Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

Evaluation of genetic diversity of different pigeon pea genotypes in the National Plant Gene Bank of Iran using morphological traits

Mehrzad Ahmadi*

Corresponding Author, Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: ahmadimehrzad@ymail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08.23.2022
Revised: 09.18.2022
Accepted: 11.09.2022

Keywords:
Cluster analysis,
Descriptor,
Principal components,
Sistan and Baluchistan

ABSTRACT

Background and Objectives: Pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) is the sixth most important legume crop in the world. This plant is multi-purpose which is used as unripe seeds and pods, splits and fodder, it is also suitable for cultivation in tropical and subtropical regions and it is compatible with poor soil and dry areas. The seeds of this plant are rich in protein (containing more than 30 percentage of seed weight). In this study, the genetic diversity of different Pigeon pea genotypes has been investigated using morphological traits.

Materials and Methods: This study was carried out in order to investigate agronomic and morphological characteristics of different genotypes of pigeon pea collected from Sistan and Baluchistan province in 2019. 27 Agronomical and morphological traits related to leaves, flowers, pods and seeds were investigated in 30 different genotypes of pigeon pea available in the collection of the Iranian National Plant Gene Bank. The data were analyzed using SPSS and STAR statistical softwares. Correlation and principal components analysis were done and, cluster analysis was done by Ward's method for classifing genotypes.

Results: The results showed that the number of seeds per pod, number of secondary branches, and number of seeds per plant had the highest coefficient of variation, and among the investigated qualitative traits, the highest Shannon index was observed in the pod color, petal vein color, and seed color, respectively. Correlation analysis showed that there was a significant correlation between most of the measured traits. According to the results, the highest correlation was observed between the weight of the plant with the weight of pods and the number of days until the beginning of flowering with the number of days until maturity. In the cluster analysis, the 30 studied genotypes were divided into four main clusters at distance of five. The results of principal components analysis showed that five components which justified 89.4% of the variation. The biplot diagram obtained from the principal components for the evaluated traits was consistent with cluster analysis grouping. In this diagram, the four groups from the cluster analysis were well separated. Totally, the results of principal component analysis and cluster analysis confirmed the existence of high genetic diversity between the studied genotypes.

Conclusion: The results of this research showed that different pigeon pea genotypes had a wide range of morphological characteristics, which shows the diversity and high genetic potential of this product. In this research, genotype 19, with 95 days, and genotype 23, with 193 days, were the

earliest and the latest maturity genotypes. Genotype 5 had the highest amount with 230 pods per plant and genotype 30 had the lowest amount with 33 pods. Genotype 11 had the highest amount with 968 seeds per plant and genotype 30 had the lowest amount with 132 seeds.

Cite this article: Ahmadi, Mehrzad. 2023. Evaluation of genetic diversity of different pigeon pea genotypes in the National Plant Gene Bank of Iran using morphological traits. *Journal of Plant Production Research*, 30 (2), 115-137.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20516.2959
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف نخودکفتری بانک ژن گیاهی ملی ایران با استفاده از صفات ریخت‌شناسی

مهرزاد احمدی*

نویسنده مسئول، استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران.
رایانامه: ahmadimehrzad@ymail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۸

واژه‌های کلیدی:
تجزیه خوشه‌ای،
دیسکریپتور،
سیستان و بلوچستان،
مؤلفه‌های اصلی

چکیده

سابقه و هدف: نخودکفتری (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) ششمین محصول مهم حبوبات در جهان است. این گیاه چندمنظوره بوده و از دانه و غلاف نارس، لپه و علوفه آن استفاده می‌شود. هم‌چنین مناسب برای کشت در مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر، سازگار با مناطق کم حاصلخیز و کم‌آب بوده و دانه‌های این گیاه سرشار از پروتئین (حاوی بیش از ۳۰ درصد وزن دانه) است. در این پژوهش به بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف نخودکفتری با استفاده از صفات ریخت‌شناسی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به‌منظور بررسی خصوصیات زراعی و ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های مختلف نخودکفتری جمع‌آوری شده از استان سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۹ در کرج به‌صورت مشاهده‌ای اجرا شد. ۲۷ ویژگی ریخت‌شناسی در۳۰ ژنوتیپ مختلف نخودکفتری موجود در کلکسیون بانک ژن گیاهی ایران از جمله صفات مربوط به برگ، گل، غلاف و دانه مورد بررسی گردید و در پایان داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری SPSS و STAR مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و همبستگی و تجزیه به مؤلفه اصلی آن‌ها انجام و به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها، تجزیه کلاستر به روش Ward صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که صفت‌های تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه ثانویه و تعداد دانه در بوته بیش‌ترین ضریب تغییرات را داشته و در میان صفات کیفی مورد بررسی بیش‌ترین شاخص شانون به ترتیب در صفات رنگ غلاف، رنگ رگه‌های گلبرگ و رنگ بذر مشاهده شد. تجزیه همبستگی نشان داد که بین بیش‌تر صفات اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌داری وجود داشت. طبق نتایج، بیش‌ترین همبستگی بین وزن بوته با وزن غلاف و صفت تعداد روز تا شروع گلدهی با تعداد روز تا رسیدگی مشاهده شد. در تجزیه خوشه‌ای، ۳۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در فاصله پنج، به چهار خوشه اصلی تقسیم شدند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کمی نشان داد

که پنج مؤلفه در مجموع ۸۹/۴ درصد از تغییرات را توجیه کردند. نمودار بای‌پلات به‌دست آمده از مؤلفه‌های اصلی برای صفات مورد ارزیابی، با گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای مطابقت داشت. در این نمودار، چهار گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای به خوبی تفکیک شدند. به‌طورکلی نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای وجود تنوع ژنتیکی بالا بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را تأیید کردند.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف نخودکفتری دارای طیف وسیعی از خصوصیات ریخت‌شناسی بودند که نشان‌دهنده تنوع ژنتیکی بالای این محصول می‌باشد. در این پژوهش ژنوتیپ ۱۹، با ۹۵ روز و ژنوتیپ ۲۳ با ۱۹۳ روز، زودرس‌ترین و دیررس‌ترین ژنوتیپ بودند. ژنوتیپ ۵ با ۲۳۰ غلاف در بوته بیش‌ترین و ژنوتیپ ۳۰ با ۳۳ غلاف کم‌ترین میزان را داشت. ژنوتیپ ۱۱ با ۹۶۸ دانه بیش‌ترین و ژنوتیپ ۳۰ با ۱۳۲ دانه کم‌ترین مقدار را داشت.

استناد: احمدی، مهرزاد (۱۴۰۲). بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های مختلف نخودکفتری بانک ژن گیاهی ملی ایران با استفاده از صفات ریخت‌شناسی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۰ (۲)، ۱۳۷-۱۱۵.
DOI: 10.22069/JOPP.2022.20516.2959

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

نخودکفتری (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh, 2n = 2x = 22) ششمین محصول مهم حبوبات در جهان و یک محصول غذایی ضروری در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان است. این محصول چندمنظوره است که عمدتاً به دلیل دانه خوراکی آن که سرشار از پروتئین غذایی (تا بیش از ۳۱ درصد) (۱ و ۲) و اسیدهای آمینه ضروری مانند لوسین[1] (۱۶/۱۴۸ گرم در کیلوگرم)، تیروزین[2] (۱۴/۷۷ گرم بر کیلوگرم) و آرژنیین[3] (۱۳/۵۱ گرم بر کیلوگرم) است، کشت می‌شود. نخودکفتری به دلیل سازگاری با مناطق با حاصلخیزی ضعیف و کم‌آب، جزء ضروری سیستم‌های کشاورزی در اکولوژی‌های نیمه‌خشک است. این گیاه دارای سیستم ریشه عمیق و توانایی منحصر به فرد برای حفظ تنظیم اسمزی بهینه در شرایط کم‌آبی است (۳). نخودکفتری می‌تواند نیتروژن اتمسفر را در خاک از طریق همزیستی با گونه‌های باکتری ریزوبیوم، تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، تثبیت کند (۴ و ۵). هم‌چنین علوفه عالی با پروتئین بالا برای دام (۶، ۷ و ۸) تولید کرده که می‌تواند با سورگوم و یا ارزن مخلوط شود. بنابراین، این گیاه نقش مهمی در افزایش امنیت غذایی و معیشت، به‌ویژه در سال‌های خشکسالی داشته و به بهبود خاک کمک می‌کند.خودکفتری به علت داشتن این صفات، در سیستم‌های کشاورزی کشورهای در حال توسعه پذیرفته شده و جایگاه منحصر به فردی پیدا کرده است. این گیاه علاوه بر کشت جهت تولید دانه، برای تغذیه و پرورش حشرات هم‌چون کرم ابریشم و زنبورعسل، برای کاهش فرسایش خاک در اراضی شیبدار کشت می‌شود. از دانه‌های سبز آن به عنوان سبزی، برگ‌ها به عنوان علوفه و ساقه به عنوان سوخت استفاده می‌شود. هم‌چنین از لپه آن در غذای معروف هندی به نام دال استفاده می‌شود (۹). خاستگاه این محصول هندوستان بوده که بزرگ‌ترین تولیدکننده نخودکفتری است و ۲۵ درصد از تولید جهانی را به خود اختصاص داده است و پس از آن میانمار و مالاوی قرار دارد (۱۱).

این گیاه دارای ۱۱ گروه رسیدگی مختلف از گروه رسیدگی دو صفر یا سوپر زودرس با دوره گلدهی کم‌تر از ۵۰ روز و بی‌تفاوت به طول روز تا گروه ۹ و دیررس با دور گلدهی بالای ۱۶۰ روز و حساس به طول روز تقسیم شده است. وجود این تنوع در تیپ‌های رشدی نخودکفتری نقش مؤثر و مهمی در تنوع سیستم‌های زراعی دارد و فرصت‌های مناسب برای گسترش کشت آن در عرض‌های جغرافیایی جدید فراهم می‌کند. تیپ زودرس دارای ارتفاع نسبتاً کوتاهی هستند و زیست‌توده کم‌تری تولید می‌کنند و بنابراین، برای عملکرد بهینه به تراکم بالای گیاه نیاز دارد. چنین تیپ‌هایی به‌طورکلی در مکان‌های خاص کشت می‌شوند. حساسیت به طول روز در ژرم‌پلاسم نخودکفتری با زمان گلدهی و بیوماس ارتباط مستقیم دارد. ژنوتیپ‌های حساس به طول روز بیوماس (زیست‌توده) بیش‌تری تولید می‌کنند و به‌طور سنتی یا به‌عنوان یک کشت مخلوط و یا به‌عنوان پرچین‌های دائمی کشت می‌شوند. دو تیپ عمده رشد محدود و رشد نامحدود در نخودکفتری مشاهده می‌شود. در انواع رشد محدود خوشه‌های غلاف در بالای کانوپی قرار دارند. رشد گیاه پس از گلدهی متوقف شده و رسیدگی غلاف کم و بیش یکنواخت است (۱۰).

ارقام کشت شده نخودکفتری چندشکلی پایینی نسبت به توده‌های محلی وخویشاوندان وحشی دارند (۱۲) به طوری که اصلاح‌گران گزینه‌ای جز استفاده از خویشاوندان وحشی از منابع تنوع ثانویه و ثالثیه با استفاده از روش‌های انتقال ژن برای افزایش

1- Leucine
2- Tyrosine
3- Arginine

چندشکلی ندارند (۱۳). به گفته ساکسنا و همکاران (۲۰۱۴)، بالاترین سطح پلی‌مورفیسم در خویشاوندان وحشی و نژادهای بومی نخودکفتری در هند است (۱۴). خویشاوند وحشی گونه‌های کشت شده به‌عنوان منبع مهم افزایش سطح تنوع ژنتیکی نخودکفتری محسوب می‌شود (۱۵). خویشاوندان وحشی نخودکفتری به دلیل ویژگی‌های برتری مانند محتوای پروتئین بالا، کلیستوگامی، نرعقیمی سیتوپلاسمی، عادت کوتوله‌گی و متحمل بودن به تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی شناخته شده‌اند (۱۵ و ۱۶).

تنوع ژنتیکی در یک گیاه را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف از جمله نشانگرهای ریخت‌شناسی و یا فنوتیپی، بیوشیمیایی و مولکولی مورد مطالعه قرار داد (۱۷). ارزیابی ریخت‌شناسی به عنوان یک روش قدیمی در نظر گرفته می‌شود، زیرا ساده، ارزان و بدون نیاز به امکانات یا روش‌های خاص است (۱۷). خصوصیات ریخت‌شناسی درکی از گونه‌های گیاهی را براساس فنوتیپ در شرایط مزرعه فراهم می‌کند. اغلب صفات به شدت تحت‌تأثیر عوامل محیط قرار می‌گیرد (۱۸ و ۱۹). مطالعات مختلفی برروی تنوع ژنتیکی در نخودکفتری با استفاده از صفات ریخت‌شناسی صورت گرفته است (۲۰، ۲۱ و ۲۲).

کریشنان و همکاران، ۳۲ ژنوتیپ نخودکفتری را با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، با نه صفت ریخت‌شناسی و فنولوژیکی برای تعیین الگوی تنوع ژنتیکی و ارتباط بین افراد مورد بررسی قرار دادند. بیش‌ترین تغییرات مربوط به عملکرد دانه در بوته با ضریب تغییرات ۷۴/۰۱ درصد و پس از آن صفات تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته و تعداد شاخه مشاهده شد. کم‌ترین تغییرات در طول غلاف با ضریب تغییرات ۱۰/۶۰ درصد مشاهده شد. برای ارزیابی تنوع و سهم نسبی صفات مختلف نسبت به تنوع کل از تحلیل مؤلفه اصلی استفاده شد. واریانس تجمعی ۸۸/۸۰ درصد از تغییرات کل بین نه صفت مورد بررسی را توجیه کرد. در این پژوهش مولفه اصلی اول از صفاتی مانند روز تا رسیدن، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، ارتفاع بوته و وزن ۱۰۰ دانه، تعداد شاخه، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه در بوته سهم داشت که ۳۴/۵۴ درصد بود. مؤلفه دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲۶/۸۲، ۱۶/۰۳ و ۱۱/۴۰ درصد از کل تنوع را توضیح دادند. بنابراین، نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده در این مطالعه، سطح بالای تنوع ژنتیکی را نشان دادند در تجزیه همبستگی صفات تعداد غلاف در بوته و ارتفاع بوته با عملکرد دانه در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری داشته است. تجزیه خوشه‌ای نمونه‌ها را به دو گروه اصلی تقسیم نمود (۲۳).

کیمارو و همکاران به بررسی تنوع ژنتیکی و ساختار ژنتیکی ۴۸ ژنوتیپ نخودکفتری جمع‌آوری شده از ۴ منطقه در تانزانیا را با استفاده از نشانگرهای SSR، مورد بررسی قرار دادند. نمونه‌ها به سه خوشه اصلی گروه‌بندی شد و بیان داشتند که این مطالعه امکان انتخاب مواد والدینی برای اصلاح ژنتیکی این گیاه را فراهم کرده است (۲۴).

کیمارو و همکاران (۲۰۲۱)، ۴۸ نمونه جمع‌آوری شده از تانزانیا و کنیا با استفاده از ۱۰ صفت کیفی و ۱۶ صفت کمی زراعی- ریخت‌شناسی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای تفکیک ژنوتیپ‌ها به گروه‌های مختلف از تجزیه خوشه‌ای استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که ژنوتیپ‌ها برای اکثر صفات مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری داشتند. شاخص کلی تنوع شانون از ۰/۱۰ (شکل غلاف) تا ۱/۰۴ (رنگ غلاف) متغیر بود. شکل غلاف، الگوی گلدهی و رنگ پایه بذر تنوع کمی در بین ژنوتیپ‌ها نشان داد. براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، صفاتی روز تا ۵۰ درصد گلدهی، روز تا رسیدن، تعداد غلاف

در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد دانه، عرض برگ و قطر ساقه بیش‌ترین تغییرات را در کلکسیون نخودکفتری تشکیل می‌دهند. تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را به سه خوشه تقسیم کرد. هم‌چنین نمودار خوشه‌ای نشان داد که تنوع ژنتیکی با تنوع جغرافیایی ارتباطی ندارد. مطلوب‌ترین ژنوتیپ‌ها نخودکفتری براساس ویژگی‌های متمایز از جمله عملکرد بالا و متوسط رس و تعداد دانه و غلاف بالا در بوته شناسایی شدند (۲۵).

در ایران گزارشی درباره وجود این گیاه و تولید و کشت آن موجود نیست. در این پژوهش به بررسی ۳۰ ژنوتیپ نخودکفتری موجود در بانک ژن پرداخته شده است. این نمونه‌ها در کلکسیون لوبیا سبز بانک ژن موجود بوده و در ابتدا به نظر می‌رسید ماگ (لوبیا چشم بلبلی محلی) باشد ولی با رشد گیاهان در مزرعه و ارزیابی گیاهشناسی آن به‌عنوان نخودکفتری شناسایی شد. این نمونه‌ها از استان سیستان و بلوچستان جمع آوری شدند. در این پژوهش به ارزیابی ریخت‌شناسی ژنوتیپ‌های نخودکفتری موجود در بانک ژن گیاهی ملی ایران پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی ۳۰ ژنوتیپ از نخودکفتری *Cajanus cajan* (L.) Millspaugh از کلکسیون بانک ژن در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام شد. کشت نمونه‌ها در مزرعه تحقیقاتی بانک ژن گیاهی ملی ایران واقع در کرج با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا صورت گرفت. وضعیت تغییرات دمای هوا بر اساس میانگین ماهانه در طی ماه‌های سال در کرج در جدول ۱ ارایه شده است.

هر کرت شامل یک خط به طول دو متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر به‌صورت مشاهده‌ای (بدون تکرار) بود. کاشت بذور به صورت دستی صورت پذیرفت. آبیاری منظم گیاهان در طول فصل زراعی انجام شد و مبارزه با علف‌های هرز به صورت مکانیکی و دستی صورت پذیرفت. کودهای شیمیایی شامل کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار، فسفر به میزان ۹۶ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپرفسفات تریپل پتاسیم به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع سولفات پتاسیم در زمان تهیه زمین استفاده شد. در طی دوره رشد گیاه ۲۸ خصوصیات ریخت‌شناسی از جمله عادت رشدی، طول، عرض، شکل و رنگ برگچه، تعداد شاخه‌های اولیه و ثانویه، رنگ، طول و عرض غلاف، تعداد بذر در هر غلاف، ارتفاع گیاه، فاصله پایین‌ترین غلاف از سطح زمین، ضخامت ساقه، تعداد گل‌آذین خوشه‌ای، رنگ پایه بذر، شکل بذر، ناف، وزن ۱۰ بذر، وزن کل غلاف‌های خشک بوته، وزن بوته، رنگ پشت گل، الگوی رگه گلبرگ، شروع و پایان گلدهی با توجه به استاندارد مؤسسه بین‌المللی تنوع زیستی (IPGRI) بر روی تک بوته، یادداشت‌برداری شد (جدول ۲) (۲۶).

آمار توصیفی صفات کمی براساس محاسبه نما، میانگین، انحراف معیار، حداقل، حداکثر CV (ضریب تغییرات فنوتیپی) برآورد شد. هم‌چنین به‌منظور تعیین تنوع صفات کیفی، از شاخص شانون (H´) براساس رابطه ۱ استفاده شد (۲۷).

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} p_i ln(p_i) \qquad (۱)$$

که در آن، p_i نشان‌دهنده فراوانی نسبی هر گروه فنوتیپی در صفت مربوطه و تعداد گروه‌های فنوتیپی هر صفت است. هرچه مقدار این شاخص برای صفتی

بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده تنوع بیش‌تر آن صفت خواهد بود. علاوه بر این به منظور تعیین سهم هر صفت در تنوع کل، تفسیر بهتر، کاهش حجم داده‌ها و تحلیل روابط از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. برای گروه‌بندی نمونه‌ها از روش خوشه‌ای مراتبی و غیرمراتبی استفاده شد. در این روش که به K-means هم معروف است، هر فرد به خوشه‌ای تعلق می‌گیرد که به میانگین آن نزدیک‌تر است. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS.16 انجام شد. همبستگی و تجزیه به مؤلفه اصلی با استفاده از نرم‌افزار STAR مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

جدول ۱- بارش، دمای کمینه و بیشینه ماهانه در سال زراعی ۱۳۹۹ در طول دوره رشد نخودکفتری در کرج.

Table 1. Monthly Rainfall, minimum and maximum temperature in year 2019 during the growth period of pigeon pea in Karaj.

	دمای بیشینه (^oC)	دمای کمینه (^oC)	میانگین دما (^oC)	میانگین بارندگی (mm)
فروردین April	22.2	8.1	15.2	1
اردیبهشت May	28.2	13.2	21.1	10.5
خرداد Jun	34.7	17.9	26.3	11.4
تیر July	36.9	20.7	28.8	1.5
مرداد August	35.9	20.0	28.0	0.1
شهریور September	33.9	18.5	26.2	0
مهر October	25.9	10.7	18.3	0

جدول ۲- دستورالعمل IPGRI برای ارزیابی صفات کیفی در نمونه‌های نخودکفتری.

Table 2. IPGRI descriptor for evaluation of qualitative traits in pigeon pea accessions.

صفت	Character	توصیف صفات Characters state	مرحله صفت‌زنی Recording stage
عادت رشدی	Growth habit	۱-ایستاده و فشرده (Erect and compact) ۲- نیمه پراکنده (semi-spreading) ۳- پراکنده (Spreading) ۴- خزیده (Trailing)	مرحله غلاف‌دهی pod set stage
رنگ برگ	Leaf color	۱- سبز روشن (Light green) ۲- سبز (green) ۳- سبز تیره (Dark green)	مرحله گلدهی Flowering stage
رنگ پایه گل	Base flower color	۱- کرم (Ivory) ۲- زرد روشن (Light yellow) ۳- زرد (Yellow) ۴- زرد مایل به نارنجی (Orang- yellow)	مرحله گلدهی Flowering stage
رنگ پشت گل	color of back flower	۱- زرد (Yellow) ۲- قرمز (Red) ۳- صورتی (Pink)	مرحله گلدهی Flowering stage
الگوی رگه گلبرگ	Pattern of streaks	۳- رگه‌ها به مقدار کم (Sparse amount streaks) ۵- رگه‌ها به مقدار متوسط (Sparse amount streaks) ۷- رگه‌های متراکم(Dense streaks) ۹- پوشش یکنواخت رگه‌ها (Uniform coverage of streaks)	مرحله گلدهی Flowering stage
رنگ غلاف	pod color	۱- سبز (Green) ۲- بنفش (Purple) ۳- میکس سبز و بنفش (Mixed, green and purple) ۴- بنفش تیره (Dark purple)	مرحله غلاف‌دهی pod set stage
رنگ پایه بذر	Base seed color	۱- سفید (White) ۲- کرم (Cream) ۳- نارنجی (Orange) ۴- قهوه‌ای روشن (Light brown) ۵- قهوه‌ای مایل به قرمز (Reddish-brown) ۶- خاکستری روشن (Light grey) ۷- خاکستری (Grey) ۸- بنفش (Purple) ۹- بنفش تیره (Dark purple) ۱۰ خاکستری تیره (Dark grey)	مرحله پس از برداشت Post-harvest
شکل بذر	seed shape	۱- تخم‌مرغی (Oval) ۲- کروی (Globular) ۳- مربعی (Square) ۴- کشیده (Elongate)	مرحله پس از برداشت Post-harvest
شکل برگچه	Leaflet shape	۱- نیزه‌ای (Lanceolate) ۲- بیضوی باریک (Narrow-elliptic) ۳- بیضوی پهن (Broad elliptic)۴- قلبی شکل (Obcordate)	مرحله گلدهی Flowering stage

نتایج و بحث

در داخل نمونه‌های بررسی شده تنوع بالایی از حیث طول دوره رویش و صفات ریخت‌شناسی مشاهده شد (شکل‌های ۱ تا ۷). در واقع نمونه‌هایی با دوره رسیدگی ۵ به بعد در کرج به بذر نرفته و در مرحله رشد رویشی و یا گلدهی در آبان و آذرماه خشک شدند. ارتفاع این نمونه‌ها اغلب از ۱/۶ متر بیش‌تر بود.

بررسی پارامترهای آماری توصیفی در صفات کمی نشان داد که صفت تعداد دانه در غلاف بیش‌ترین ضریب تغییرات (۲۶/۸۷ درصد) را داشت و پس از آن بیش‌ترین تغییرات در صفات تعداد شاخه ثانویه (۱۸/۱۳ درصد) و تعداد دانه در بوته (۱۱/۱۶ درصد) مشاهده شد. کم‌ترین میزان تنوع در صفات طول و عرض غلاف مشاهده شد (جدول ۳). در میان صفات کیفی مورد بررسی بیش‌ترین شاخص شانون به ترتیب در صفات رنگ غلاف، رگه‌های گلبرگ و رنگ بذر (به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۸۷) مشاهده شد. کم‌ترین شاخص شانون در صفات رنگ پایه گل و شکل برگچه مشاهده شد. در شکل‌های ۱ تا ۷ تصاویری از تنوع مشاهده شده در برخی از صفات، در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داده شده است (شکل‌های ۱ تا ۷). در پژوهشی که بر روی ۲۲ نمونه نخودکفتری در نیجریه انجام شد بیش‌ترین تنوع در عرض برگچه و کم‌ترین در عرض بذر مشاهده شد (۲۸).

در مطالعه پیشین نیز گزارش شده است که صفت تعداد روز تا رسیدگی کم‌ترین میزان تنوع و صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد شاخه در گیاه از تنوع بالایی برخوردار بودند (۲۹). یونیاستوتی و همکاران به بررسی ویژگی‌های ۳۰ نخودکفتری سیاه در اندونزی پرداختند. نتایج نشان داد که ارتفاع بوته از ۶۳ سانتی‌متر تا ۱۷۶ سانتی‌متر، تعداد شاخه‌ها از ۱۸ تا ۳۵، رنگ ساقه سبز تا ارغوانی و ضخامت ساقه بیش از ۱۳ میلی‌متر متغیر بود (۳۰).

جدول ۳- آماره‌های توصیفی صفات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های نخودکفتری.

Table 3. Statistical parameters of measured traits Pigeon pea.

traits	صفت	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	دامنه تغییرات Rang	انحراف معیار SE	واریانس Variance	میانگین Mean	مد Mode	ضریب تغییرات Coefficient Of Variation	شاخص شانون Shanon index
Growth habit	عادت رشدی	1	3	2	–	–	–	3	–	0.5
Leaf color	رنگ برگ	2	3	1	–	–	–	2	–	0.5
Base flower color	رنگ پایه گل	2	4	2	–	–	–	2	–	0.15
Second color of flower	رنگ دوم گل	0	3	3	–	–	–	0	–	0.56
Flower streak color	الگو رگه گلبرگ	3	9	6	–	–	–	3	–	0.98
Pod color	رنگ غلاف	1	5	4	–	–	–	3	–	0.99
Base seed color	رنگ بذر	1	5	4	–	–	–	3	–	0.87
Seed shape	شکل بذر	1	3	2	–	–	–	2	–	0.47
Leaflet shape	شکل برگچه	1	3	2	–	–	–	1	–	0.33
Leaflet length	طول برگچه	5.3	10	4.7	0.22	1.5	7.1	-	3.10	–
Leaflet width	عرض برگچه	1.5	3.2	1.7	0.08	0.18	2.6	-	3.08	–
Primary ranches	شاخه اولیه	3	19	16	0.7	13.6	10.7	-	6.54	–
Secondary branches	شاخه ثانویه	0	5	5	0.29	2.66	1.60	-	18.13	–
Pod length	طول غلاف	5.17	8.2	3.03	0.15	0.69	6.4	-	2.34	–
Pod width	عرض غلاف	0.5	0.9	0.4	0.02	0.01	0.67	-	2.99	–
Pod number	تعداد غلاف	33	242	209	11.61	4050.2	109.5	-	10.60	–
Seeds per pod	تعداد دانه در غلاف	3	6	3	1.08	0.35	4.02	–	26.87	–
Plant height	ارتفاع گیاه	84	168	84	4.24	540.3	136.4	-	3.11	
The distance between the lowest and highest pods	فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف	37	88	51	2.51	189.5	55.6	-	4.51	–
Stem Thickness	ضخامت ساقه	0	2	1	0.05	0.09	0.95	-	5.26	–
Raceme number	تعداد گل‌آذین	11	128	117	5.93	1057.2	57.8	-	10.26	–
10-seed weight	وزن ۱۰ دانه	0.50	1.3	0.8	0.04	0.06	0.84	-	4.76	–
plant weight	وزن بوته	13.5	199.1	185.6	6.85	1409.9	86.9	-	7.88	–
pod weight	وزن غلاف	7	111	104	4.34	565.8	42.2	-	10.28	–
number of days to flowering	تعداد روز تا شروع گلدهی	58	160	102	5.98	1072.9	112.1	-	5.33	–
maturity	رسیدگی	95	193	98	5.77	1000.1	147.1	-	3.92	–
number of seed per plant	تعداد دانه در بوته	132	1145	1013	49.04	72160.5	439.27	-	11.16	–

شکل ۱- تنوع شکل، رنگ، اندازه و تعداد دانه در غلاف در نمونه‌های نخودکفتری کلکسیون بانک ژن.

Fig. 1. Diversity of shape, color, size and number of seeds in per pod in pigeon pea accessions of gene bank collection.

شکل ۲- تنوع شکل، رنگ، اندازه برگ در نمونه‌های نخودکفتری کلکسیون بانک ژن.

Fig. 2. Diversity of shape, color, and size in the leaf of pigeon pea accessions of gene bank collection.

شکل ۳- نحوه قرارگیری گل‌آذین به صورت فشرده در انتهای بوته در ژنوتیپ زودرس.

Fig. 3. Placement of Inflorescence as compact at the end of the plant in early maturity genotype.

شکل ۴- تنوع رنگ پایه، رنگ دوم، رگه گلبرگ در نمونه‌های نخودکفتری کلکسیون بانک ژن.

Fig. 4. Diversity of base flower color, flower Second color of flower, Pattern of streaks in pigeon pig accessions of gene bank collection.

شکل ۵- نحوه قرارگیری گل‌آذین به صورت پراکنده در انتهای بوته در ژنوتیپ دیررس.

Fig. 5. Placement of Inflorescence as spreading at the end of the plant in late maturity genotype.

شکل ۶- اختلاف ارتفاع در دو ژنوتیپ نخودکفتری بانک ژن.

Fig. 6.Difference in height in two genotypes of Gen Bank pigeon pea.

شکل ۷- تنوع شکل، رنگ، اندازه بذر در نمونه‌های نخودکفتری کلکسیون بانک ژن.

Fig. 7. Diversity of shape, color, seed size of pigpeon pea accessions of gene bank collection.

نتایج همبستگی صفات نخودکفتری نشان داد، عادت رشدی با شاخه ثانویه، طول و عرض غلاف، وزن ده دانه همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. در عین‌حال همین صفت با ضخامت ساقه، فاصله اولین تا آخرین غلاف، شکل بذر همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن ضخامت ساقه و فاصله اولین تا آخرین غلاف در ژنوتیپ‌های دارای عادت رشدی پراکنده بود. هم‌چنین در صفت طول برگچه با صفات عرض برگچه، تعداد روز تا شروع گل‌دهی و رسیدگی همبستگی مثبت و معنی‌دار بود که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن طول و عرض برگچه در نمونه‌های دیررس است. رنگ برگ با صفات رنگ پایه گل، رنگ دوم و الگو رگه گلبرگ، وزن غلاف، شکل برگچه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. صفت تعداد شاخه اولیه با تعداد شاخه ثانویه، تعداد غلاف، ضخامت ساقه، تعداد گل‌آذین، وزن بوته و غلاف همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن تعداد شاخه اولیه در نمونه‌های دیررس با شاخه ثانویه، تعداد غلاف، ضخامت ساقه، تعداد گل‌آذین، وزن بوته و غلاف بیش‌تر است. صفت تعداد شاخه ثانویه با تعداد غلاف، تعداد گل‌آذین و وزن غلاف همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده آن است که در نمونه‌های دیررس دارای شاخه ثانویه و تعداد گل‌آذین، وزن غلاف بیش‌تری بوده است. صفت رنگ پایه گل با رنگ دوم گل همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. رنگ دوم گل با الگو رگه گلبرگ و شکل برگچه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته و با شکل بذر همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. الگوی رگه گلبرگ با شکل برگچه و با شکل بذر به ترتیب همبستگی مثبت و منفی داشت. طول غلاف با عرض غلاف و وزن ده دانه بذر همبستگی مثبت داشت که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن وزن بوته در غلاف‌های با طول بیش‌تر بود. صفت عرض غلاف و وزن ده دانه همبستگی مثبت داشته و با صفت فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف همبستگی منفی و معنی‌دار دارد که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن عرض غلاف در نمونه‌های دانه درشت است. صفت تعداد غلاف در بوته با ضخامت ساقه، تعداد گل‌آذین در بوته، وزن بوته و غلاف همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد که نشان داد ژنوتیپ‌هایی که دیررس بوده، دارای تعداد گل‌آذین در بوته بیش‌تر و به طبع آن وزن بوته و غلاف بیش‌تر خواهند بود. ارتفاع بوته با تعداد روز تا شروع گلدهی و رسیدگی همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد که

نشان‌دهنده بیش‌تر بودن تعداد روز تا شروع گلدهی و رسیدگی در ژنوتیپ‌ها با ارتفاع بوته بیش‌تر است. در صفت فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف با صفت تعداد گل‌آذین و وزن بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن وزن بوته و تعداد گل آذین در ژنوتیپ‌های دیررس با فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف بیش‌تر است. در صفت ضخامت ساقه نیز وزن بوته و غلاف همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده بیش‌تر بودن ضخامت ساقه در ژنوتیپ‌های دیررس بوده که به طبع دارای وزن بوته و غلاف بیش‌تر خواهند بود. در صفت تعداد گل‌آذین با صفات وزن بوته و غلاف همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت که نشان‌دهنده تشکیل تعداد گل آذین بیش‌تر در ژنوتیپ‌های دیررس است (جدول ۸).

صفت وزن بوته با وزن غلاف و صفت تعداد روز تا شروع گلدهی با تعداد روز تا رسیدگی همبستگی مثبت و معنی‌دار داشتند.

هم‌چنین مطالعه‌های پیشین همبستگی مثبت بین صفات مختلف ریخت‌شناسی را در نخودکفتری عنوان نمودند (۱۲، ۲۸، ۳۱ و ۳۲) کینهوگبی و همکاران به همبستگی منفی بین عملکرد دانه با عرض غلاف، روز تا ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی و همبستگی مثبت با طول غلاف، غلاف در بوته، شاخه در بوته و تعداد دانه در غلاف اشاره کردند (۲۹).

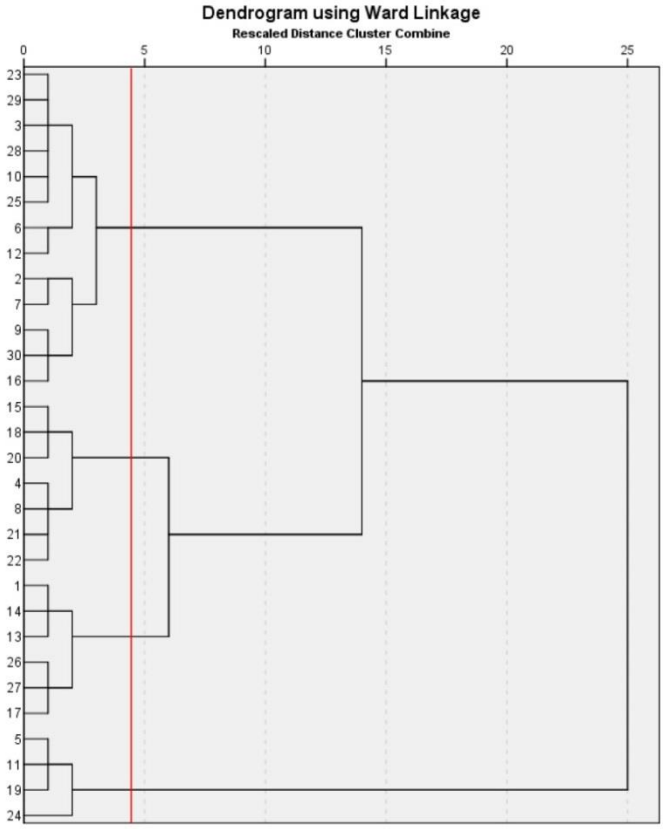
در آزمایش مزرعه‌ای که در در شهر راهوری هند بر روی بیست و هفت ژنوتیپ نخودکفتری با هدف بررسی همبستگی عملکرد دانه با صفات مؤثر بر آن به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های با ویژگی‌های مطلوب برای استفاده در برنامه اصلاح محصول انجام شد، نتایج نشان داد که عملکرد دانه بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با تعداد غلاف در بوته و سپس عادت رشدی بوته، تعداد شاخه در بوته و تعداد دانه در غلاف نشان داد (۳۲).

در تجزیه خوشه‌ای صفات کمی با استفاده از روش WARD نمونه‌ها به گروه‌های مجزا تقسیم شدند. میانگین صفات در جدول ۴ آورده شده است. ابتدا نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شده و گروه اول با داشتن ۱۳ نمونه بیش‌ترین تعداد را داشته و کم‌ترین میزان عرض برگچه، تعداد شاخه اولیه و ثانویه، عرض و تعداد غلاف در بوته، ارتفاع گیاه، فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف، ضخامت ساقه، وزن بوته، وزن غلاف و تعداد دانه در بوته را داشتند (شکل ۸).

گروه دوم خود به دو گروه مجزا تقسیم شد. در گروه اول هفت نمونه قرار داشت که بیش‌ترین میانگین طول و عرض برگچه، شاخه ثانویه، طول غلاف را داشت. در گروه دوم از نیز شش نمونه جای گرفت که بیش‌ترین میزان عرض برگچه و غلاف، ارتفاع بوته، ضخامت ساقه، وزن ده دانه، تعداد روز تا شروع گلدهی و رسیدگی را داشت که دیررس‌ترین نمونه‌ها در این گروه جای گرفتند. در گروه سوم نیز شامل چهار ژنوتیپ بود که بیش‌ترین تعداد شاخه اولیه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، ارتفاع بوته، فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف، تعداد گل‌آذین در بوته، وزن بوته و غلاف، تعداد دانه در بوته بوده و کم‌ترین میزان طول و عرض برگچه، طول و عرض غلاف، وزن ده دانه، تعداد روز تا شروع گلدهی و رسیدگی را داشته زودرس‌ترین نمونه‌ها در این گروه قرار گرفتند (جدول ۴ و شکل ۸).

در پژوهشی که بر روی ۲۲ ژنوتیپ نخودکفتری در نیجریه انجام شد. آنالیز خوشه‌ای حاصل از صفات کمی، ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه تقسیم کرده و

خوشه اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب یک، دو، ۱۷ و دو ژنوتیپ داشته‌اند (۲۸). در خوشه اول نمونه ISC-147 دارای به ترتیب میانگین طول و عرض و ضخامت بذر ۶، ۵ و ۴ میلی‌متر و تعداد شاخه فرعی شش عدد بود. در خوشه دوم دو ژنوتیپ قرار داشت که دارای به ترتیب میانگین طول و عرض و ضخامت بذر ۶/۳، ۵/۶ و ۴/۵ میلی‌متر و تعداد شاخه فرعی دو عدد بود. خوشه سوم دارای به ترتیب میانگین طول و عرض و ضخامت بذر ۶/۸، ۵/۷ و ۴/۶ میلی‌متر و تعداد شاخه فرعی شش عدد بود. در خوشه چهارم دارای به ترتیب میانگین طول و عرض و ضخامت بذر ۶/۵، ۵/۷ و ۴/۷ میلی‌متر و تعداد شاخه فرعی هشت عدد بود. در بررسی که بر روی ۵۷ ژنوتیپ نخودکفتری با استفاده از ۱۲ صفت کمی انجام شد تجزیه خوشه‌ای صفات، ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را در سه گروه اصلی و هفت زیر گروه دسته‌بندی نمود و تنوع قابل‌توجهی بین ژنوتیپ‌های نخودکفتری مشاهده داد (۳۳). براساس فاصله بین گروه‌ها (جدول ۵)، گروه ۳ و ۴ دارای کم‌ترین فاصله از یکدیگر بوده و گروه ۱ و ۲ بیش‌ترین فاصله را داشتند.



شکل ۸- نمودار خوشه‌ای صفات کمی مورد بررسی در بین نمونه‌های نخودکفتری با روش Ward.

Fig. 8. Cluster analysis of quantitative traits by using ward among pigeon pea samples.

جدول ۴- میانگین صفات کمی اندازه‌گیری شده در هر گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس K-means.

Table 4. Mean of measured quantitative traits in clusters developed by K-means cluster analysis.

گروه				صفات	trait
4	3	2	1		
6.6	6.9	7.6	7.1	طول برگچه	Leaflet length
2.6	2.8	2.8	2.6	عرض برگچه	Leaflet width
16	12	11	9	شاخه اولیه	Primary branches
3	2	4	1	شاخه ثانویه	Secondary branches
5.7	6.4	7.0	6.2	طول غلاف	Pod length
0.6	0.7	0.7	0.6	عرض غلاف	Pod width
230	159	94	59	تعداد غلاف	Number of pods per plant
4.3	3.8	4.3	3.9	تعداد دانه در غلاف	Seeds per pod
140.3	140.2	135.4	133.9	ارتفاع گیاه	Plant height
66.0	62.5	51.7	51.3	فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف	Distance between lowest to highest pod
1.1	1.2	1.0	0.8	ضخامت ساقه	Stem thickness
119.8	63.8	58.4	35.5	تعداد گل آذین	Raceme number
0.8	1.0	0.9	0.8	وزن ۱۰ دانه	10-seed weight
141.3	109.8	78.7	64.0	وزن بوته	Plant weight
80.5	53.1	40.2	26.6	وزن غلاف	Pod weight
91.5	125.2	119.4	108.5	شروع گلدهی	Number of days to flowering
125.3	159.8	155.6	143.3	رسیدگی	Maturity
993.9	590.4	389.8	225.4	تعداد دانه در بوته	Number of seed per plant

جدول ۵- فواصل ژنتیکی مراکز خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای صفات کمی اندازه‌گیری شده براساس K-means.

Table 5. Distance between center of clusters of measured quantitative traits developed by K-means cluster analysis.

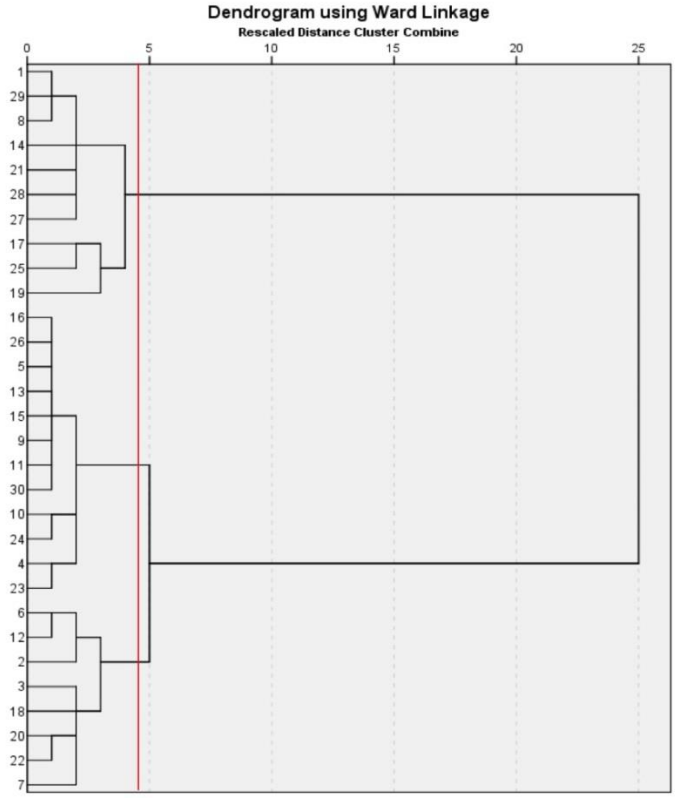
Cluster number	1	2	3	4
1	-			
2	96.92	-		
3	78.16	51.39	-	
4	87.69	17.02	14.75	-

در تجزیه خوشه‌ای صفات کیفی با استفاده از روش WARD نمونه‌ها به دو گروه مجزا تقسیم شدند. در میانگین صفات که در جدول ۶ آورده شده است، ابتدا نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شده و گروه اول با داشتن ۱۰ نمونه داشته و که بیش‌تر ژنوتیپ‌ها در این گروه عادت رشدی فشرده، رنگ برگ تیره، رنگ پشت گل صورتی، فاقد رگه گلبرگ، رنگ غلاف سبز ساده، رنگ بذر آجری، شکل بذر تخم‌مرغی و شکل برگچه بیضی را داشتند (شکل ۹).

گروه دوم خود به دو گروه مجزا تقسیم شد. در گروه اول ۱۲ نمونه قرار داشت که بیش‌تر ژنوتیپ‌ها دارای عادت رشدی فشرده، رنگ برگ سبز معمولی، رنگ زرد گلبرگ، رگه گلبرگ کم، رنگ غلاف سبز ساده، رنگ بذر آجری، شکل بذر گرد و شکل برگچه نیزه‌ای در این گروه جای گرفتند. در گروه سوم نیز شامل هشت ژنوتیپ بوده که بیش‌تر ژنوتیپ‌ها دارای عادت رشدی فشرده، رنگ برگ سبز معمولی، رنگ پشت گل قرمز، رگه گلبرگ متوسط، رنگ غلاف سبز با لکه‌های کم در حاشیه، رنگ بذر سفید، شکل بذر گرد و شکل برگچه نیزه‌ای در این گروه قرار گرفتند (شکل ۹ و جدول ۶). براساس فاصله بین گروه‌ها (جدول ۷)، گروه ۳ و ۴ دارای کم‌ترین فاصله از یکدیگر بوده و گروه ۱ و ۲ بیش‌ترین فاصله را داشتند.

در پژوهشی که بر روی ۲۲ ژنوتیپ نخودکفتری در نیجریه انجام شد. آنالیز خوشه‌ای حاصل از صفات کیفی ژنوتیپ‌ها را در سه خوشه گروه تقسیم نمود. خوشه اول، دوم و سوم به ترتیب دو، هفت و ۱۳ نمونه داشته‌اند (۲۸). در خوشه اول الگوی روی بذر خالدار، رنگ اصلی بذر کرم روشن، رنگ دوم بذر قهوه‌ای روشن، رنگ ناف بذر کرم، شکل بذر تخم‌مرغی و پهنای رنگ ناف متوسط بود. در خوشه دوم هفت ژنوتیپ قرار داشته که الگوی روی بذر ساده، رنگ اصلی بذر قهوه‌ای روشن، رنگ دوم بذر قهوه‌ای پررنگ، رنگ ناف کرم، شکل بذر تخم‌مرغی و پهنای رنگ ناف باریک بود. در خوشه سوم سیزده ژنوتیپ قرار داشته که الگوی روی بذر خالدار، رنگ اصلی بذر کرم روشن، رنگ دوم بذر قهوه‌ای کمرنگ، رنگ ناف کرم، شکل بذر تخم‌مرغی و پهنای رنگ ناف پهن بود.

کینهوگبی و همکاران ۵۰ نمونه نخودکفتری با استفاده از ۱۲ صفت کیفی و ۱۱ صفت کمی ارزیابی کردند و سه گروه مورفوتیپی را شناسایی کردند (۲۹). الگوی خوشه‌بندی نشان داد که تنوع ژنتیکی با تنوع جغرافیایی ارتباطی نداشت. خوشه اول عمدتاً شامل ژنوتیپ‌های جمع‌آوری‌شده از کنیا و توده‌های محلی از تانزانیا بوده با دوره‌های رسیدگی متوسط و دیررس با شاخه‌های فرعی زیاد مشخص شد. خوشه دوم متشکل از ژنوتیپ‌هایی با دوره رسیدگی زود، متوسط و دیررس مشخص می‌شدند. اکثر ژنوتیپ‌های این خوشه دارای انشعاب کمتر با ارتفاع کوتاه و متوسط و وزن بذر کم بودند. خوشه سوم بیش‌تر شامل ژنوتیپ‌های بومی و تعداد کمی از ژنوتیپ‌های اصلاح شده بود. ژنوتیپ‌ها در این خوشه را می‌توان با دوره رسیدگی متوسط و دیررس، ارتفاع بوته متوسط تا بالا و تعداد شاخه‌های فرعی زیاد مشخص نمود.



شکل ۹- تجزیه خوشه‌ای صفات کیفی مورد بررسی در بین نمونه‌های نخودکفتری با روش Ward.

Fig. 9. Cluster analysis of qualitative traits by using ward among pigeon pea samples.

جدول ۶- میانگین صفات کیفی اندازه‌گیری شده در هر گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای براساس K-means.

Table 6. Mean of measured qualitative traits in clusters developed by K-means cluster analysis.

گروه			صفات	trait
3	2	1		
1	3	1	عادت رشدی	Growth habit
2	2	3	رنگ برگ	Leaf color
2	2	2	رنگ پایه گل	Base flower color
1	0	3	رنگ دوم	Color of back flower
5	3	9	الگو رگه گلبرگ	Pattern of streaks
5	1	1	رنگ غلاف	Pod color
1	3	3	رنگ بذر	Seed color
2	2	1	شکل بذر	Seed shape
1	1	3	شکل برگچه	Leaflet shape

جدول ۷- فواصل ژنتیکی مراکز خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای صفات کیفی اندازه‌گیری شده براساس K-means.

Table 7. Distance between center of clusters of measured qualitative traits developed by K-means cluster analysis.

3	2	1	Cluster number
		-	1
	-	1.99	2
-	2.65	2.09	3

جدول ۸- همبستگی بین صفات در ژنوتیپ‌های نخودکفتری بانک ژن.

Table 8. Correlation between traits in pigeon pea genotypes of gene bank.

	a1	a2	a3	a4	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27	a28
a1	1.0																										
a2	-0.1	1.0																									
a3	0.0	0.6**	1.0																								
a4	0.0	0.1	0.2	1.0																							
a6	-0.2	-0.1	0.2	0.0	1.0																						
a7	-0.4*	0.1	0.2	0.2	0.4*	1.0																					
a8	0.1	0.1	0.2	0.4*	0.1	0.2	1.0																				
a9	-0.2	-0.1	0.1	0.4*	0.2	0.2	0.4*	1.0																			
a10	-0.2	0.3	0.3	0.4*	0.1	0.1	0.2	0.6**	1.0																		
a11	0.0	0.1	0.1	0.2	-0.2	-0.3	0.0	0.1	0.1	1.0																	
a12	-0.4*	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	-0.1	1.0																
a13	-0.6**	0.1	-0.1	-0.2	0.0	0.2	-0.1	-0.1	0.1	-0.2	0.5**	1.0															
a14	-0.2	0.0	0.3	0.3	0.5**	0.5**	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	1.0														
a15	0.0	-0.2	-0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.1	0.2	0.0	-0.1	1.0													
a16	0.1	0.3	0.4	0.0	0.2	-0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.1	-0.1	1.0												
a17	0.5*	-0.2	0.1	0.1	0.2	-0.2	0.3	0.0	-0.1	0.1	-0.3	-0.4*	0.3	0.1	0.3	1.0											
a18	0.4*	0.1	0.1	0.0	0.6**	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5**	-0.2	0.2	0.1	1.0										
a19	0.1	-0.3	0.0	0.2	0.6**	0.4*	0.2	0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.3	0.6**	0.3	-0.1	0.4*	0.3	1.0									
a20	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	-0.2	0.3	0.0	-0.3	0.0	0.0	-0.2	0.1	0.1	0.1	1.0								
a21	0.4*	-0.1	-0.1	0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.4*	-0.4*	-0.1	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.2	-0.2	-0.3	0.1	1.0							
a22	-0.4*	0.0	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	-0.2	0.7**	0.5**	0.1	0.1	0.1	-0.4*	0.3	0.1	-0.3	-0.3	1.0						
a23	-0.2	-0.1	0.0	0.3	0.5**	0.3	0.2	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7**	0.1	0.2	0.4*	0.6**	0.6**	-0.1	-0.1	0.2	1.0					
a24	-0.1	-0.3	-0.2	0.4*	0.5**	0.4*	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7**	0.2	0.1	0.4	0.5**	0.6**	0.0	-0.1	0.3	0.9**	1.0				
a25	0.1	0.5**	0.3	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	-0.1	0.5**	0.1	0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.1	-0.1	1.0			
a26	0.2	0.5**	0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	-0.2	0.5**	0.2	0.2	-0.1	-0.2	0.0	0.1	0.1	-0.1	0.9**	1.0		
a27	-0.1	0.0	0.1	0.7**	0.1	0.0	-0.1	0.4*	0.4*	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	1.0	
a28	-0.2	-0.1	0.2	0.3	0.6**	0.6**	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.9**	0.1	0.1	0.3	0.4*	0.7**	0.0	-0.2	0.1	0.7**	0.7**	0.0	0.0	0.1	1.0

a1: عادت رشدی، a2: طـول برگچه، a3: عـرض برگچه، a4: رنگ برگچه، a6: تعداد شاخه‌های اولیه و a7: ثانویه، a8: رنگ پایه گل، a9: رنگ دوم، a10: الگوی رگه گلبرگ، a11: رنگ غلاف، a12: طول غلاف، a13: عرض غلاف، a14: تعداد غلاف، a15: تعداد دانه در غلاف، a16: ارتفاع بوته، a17: فاصله بین پایین‌ترین و بالاترین غلاف، a18: ضخامت ساقه، a19: تعداد گل‌آذین در بوته، a20: رنگ بذر، a21: شکل بذر، a22: وزن ده دانه بذر، a23: وزن بوته، a24: وزن غلاف، a25: تعداد روز تا شروع گلدهی، a26: تعداد روز تا رسیدگی، a27: شکل برگچه، a28: تعداد دانه در بوته

a1: Growth habit, a2: Leaflet length, a3: Leaflet width, a4: Leaf color, a6: Primary branches, a7: Secondary branches, a8: Base flower color, a9: color of back flower, a10: pattern of streaks, a11: Pod color, a12: Pod length, a13: pod width, a14: number of pods per plant, a15: Seeds per pod, a16: plant height, a17: distance between lowest to highest pod, a18: stem thickness, a19: Raceme number, a20: seed color, a21: seed shape, a22: 10-seed weight, a23: plant weight, a24: pod weight, a25: number of days to flowering, a26: maturity, a27: Leaflet shape, a28: number of seed per plant

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کمی نشان داد که پنج مؤلفه مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشته که در مجموع ۸۹/۴ درصد از تغییرات را توجیه کردند (جدول ۹). مؤلفه اول بیش‌تر مربوط به صفات تعداد و وزن غلاف بوده که ۳۰/۴ درصد از تغییرات را توجیه کرده و با صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد گل‌آذین در بوته، وزن بوته، وزن غلاف و تعداد دانه در بوته مرتبط است. مؤلفه دوم با ۲۸/۶ درصد بیش‌تر مرتبط با صفات فیزیولوژیک بوده و که بیش‌ترین ضرایب در صفات تعداد روز تا گلدهی، رسیدگی و طول برگچه مشاهده شد. در مؤلفه سوم نیز ۱۵/۹ درصد از تغییرات را توجیه کرد و صفات طول و عرض غلاف و فاصله اولین تا آخرین غلاف بیش‌ترین مقدار را داشتند.

کینهوگبی و همکاران گزارش کردند که دو مؤلفه اول ۸۳ درصد از کل تغییرات صفات نمونه‌های نخودکفتری را توجیه کرد و صفات ارتفاع بوته، ضخامت ساقه، تعداد شاخه در بوته، طول غلاف، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه، در مولفه اول و وزن ۱۰۰ دانه در مؤلفه دوم بیش‌ترین مقدار را داشته و مثبت بودند (۲۹). بنابراین مؤلفه اول و دوم دارای ضرایب مثبت بالا برای اجزاء عملکرد بودند. بنابراین زیاد بودن میزان مؤلفه اول و دوم نشان‌دهنده بیش‌تر بودن مقادیر صفات مذکور در ژنوتیپ‌ها خواهد بود و هم‌چنین انتخاب براساس این مؤلفه‌ها موجب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا می‌شود.

در پژوهشی که بر روی پنجاه و هفت ژنوتیپ نخودکفتری انجام شد، چهار مؤلفه اول جمعاً ۸۰ درصد تغییرات را توجیه کرده و اولین جزء اصلی (PC1) بیش‌ترین سهم را با صفات تعداد شاخه‌های ثانویه، تعداد غلاف در بوته، روز تا رسیدن، روز تا ۵۰ درصد گلدهی، وزن ۱۰۰ دانه و ارتفاع بوته داشت (۳۳).

نمودار پراکنش ژنوتیپ‌ها به خوبی با گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای مطابقت داشتند. در این نمودار، چهار گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای به خوبی تفکیک و به چهار گروه تقسیم شدند. به‌طورکلی نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای وجود تنوع ژنتیکی بالا بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را تأیید کردند (شکل ۱۰).

جدول ۹- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات کمی در ژنوتیپ‌های نخودکفتری.

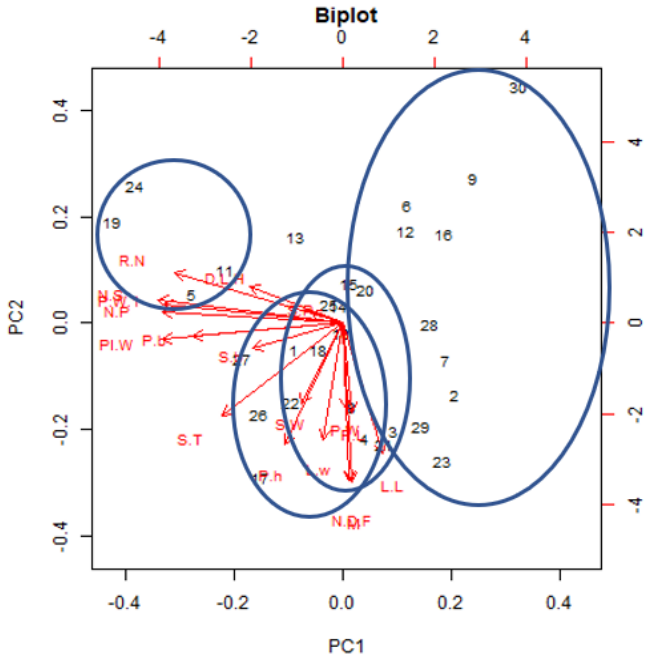
Table 9. Results of principal components analysis for quantitative traits in pigeon pea genotypes.

مؤلفه Component	مقدار ویژه Eigenvalue	واریانس مطلق Variance	واریانس تجمعی Cumulative variance	طول برگچه Leaflet length	عرض برگچه Leaflet width	تعداد شاخه اولیه Primary branches	تعداد شاخه ثانویه Secondary branches	طول غلاف Pod length	عرض غلاف Pod width	تعداد غلاف در بوته number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	ارتفاع بوته Plant height
۱ one	5.47	30.44	30.44	0.08	-0.04	-0.32	-0.19	-0.02	-0.01	-0.38	-0.01	-0.12
۲ Two	3.35	28.61	59.05	-0.36	-0.32	0.04	-0.07	-0.24	-0.23	0.03	0.03	-0.33
۳ three	2.86	15.87	74.92	0.14	0.17	0.01	-0.28	-0.40	-0.40	0.09	-0.27	0.23
۴ four	1.36	0.7	82.5	0.46	0.44	0.16	0.34	-0.18	-0.01	0.11	-0.24	-0.17
۵ five	1.23	0.68	89.36	-0.01	0.36	-0.06	0.31	0.22	-0.28	-0.04	0.63	0.07

ادامه جدول ۹-

Continue Table 9.

مؤلفه Component	مقدار ویژه Eigenvalue	واریانس مطلق Variance	واریانس تجمعی Cumulative variance	فاصله پایین‌ترین تا بالاترین غلاف Distance between lowest to highest pod	ضخامت شاخه Stem thickness	تعداد گل آذین بوته Raceme number	وزن ۱۰۰ دانه 10-seed weight	وزن بوته Plant weight	وزن غلاف Pod weight	تعداد روز تا گلدهی Number of days to flowering	تعداد روز تا رسیدگی Maturity	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant
۱ one	5.47	30.44	30.44	-0.20	-0.26	-0.36	-0.9	-0.38	-0.38	0.01	0.02	-0.39
۲ Two	3.35	18.61	59.05	0.10	-0.25	0.14	-0.22	-0.04	0.05	-0.43	-0.44	0.06
۳ three	2.86	15.87	74.92	0.35	-0.09	0.05	-0.43	-0.02	-0.09	0.21	0.21	0.05
۴ four	1.36	0. 7	82.5	-0.35	0.01	-0.05	-0.15	-0.06	-0.07	-0.27	-0.28	0.08
۵ five	1.23	0.68	89.36	0.13	-0.38	0.17	-0.08	-0.15	-0.11	0.06	0.02	0.08



شکل ۱۰- نمودار پراکندگی ۳۰ ژنوتیپ نخودکفتری براساس دو مؤلفه اصلی.

Fig. 10. Distribution of 30 genotypes of based on two main components.

نتیجه‌گیری کلی

تعیین تنوع ژنتیکی هر گیاه زراعی، پیش‌نیاز اساسی برای برنامه‌های اصلاحی آن محصول است. اگرچه خصوصیات ریخت‌شناسی متأثر از اثرات محیطی است، با این‌حال اولین گام در توصیف و طبقه‌بندی ژرم‌پلاسم می‌باشد. پژوهش حاضر اولین گزارش در مورد مطالعه تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های نخودکفتری با استفاده از صفات ریخت‌شناسی است. نتایج نشان داد که تنوع قابل‌ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌های نخودکفتری وجود داشته و ژنوتیپ‌ها مورد مطالعه دوره رسیدگی بسیار متفاوت در کرج داشتند. هم‌چنین نتایج نشان داد که صفت تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه ثانویه و تعداد دانه در بوته بیش‌ترین ضریب تغییرات را داشت و در میان صفات کیفی مورد بررسی بیش‌ترین شاخص شانون به ترتیب در صفات رنگ غلاف، رنگ رگه‌های گلبرگ و رنگ بذر مشاهده شد. تجزیه همبستگی نشان داد که بین بیش‌تر صفات اندازه‌گیری‌شده همبستگی معنی‌داری وجود داشت. طبق نتایج، بیش‌ترین همبستگی بین وزن بوته با وزن غلاف و صفت تعداد روز تا شروع گلدهی با تعداد روز تا رسیدگی مشاهده شد. در تجزیه خوشه‌ای، ۳۰ ژنوتیپ مورد مطالعه در فاصله ۵ به چهار خوشه اصلی تقسیم شدند. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صفات کمی نشان داد که پنج مؤلفه مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشته که در مجموع ۸۹/۴ درصد از تغییرات را توجیه کردند. نمودار دوبعدی دو مؤلفه اصلی برای صفات مورد ارزیابی، ژنوتیپ‌ها را به خوبی با گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای مطابقت داشتند. در این نمودار، چهار گروه حاصل از تجزیه خوشه‌ای به خوبی تفکیک شدند. به‌طورکلی نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی و تجزیه خوشه‌ای وجود تنوع ژنتیکی بالا بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه را تأیید کردند. با توجه به این‌که نخودکفتری مصارف مختلفی داشته و جزء متحمل‌ترین لگوم‌ها نسبت به خشکی با یازده گروه رسیدگی مختلف است، امکان توسعه کشت آن در ایران می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

این پژوهش با مساعدت مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج انجام شده است که بدین‌وسیله نویسنده کمال تشکر را دارد.

منابع

1.Khoiriyah, N., Yuniastuti, E. & Purnomo, D. (2017). Genetic diversity of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) Based on molecular characterization using randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *Earth Environ. Sci.* 129 (3), 1-9.

2.Damor, P. R., Narwade, A. V., Jadav, S. & Viradiya, Y. A. (2016). Molecular characterization of six pigeon pea varieties for drought tolerance by using RAPD markers. *Int. J. Agric. Environ. Biotech.* 9, 725-730.

3.Ade-Omowaye, B., Tucker, G. & Smetanska, I. (2015). Nutritional potential of nine underexploited legumes in Southwest Nigeria. *Int. Food. Res. J.* 22 (2), 798-806.

4.Giller, K. E. (2001). Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems; Cabi. Wallingford, UK, 82p.

5.Karuku, G., Ayuke, F. & Esilaba, A. (2019). Nitrogen Deficiency in Semi-Arid Kenya: Can Pigeonpea fix it East Afr. *Agric For. J.* 83, 322-340.

6.Duke, J. A. (1983). *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Handbook of energy crops. Unpublished. www.hort.purdue.edu/ newcrop/duke_energy/ *Cajanus_cajun*. html. Accessed on 7 Jan 2015.

7.Pal, D., Mishra, P., Sachan, N. & Ghosh, A. K. (2011). Biological activities and medicinal properties of *Cajanus Cajan* (L) Millsp. *J. Adv. Pharm. Technol. Res.* 2 (4), 207-214.

8.Randhawa, M. S. (1958). Agriculture and animal husbandry in India. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
9.Upadhyaya, H. D., Reddy, K. N., Singh, S. & Gowda, C. L. L. (2012). Henotypic diversity in *Cajanus* species and identification of promising sources for agronomic traits and seed protein content. *Genet. Resour. Crop Evol*. 60, 639-659.
10.Varshney, R. K., Rachit, K. & Saxena Scott, A. (2017). The Pigeon pea Genome. Springer. 113p.
11.Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Crop Statistics. (2017). Available online: www.fao.org/faostat/en/#data/ QC (accessed on 20 January 2019).
12.Odeny, D. A., Jayashree, B., Ferguson, M., Hoisington, D., Crouch, J. & Gebhardt, C. (2007). Development, characterization and utilization of microsatellite markers in pigeon pea. *Plant Breed.* 126, 130-137.
13.Sameer-Kumar, C. V., Gangarao, N. V. P. R. & Saxena, R. K. (2019). Pigeon pea improvement: An amalgam of breeding and genomic research. *Plant Breed.* 138, 445-454.
14.Saxena, R. K., Von Wettberg, E., Upadhyaya, H. D., Sanchez, V., Saxena, K., Kimurto, P. & Varshney, R. K. (2014). Genetic diversity and demographic history of *Cajanus* spp. illustrated from Genome-Wide SNPs. PLoS One. 9 (2), 1-9.
15.Yadav, S. K. (2018). Characterization of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) genotypes under rainfed agro-ecological condition. M.Sc. thesis, Birsa Agricultural University. Kanke, Ranchi, Jharkhand, India.
16.Bhandari, H. R., Bhanu, A. N., Srivastava, K., Singh, M. N. & Shreya Hemantaranjan, A. (2017). Assessment of genetic diversity in crop plants - an overview. *Adv. Plants Agric. Res*. 7, 279-286.
17.Mehmood, S., Bashir, A., Ahmad, A., Akram, Z., Jabeen, N. & Gulfraz, M. (2008). Molecular characterization of regional Sorghum bicolor varieties from Pakistan. *Pak. J. Bot.* 40, 2015-2021.
18.Abdi, A., Bekele, E., Asfaw, Z. & Teshome, A. (2002). Patterns of morphological variation of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) landraces in qualitative characters in North Showa and South Welo, Ethiopia. *Hered*. 137, 161-172.
19.Fufa, H., Baenziger, P. S., Beecher, B. S., Dweikat, I., Graybosch, R. A. & Eskridge, K. M. (2005). Comparison of phenotypic and molecular marker-based classifications of hard red winter wheat cultivars. *Euphytica*. 145, 133-146.
20.Kallihal, P. K., Chandrashekhar, S. S., Shwetha, K. S., Salimath, P. M. & Dhone, K. V. (2016). Characterization of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.) genotypes based on morphological traits. *Bioinfolet*. 13, 212-215.
21.Zavinon, F., Adoukonou-Sagbadja, F., Bossikponnon, A., Dossa, H. & Ahanhanzo, C. (2019). Phenotypic diversity for agro-morphological traits in pigeonpea landraces (*Cajanus cajan* L.) Millsp.) cultivated in southern Benin. *Open Agriculture*. 4, 487-499.
22.Navneet, A., Sikarwar, R. S., Singh, A. K. & Anilkumar, R. (2017). Genetic diversity in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). *Int. J. Agric. Sci*. 9, 4177-4179.
23.Gopi Krishnan, A., Pandiyan, M., Thilagam, P., Veeramani, P. & Nanthakumar, S. (2022). Evaluation of Pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) Genetic Diversity Using Principal Component Analysis. *Acta Sci. Agri*. 6 (2), 1-9.
24.Kimaro, D., Melis, R., Sibiya, J., Shimelis, H. & Shayanowako, A. (2020). Analysis of Genetic Diversity and Population Structure of Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp] Accessions Using SSR Markers. *Plants*, 9 (1643), 2-24.
25.Kimaro, D., Melisa, R., Sibiyaa, J. & Shimelisa, H. (2021). Agro-morphological characterization of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.): Basis to breeding. *Agr. Nat. Resour*. 55, 23-32.
26.Anonymous. (1993). Descriptors for Pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 33p.

27.Shannon, C. E. & Weaver, W. (1949). The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, USA.
28.Adegboyegun, K., Etuh Okpanachi, F. & Ededet Akpanikot, K. (2020). Morphological Characterization of 22 Accessions of Pigeon Pea [*Cajanus cajan* (L) Millsp.]. *Asian J. Biochem. Genet*. 4 (3), 20-28.
29.Kinhoégbè, G., Djèdatin, G., Estelle Yêyinou Loko, L., Ignace Agbo, R., Kumar Saxena, R., Kumar Varshney, R., Agbangla, C. & Dansi, A. (2020). Agro-morphological characterization of pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millspaugh) landraces grown in Benin: Implications for breeding and conservation. *J. Plant Breed. Crop Sci*. 12 (1), 34-49.
30.Yuniastuti, E., Lintang Chandra Dewi, S. & Noor Indah Delfianti, M. (2020). The Characterization of Black Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) in Gunungkidul, Yogyakarta. *J. Su. Agri*. 35 (1), 78-88.
31.Addae-Frimpomaah, F., Denwar, N. N., Adazebra, G. A., Adjebeng-Danquah, J., Kanton, R. A. L., Afful, N. T. & Duet, M. (2021). Assessment of genetic diversity among 32 pigeon pea genotypes using morphological traits and simple sequence repeat markers in Northern Ghana. *J. Agric. Sci. Technol*. 17 (4), 1257-1272.
32.Kandarkar, K. G., Kute, N. S., Tajane, S. A. & Ingle, A. U. (2020). Correlation and path analysis for yield and its Contributing traits in pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Mill. Sp.]. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 9 (4), 1629-1632.
33.Thanga Hemavathy, A., Kannan Bapu, J. R. & Priyadharshini, C. (2017). Principal Component Analysis in Pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). Electron. *J. Plant Breed.* 8 (4), 1133-1139.