG}	7.70 ± 0.11 ^B	445.17 ± 8.89 ^B	3.15 ± 2.06 ^A	5.84 ± 0.03 ^{JKLM}
22	乔善村	8.20 ± 0.01 ^{BC}	5.60 ± 0.09 ^{MNO}	29.53 ± 0.25 ^{IJK}	4.60 ± 0.10 ^{GH}	376.56 ± 4.92 ^D	0.67 ± 0.02 ^{DEFG}	2.75 ± 0.51 ^{NO}
23	门豆屯	7.14 ± 0.13 ^{GHI}	8.57 ± 0.09 ^F	17.05 ± 0.39 ^{OP}	2.76 ± 0.03 ^{LM}	192.96 ± 7.71 ^M	0.56 ± 0.05 ^{FG}	1.18 ± 0.25 ^O
24	六团屯	7.07 ± 0.02 ^{HIJ}	6.45 ± 0.20 ^{JKLM}	32.42 ± 0.35 ^{HIJ}	4.02 ± 0.04 ^{IJ}	291.89 ± 0.00 ^J	0.54 ± 0.01 ^{FG}	12.34 ± 0.78 ^F

续表

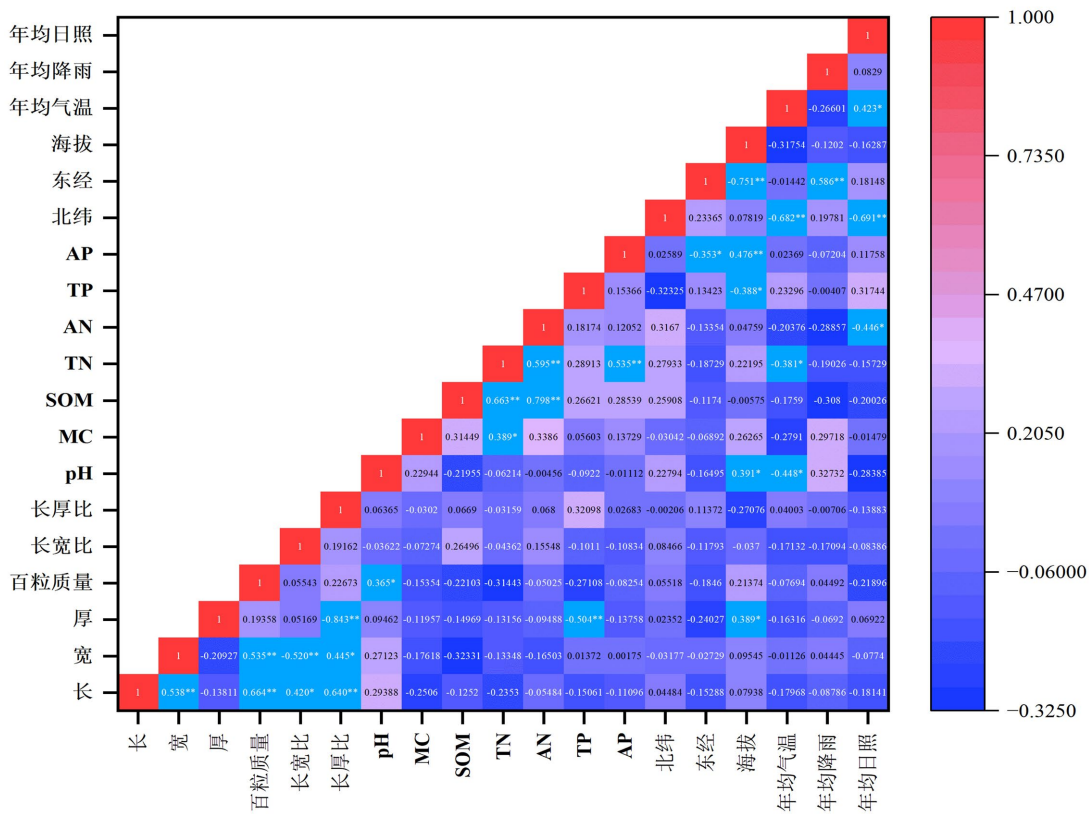
25	甘河屯	7.34 ± 0.19 ^{EFG}	11.77 ± 0.16 ^D	55.34 ± 0.60 ^A	16.6 ± 0.44 ^A	400.75 ± 2.47 ^C	1.34 ± 0.10 ^{BCDEFG}	46.50 ± 0.95 ^A
26	水教屯	7.66 ± 0.16 ^D	3.73 ± 0.04 ^{QRS}	44.03 ± 0.18 ^{FG}	2.89 ± 0.03 ^{LM}	226.56 ± 2.45 ^L	0.25 ± 0.01 ^G	8.21 ± 0.75 ^{GHIJ}
27	拉仁屯	6.71 ± 0.37 ^{KL}	4.73 ± 0.03 ^{OP}	30.8 ± 0.03 ^{UK}	3.15 ± 0.00 ^{KL}	174.65 ± 1.48 ^N	1.69 ± 0.02 ^{BCDE}	30.28 ± 0.96 ^B
28	陇乃-1	7.56 ± 0.10 ^{DE}	5.40 ± 0.02 ^{NO}	35.13 ± 0.87 ^H	4.05 ± 0.07 ^{IJ}	266.35 ± 4.45 ^K	2.07 ± 0.03 ^B	17.40 ± 1.89 ^D
29	陇乃-2	8.61 ± 0.03 ^A	15.26 ± 1.17 ^B	13.64 ± 0.29 ^P	2.55 ± 0.07 ^M	114.10 ± 8.90 ^Q	0.84 ± 0.01 ^{DEFG}	4.13 ± 0.86 ^{KLMN}
30	彰泰园	6.90 ± 0.10 ^{JKL}	17.78 ± 0.04 ^A	50.17 ± 3.90 ^{BCD}	6.79 ± 0.09 ^C	357.66 ± 2.97 ^E	0.80 ± 0.00 ^{DEFG}	6.01 ± 1.46 ^{JKL}
31	尧山脚	8.22 ± 0.04 ^{BC}	6.33 ± 0.22 ^{JKLM}	18.57 ± 1.07 ^{NO}	1.65 ± 0.03 ^N	150.84 ± 9.40 ^O	1.16 ± 0.05 ^{BCDEFG}	13.41 ± 0.26 ^{EF}
32	黄村	8.08 ± 0.14 ^C	3.52 ± 0.02 ^{RST}	5.44 ± 0.16 ^Q	0.99 ± 0.02 ^O	71.75 ± 2.47 ^R	0.71 ± 0.00 ^{DEFG}	0.69 ± 0.10 ^P
CV/%		8.82	53.4	37.8	62.33	39.13	57.33	84.77
F 值		116.39	276.09	159.82	798.85	1462.41	6.04	278.25

注：表中大写字母 MC、SOM、TN、AN、TP、AP 分别表示土壤含水量、有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷，下同。

4.3. 相关性分析

任豆种子表型性状的相关性

不同种源任豆种子表型性状及其与环境因子之间的相关性分析结果见图 2。



注：① 图中符号“***”表示极显著相关($p < 0.01$)，“**”表示显著相关($p < 0.05$)；② 图中颜色深浅表示相关程度，天蓝色表示显著或极显著相关。

Figure 2. Correlation between phenotypic traits and environmental factors of *Zenia insignis* seeds from different sources
图 2. 不同种源任豆种子表型性状与环境因子的相关性

由此可知,任豆种子的长度与宽度、百粒质量、长厚比均呈极显著正相关,与长宽比呈显著正相关;宽度与百粒质量及长厚比分别呈极显著和显著正相关,与长宽比呈极显著负相关;厚度与长厚比呈极显著负相关;其余表型性状之间虽有一定的相关性,但不显著。不同种源任豆种子表型性状与种源地土壤理化因子均有一定的相关性,但不显著。除了任豆种子厚度与海拔高度呈显著正相关之外,其余表型性状与气候地理因子具有较弱的正相关或负相关($p < 0.05$)。

4.4. 主成分分析

为了说明环境因子对任豆种子表型性状的影响,可对不同种源任豆种子的土壤理化因子、气候地理因子进行主成分分析,结果见表 4。以特征值大于 1 为标准,可提取 4 个主成分,其贡献率分别为 27.28%、19.60%、16.48%、12.53%,累积贡献率达到 75.84%,超过 75%(注:累积贡献率应达到 70%以上),说明提取的这 4 个主成分基本可代表全部土壤理化因子、地理气候因子的 75.84%的信息。

Table 4. Principal component analysis of differences in phenotypic traits of *Zenia insignis* seeds
表 4. 影响任豆种子表型性状差异的主成分分析

影响因子/ X_n	旋转成分荷载			
	PC1	PC2	PC3	PC4
pH/ X_1	0.774	0.362	0.187	0.200
MC/ X_2	0.742	0.284	0.350	-0.187
SOM/ X_3	0.692	0.469	0.380	-0.093
TN/ X_4	-0.608	0.587	-0.119	-0.119
AN/ X_5	-0.572	0.442	-0.072	0.501
TP/ X_6	0.424	0.378	-0.317	0.361
AP/ X_7	0.263	-0.584	-0.261	0.334
北纬/ X_8	0.561	-0.577	0.337	-0.273
东经/ X_9	-0.057	0.566	0.396	0.365
海拔/ X_{10}	-0.396	-0.277	0.808	0.149
年均气温/ X_{11}	0.510	-0.132	-0.788	0.170
年均降雨/ X_{12}	-0.177	-0.582	0.320	0.630
年均日照/ X_{13}	0.454	-0.004	0.075	0.617
特征值	3.547	2.543	2.142	1.628
贡献率%	27.282	19.559	16.478	12.525
累积贡献率%	27.282	46.842	63.319	75.844

由表 4 可知,将土壤理化因子、气候地理因子的各项系数在 4 个主成分中所占的比重进行成分因子划分归类,第 1 主成分有 pH、MC、SOM,其信息荷载量达 0.69 以上,说明这 3 种土壤理化因子对不同种源任豆种子性状差异的影响较大;第 2 主成分中的 TN 和东经,其信息荷载量达 0.56 以上,是影响任豆种子表型性状的主要因素;第 3 主成分中的海拔高度,其信息荷载量达到 0.80 以上,是影响任豆种子表型性状的重要因素;第 4 主成分中的年均降雨和年均日照,其信息荷载量均达到 0.61 以上,是影响任

豆种子表型性状的主要因素。由此可见,土壤理化因子和气候地理因子,均对任豆种子表型性状的差异具有较大的影响。

根据表 4 中各个环境因子的旋转成分荷载量,可计算其对任豆种子性状差异影响的综合得分情况,具体计算公式如下:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0.140X_1 + 0.241X_2 + 0.367X_3 + 0.411X_4 + 0.394X_5 - 0.0303X_6 + 0.225X_7 \\
 &\quad + 0.298X_8 - 0.210X_9 + 0.271X_{10} - 0.323X_{11} - 0.094X_{12} - 0.304X_{13} \\
 Y_2 &= -0.366X_1 - 0.003X_2 + 0.294X_3 + 0.227X_4 + 0.178X_5 + 0.355X_6 + 0.237X_7 \\
 &\quad - 0.362X_8 - 0.174X_9 - 0.08261X_{10} + 0.368X_{11} - 0.362X_{12} + 0.277X_{13} \\
 Y_3 &= -0.179X_1 + 0.051X_2 + 0.259X_3 + 0.128X_4 + 0.239X_5 + 0.270X_6 - 0.216X_7 \\
 &\quad + 0.230X_8 + 0.552X_9 - 0.538X_{10} - 0.081X_{11} + 0.219X_{12} - 0.050X_{13} \\
 Y_4 &= 0.262X_1 + 0.484X_2 - 0.073X_3 + 0.157X_4 - 0.147X_5 + 0.286X_6 + 0.283X_7 \\
 &\quad - 0.214X_8 + 0.116X_9 + 0.133X_{10} - 0.093X_{11} + 0.494X_{12} + 0.393X_{13} \\
 Y &= 27.282Y_1 + 19.559Y_2 + 16.478Y_3 + 12.525Y_4
 \end{aligned}$$

式中 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 为特征向量, Y 为综合得分, X_1 、 X_2 、……、 X_{13} 为各性状 X_n 的标准化值。由表 5 可知,土壤理化因子和气候地理因子对不同种源任豆种子性状的影响作用不同,根据综合评分高低排序为:甘河屯 > 宝聚村 > 遥望屯 > 彰泰园 > 垌平-2 > 祥贝街 > 古龙村 > 东风屯 > 拉海屯 > 古黄坳 > 陇乃-1 > 冲隘屯 > 垌平-1 > 龙贵洞 > 拉仁屯 > 拉平屯 > 六团屯 > 乔善村 > 甘村屯 > 下板凡 > 豪垌屯 > 白伟村 > 水教屯 > 白龙洞 > 王八山 > 尧山脚 > 巴思屯 > 门豆屯 > 陇乃-2 > 山脚屯 > 龙王庙 > 黄村,说明这些环境因子对甘河屯任豆种子表型性状的影响最大,对黄村任豆种子表型性状的影响最小。

Table 5. Comprehensive score of different environmental factors on phenotypic traits of *Zenia insignis* seeds
表 5. 不同环境因子对任豆种子表型性状影响的综合评分

编号	采集地	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y	排序
01	龙贵洞	0.76	0.69	-2.40	0.81	4.83	14
02	山脚屯	-1.42	0.19	-2.73	-0.43	-85.39	30
03	拉海屯	1.10	1.49	-1.44	-0.08	34.42	9
04	拉平屯	0.32	0.66	-2.26	0.29	-11.97	16
05	白龙洞	-1.55	0.64	-0.11	-0.75	-40.98	24
06	祥贝街	0.35	1.16	0.93	0.18	49.82	6
07	下板凡	-1.11	1.04	0.11	-1.33	-24.79	20
08	古黄坳	-0.27	1.33	0.85	-0.61	25.01	10
09	冲隘屯	-0.59	1.40	0.64	-0.22	19.08	12
10	古龙村	0.11	1.80	0.95	-0.46	48.10	7
11	龙王庙	-2.50	0.04	-0.29	-1.29	-88.36	31
12	甘村屯	-1.35	1.26	0.44	-1.53	-24.10	19
13	遥望屯	0.71	2.79	1.42	0.25	100.47	3
14	王八山	-1.76	0.20	-0.09	-0.24	-48.59	25
15	巴思屯	-2.11	0.49	0.10	-0.77	-55.98	27

续表

16	白伟村	-1.43	0.74	0.34	-0.93	-30.59	22
17	豪垌屯	1.90	-3.01	-0.16	-1.46	-27.96	21
18	垌平-1	2.27	-1.80	0.62	-1.68	15.90	13
19	垌平-2	3.07	-1.21	1.12	-1.64	58.00	5
20	东风屯	3.43	-1.78	-0.20	-1.45	37.31	8
21	宝聚村	0.97	1.46	2.26	1.38	109.54	2
22	乔善村	-0.08	-0.86	0.15	-0.18	-18.79	18
23	门豆屯	-1.46	-1.22	-0.01	0.00	-63.86	28
24	六团屯	-0.25	-0.22	-0.09	-0.23	-15.49	17
25	甘河屯	5.69	1.63	-0.64	2.22	204.38	1
26	水教屯	1.61	-1.97	-1.49	-1.01	-31.81	23
27	拉仁屯	-1.66	1.38	-0.19	1.14	-7.15	15
28	陇乃-1	-0.55	0.53	0.64	1.31	22.31	11
29	陇乃-2	-0.48	-0.99	-4.13	2.77	-65.82	29
30	彰泰园	0.93	-1.11	3.28	2.56	89.77	4
31	尧山脚	-1.71	-2.92	1.40	2.12	-54.14	26
32	黄村	-2.92	-3.85	0.97	1.25	-123.33	32

4.5. 聚类分析

根据不同种源任豆种子的表型性状差异,可对其进行系统聚类分析,结果见图 3。当欧式距离为 12.5 时,可将 32 个任豆种源划分为 4 个类群:类群 I 包括 12 个种源,分别是陇乃-1、陇乃-2、龙王庙、东风屯、祥贝街、乔善村、六团屯、下板凡、水教屯、甘村屯、拉海屯、拉平屯种源;类群 II 包括 15 个种源,分别是冲隘屯、垌平-2、宝聚村、白龙洞、尧山脚、王八山、垌平-1、甘河屯、古黄坳、门豆屯、白伟村、龙贵洞、巴思屯、拉仁屯、彰泰园种源;类群 III 包括 3 个种源,分别为山脚屯、古龙村、遥望屯;类群 IV 包括 2 个种源,分别为豪垌屯、黄村种源。

由此可知,根据不同种源任豆种子表型性状的相似程度,采自同一区域的任豆种子可以划分到不同的类群,采自不同区域的任豆种子也可以划分到同一类群,说明任豆种子具有较高的遗传稳定性,同时,外界环境因子对其表型性状也具有重要的影响。

5. 讨论

5.1. 遗传因子对任豆种子表型性状的影响

表型是在特定环境中某种生物个体所表现的生理、形态和行为等所有特征的总和[12][13]。生物表型性状是表现遗传性状,是基因型与环境共同作用的结果[14][15]。相同种源的植物个体在不同气候条件下也会表现出不同的外部形态,其表型是基因和所处生境各种生态因子相互作用的结果[16][17]。相关研究结果表明,在物种传播和生物进化的过程中,物竞天择,适者生存,自然选择和遗传漂变是进化的动力,会促使物种产生与之相适应的变异,并将变异稳定地传给下一代[18]-[20]。任豆是我国特有的单种属植物,其表型性状是相对稳定的,虽然气候地理等环境因子对不同种源任豆种子的表型性状具有重要影响,但基因型是决定其表型性状的主要因素[21]。

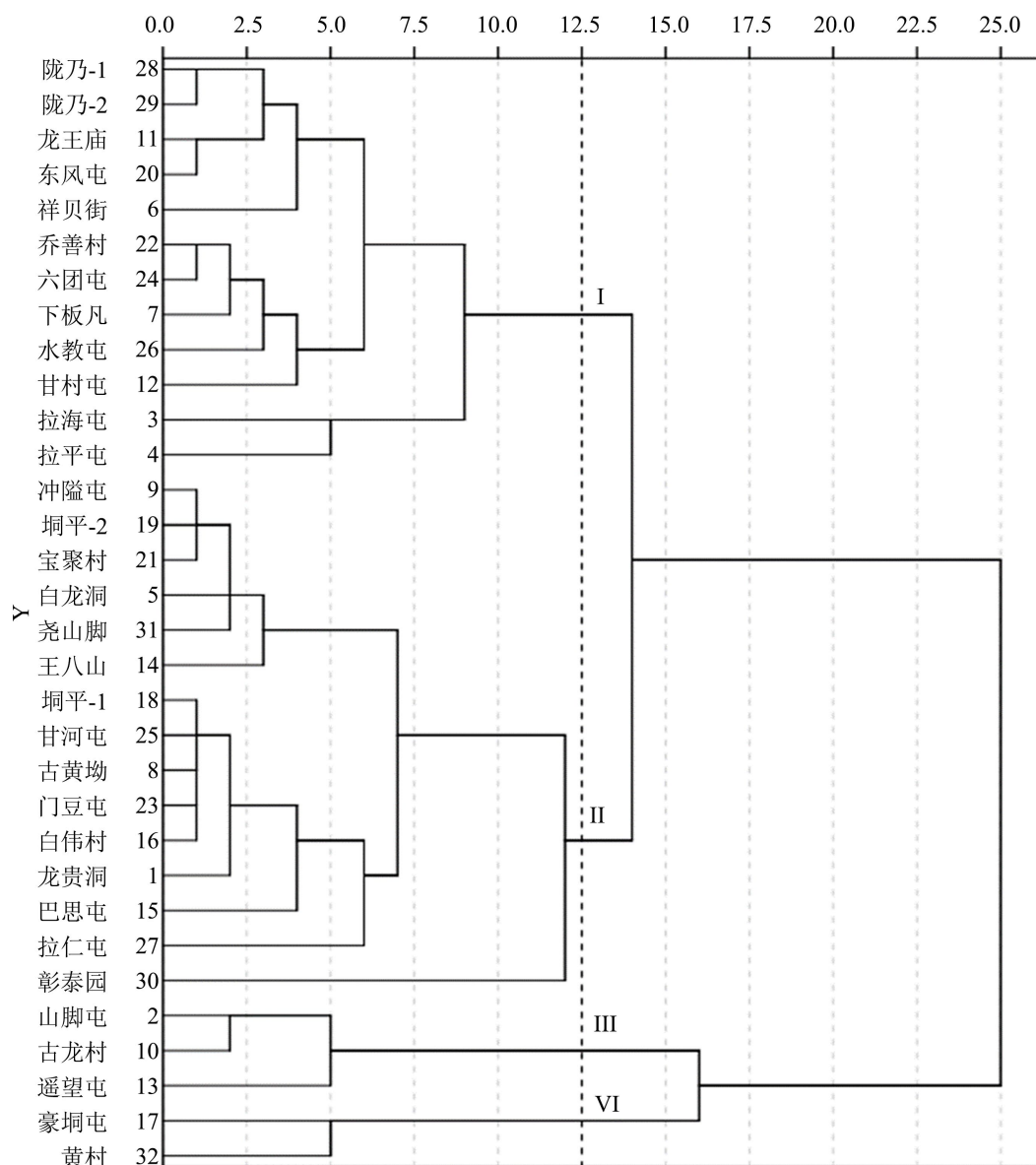


Figure 3. Cluster analysis of phenotypic traits of *Zenia insignis* seeds from different sources

图 3. 不同种源任豆种子表型性状的聚类分析

5.2. 环境因子对任豆种子表型性状的影响

生物的表型性状受外界环境因子和遗传因子的共同影响[22]。因为任豆是单种属植物，其遗传组成没有明显差异，所以不同种源任豆种子表型性状的差异，可能是由环境因子的差异造成的，该结果与苏石诚和欧汉彪等人的相关研究结果相似[19] [20]，与林伟的结果有差异[10]。从主成分分析的结果可知，在诸多影响任豆种子表型性状的环境因子中，pH、MC、SOM、TN、东经、海拔、年均降雨和年均日照是最主要的影响因素。何小勇[23]观测了 9 个不同种源任豆种子的表型性状，发现种子大小与经纬度呈负相关，本研究结果与之相似。任豆种子大小与年均气温呈负相关，该结果与梁有旺[24]的相关研究结果一致。

土壤肥力的高低，对植物生长发育具有重要的影响[25]，虽然本研究中不同种源地任豆根部土壤的理化特性有较明显差异，被测土壤理化指标与任豆表型性状具有一定相关性，但不显著。究其原因，一方

面,可能是任豆种子的表型性状比较稳定,主要受遗传因素的控制,不容易受到土壤肥力等环境因子的影响;另一方面,可能是因为岩溶地区地形地貌复杂,空间异质性大,影响植物生长发育的因素较多;此外,任豆是岩溶地区的先锋树种,具有较强的耐旱和固氮能力,所以,土壤肥力可能不是影响任豆种子表型性状的关键因素。

5.3. 不同生态型对任豆种子表型性状的影响

虽然任豆同属一个物种,但其对不同生境的适应,可能会形成不同的生态型。何小勇研究了广东、广西、湖南、贵州 9 个不同种源地任豆的遗传多样性,并根据种子和苗期叶片和生长量等主要表型性状指标,将其划分为湘桂粤南岭山地生态型、桂西石灰岩生态型和云贵高原生态型,不同生态型之间存在明显的地理隔离[23]。也就是说,不同种源任豆种子表型性状的差异,可能与不同生态型的任豆树种有关,因此,可利用染色体核型分析[26]、DNA 条形码技术[27]等手段,对不同种源任豆种子进行比较分析,研究其内在遗传因素对不同种源任豆种子性状差异的影响,并通过系统聚类确定其物种的归属,通过主成分分析等方法得到不同种源任豆种子的综合评分结果,筛选优质的任豆种质资源,相关问题有待进一步研究。

5.4. 人工标准化筛选与微生境对任豆种子表型性状的影响

任豆是我国南方喀斯特地区特有的珍稀树种,从野生种源转向人工种植,其引种历史可追溯至 20 世纪 80 年代[28]。据报道,任豆为强阳性速生树种,耐干旱贫瘠、萌芽力强、侧根发达,能在石缝中生长并固氮,这些特性可能导致“地理远缘但表型相似”的现象。广西原生种与福建引种[29]虽地理隔离,但在相似石灰岩或红壤贫瘠生境下,均表现出速生、耐逆的一致表型,这可能与引种过程中人工筛选适应性强的种源密切相关。由于广西、福建、贵州等多个省区在石灰岩山地大力推广种植任豆树,形成了标准化的栽培技术,因此可能弱化了不同省区地理差异带来的任豆种子表型分化。

微生境异质性可能是影响“地理邻近但表型差异大”的重要因素[30]。任豆虽能生长在石灰岩土壤中,但土壤肥力、岩石裸露度、降水量等微环境差异可能导致其种子的表型分化。研究表明,广西桂林雁山 17 年生的植株胸径达 43 cm,而广西平果 16 年生的植株胸径仅 19.9 cm,这种差异可能与两地坡积土厚度、海拔及管护措施相关。

综上,任豆的引种历史体现了人为筛选与生态适应性的协同作用,其表型变异可能更多是受微生境的影响而非地理距离的影响。因此,未来研究需结合种源试验[31]和分子标记等相关技术[32],深入解析引种背景下表型趋同或分化的遗传机制,同时加强地方志和林业档案中引种记录的整理,为任豆优质种源保护与开发利用提供科学依据。

6. 结论

根据以上实验结果及分析讨论,可以得到以下结论:

- 1) 桂西北岩溶地区不同种源任豆种子的表型性状有极显著差异。任豆种子的长度与宽度、百粒质量、长厚比均呈极显著正相关,与长宽比呈显著正相关;宽度与百粒质量呈极显著正相关,与长宽比呈极显著负相关,厚度与长厚比呈极显著负相关。
- 2) 土壤理化特性不是影响任豆种子表型性状的关键因素。任豆种子表型性状与土壤理化因子有一定的相关性,有机质含量和碱解氮含量是土壤理化因子中影响任豆种子表型性状的重要因素。
- 3) 气候地理因子对任豆种子表型性状具有一定的影响。任豆种子厚度与海拔高度呈显著正相关,其他表型性状与气候地理因子虽有一定的相关性,但不显著。

基金项目

广西自然科学基金(桂科自 0832273), 河池学院高层次人才科研启动费项目(XJ2018GKQ015, XJ2018GKQ016), 桂西北地方资源保护与利用工程中心(桂科自[2012] 9 号)。

参考文献

- [1] 敖惠修, 何道泉, 张祝平, 等. 广东石灰岩地区的任豆群落[J]. 热带地理, 1997, 17(3): 275-276+278-282.
- [2] 李茂, 邓伦秀, 潘德权, 等. 梵净山自然保护区任豆群落研究[J]. 浙江林业科技, 2011, 31(5): 6-9.
- [3] 农友, 卢立华, 贾宏炎, 等. 桂西南岩溶区不同恢复模式群落生物量及林下植物多样性[J]. 林业科学研究, 2017, 30(2): 200-205.
- [4] Zhang, Z., Zhang, J., Xu, G., Zhou, L. and Li, Y. (2018) Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve the Growth and Drought Tolerance of *Zenia Insignis* Seedlings under Drought Stress. *New Forests*, **50**, 593-604. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9681-1>
- [5] 蒋光敏, 岑忠用, 陈燕师, 等. 喀斯特地区造林先锋树种任豆种子萌发特性研究[J]. 种子, 2008, 27(12): 15-21.
- [6] 何小勇, 赵思东, 柳新红, 等. 翅荚木的天然分布与引种栽培[J]. 浙江林业科技, 2006(5): 61-65.
- [7] Zhao, X., Liu, J., Xia, X., Chu, J., Wei, Y., Shi, S., *et al.* (2013) The Evaluation of Heavy Metal Accumulation and Application of a Comprehensive Bio-Concentration Index for Woody Species on Contaminated Sites in Hunan, China. *Environmental Science and Pollution Research*, **21**, 5076-5085. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2393-3>
- [8] 柳新红, 何小勇, 袁德义, 等. 翅荚木地理种源苗期遗传性状变异[J]. 林业科学研究, 2007, 20(6): 814-819.
- [9] 覃勇荣, 白新高, 刘旭辉. 桂西北岩溶地区不同植被土壤养分及微生物生理类群数量的季节变化[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24): 273-280.
- [10] 林玮, 周鹏, 周祥斌, 等. 任豆种源种子性状地理变异研究[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(4): 69-74.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第三版. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [12] Han, H., Li, S., Gan, X. and Zhang, X. (2017) Phenotypic Diversity in Natural Populations of an Endangered Plant *Tetracentron sinense*. *Botanical Sciences*, **95**, 283-294. <https://doi.org/10.17129/botsci.824>
- [13] Li, C., Song, L., Zhu, Y., Zhai, Y. and Wang, Q. (2017) Genetic Diversity Assessment of Upland Cotton Variety Resources in China Based on Phenotype Traits and Molecular Markers. *Crop Science*, **57**, 290-301. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0200>
- [14] 潘映红. 论植物表型组和植物表型组学的概念与范畴[J]. 作物学报, 2015, 41(2): 175-186.
- [15] Kaviriri, D.K., Zhang, Q., Zhang, X., Jiang, L., Zhang, J., Wang, J., *et al.* (2020) Phenotypic Variability and Genetic Diversity in a *Pinus koraiensis* Clonal Trial in Northeastern China. *Genes*, **11**, Article No. 673. <https://doi.org/10.3390/genes11060673>
- [16] Langerhans, R.B., Chapman, L.J. and Dewitt, T.J. (2007) Complex Phenotype-Environment Associations Revealed in an East African Cyprinid. *Journal of Evolutionary Biology*, **20**, 1171-1181. <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2007.01282.x>
- [17] Motthaodi, T., Geleta, M., Chite, S., Fatih, M., Ortiz, R. and Bryngelsson, T. (2016) Genetic Diversity in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Germplasm from Southern Africa as Revealed by Microsatellite Markers and Agro-Morphological Traits. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **64**, 599-610. <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0388-x>
- [18] 高张莹, 张海峰, 陈国平, 等. 核桃楸种群果核形态及地理变异[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(4): 609-615.
- [19] 苏石诚, 韦小丽, 杨彬, 等. 不同种源花榈木种子性状和苗期生长特性比较[J]. 种子, 2021, 40(3): 9-14.
- [20] 欧汉彪, 董利军, 李娟, 等. 闽楠种实性状表型多样性与环境地理因子的关系[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(8): 45-50.
- [21] 陶小所, 姚晓华, 吴昆仑, 等. 基于表型和基因型的藜麦种质资源遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2024, 33(5): 798-809.
- [22] 张芸香, 刘晶晶, 郭晋平, 等. 山西省文冠果种子形态特征及地理种源差异性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(22): 39-45.
- [23] 何小勇. 翅荚木种源遗传多样性及其抗低温胁迫能力研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [24] 梁有旺. 不同种源香椿种子及苗木差异性分析[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京林业大学, 2006.

- [25] 李晓娜, 张微微, 赵春桥, 等. 延庆区荒滩地土壤理化性质及其对植物多样性的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(3): 695-701.
- [26] 李懋学, 陈瑞阳. 关于植物核型分析的标准化问题[J]. 武汉植物学研究, 1985, 3(4): 297-302.
- [27] 李军, 张召雷, 王晓敏, 等. 应用种子形态及 DNA 条形码技术鉴定黄芪及混伪品种子[J]. 中草药, 2022, 53(24): 7871-7879.
- [28] 梁瑞龙, 周全连, 李娟, 等. 生态与经济型乡土阔叶树种任豆研究进展及其发展对策[J]. 广西林业科学, 2015, 44(2): 156-161.
- [29] 王青天. 任豆树引种育苗试验[J]. 林业实用技术, 2003(1): 27.
- [30] 沈才智, 刘丙万. 生境对生物多样性影响研究进展[J]. 现代农业科技, 2011(23): 305-306+313.
- [31] 赵艳新. 任豆地理种源/家系早期生长性状变异与选择研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [32] 许峰, 张子学, 杨雪, 等. 分子标记技术在《种子检验学》中的教学实践[J]. 中国种业, 2025(3): 58-63.