

# 基于主成分和隶属函数分析的高粱 品种耐深播性综合评价

周 瑜,黄 娟,吴 毓,张亚勤,奚 江,张晓春,李泽碧

(重庆市农业科学院特色作物研究所,重庆 永川 402160)

**摘 要:**采用盆栽试验,分别设置1、3、5、7 cm播深,对34个高粱品种在不同播深下的出苗率、幼苗形态和幼苗干物质量进行分析,筛选耐深播性鉴定指标,综合评价高粱品种的耐深播性。研究表明,随着播种深度的加大,出苗率、苗长、根长、根数和苗重均呈下降趋势,3、5、7 cm与1 cm播深上述指标测定值的比值分别为0.84~0.60、0.96~0.75、0.83~0.53、0.88~0.64和0.95~0.85;中胚轴长、根重和根冠比呈上升趋势,3、5、7 cm与1 cm播深上述指标测定值的比值为1.52~3.30、1.10~1.25和1.17~1.50;胚芽鞘长在播深间差异不显著。主成分分析结果表明,前4个主成分的累积方差贡献率为77.647%,相对根冠比、相对根长、相对中胚轴长和相对出苗率载荷量最大,将其作为高粱耐深播性筛选的主要指标并计算隶属函数值。根据隶属函数值对高粱品种进行聚类分析,结果显示,34个高粱品种可聚为3类,晋梁白2号等11个品种为耐深播品种,红青壳等14个品种为中等耐深播品种,吉品609等9个品种为深播敏感品种。品种间耐深播性差异明显,杂交种较常规种耐深播性强。

**关键词:**高粱;品种;耐深播性;萌发性状;综合评价

**中图分类号:**S514;S11<sup>+</sup>4 **文献标志码:**A

## Comprehensive evaluation of deep-sowing tolerance of 34 sorghum cultivars by principal component analysis and subordinate function method

ZHOU Yu, HUANG Juan, WU Yu, ZHANG Yaqin, XI Jiang, ZHANG Xiaochun, LI Zebi

(Institute of Characteristic Crops Research, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Yongchuan, Chongqing 402160, China)

**Abstract:** In order to evaluate the deep-sowing tolerance of sorghum cultivars and screen related identification index, we measured the emergence rate, seedling morphology, and dry weight of 34 sorghum cultivars with different sowing depths of 1, 3, 5, and 7 cm by a pot experiment. The results showed that with the increase in sowing depth, the emergence rate, seedling length, root length, root number, and seedling dry weight decreased with the relative value ranging between 0.84~0.60, 0.96~0.75, 0.83~0.53, 0.88~0.64, and 0.95~0.85, respectively. Mesocotyl length, root dry weight, and root-shoot ratio increased by the relative value ranges of 1.52~3.30, 1.10~1.25, and 1.17~1.50, respectively, while the coleoptiles length had no significant difference among sowing depths. Principal component analysis (PCA) showed that the cumulative contribution rate of the first 4 principal components was 77.647%, and the relative root-shoot ration, relative root length, relative mesocotyl length, and emergence rate had the maximum weight in values. These 4 traits above were used as the main indices for evaluating deep-sowing tolerance and to calculate subordinate function values. According to the cluster analysis of sorghum varieties based on the subordinate function values, 3 groups of deep-sowing tolerance of 34 sorghum cultivars were detected: 11 cultivars including Jinliangbai 2 were deep-sowing tolerant, 14 cultivars including Hongqingke were medium deep-sowing tolerant, and 9 cultivars including Jipin 609 were deep-sowing sensitive. In conclusion, the difference of deep-sowing tolerance among sorghum cultivars was distinct, and the tolerance of hybrids was higher than that of conventional cultivars.

收稿日期:2019-06-30

修回日期:2020-01-06

基金项目:重庆市科研机构绩效激励引导专项(cstc2018jxjl80008);重庆市农业科学院农业发展资金项目(NKY-2018AB004)

作者简介:周瑜(1987-),女,重庆合川人,博士,助理研究员,主要从事作物高效栽培研究。E-mail:xinganmermer@163.com

通信作者:李泽碧(1980-),女,四川乐至人,硕士,助理研究员,主要从事作物遗传育种与栽培技术研究。E-mail:lizebi291525@163.com

**Keywords:** sorghum; cultivars; deep-sowing tolerance; germination characteristics; comprehensive evaluation

良好的出苗情况是作物正常生长、获得高产的基础。一般土壤湿度适宜时,禾谷类作物的播深在5 cm 或以下,而在土壤表层非常干燥的干旱或半干旱地区,适当加大播种深度才能获得萌发所需水分<sup>[1]</sup>。高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)是一种综合抗旱能力很强的作物,且粮、饲、酿能源兼用,在农业水资源日趋紧缺的背景下,具有巨大的发展潜力<sup>[2]</sup>。我国高粱多种植在干旱、半干旱地区<sup>[3]</sup>,常发生春旱,适度深播、播后镇压是保全苗的重要措施,耐深播是这些区域高粱品种的重要特性之一<sup>[1]</sup>。因此,比较不同播深对高粱萌发的影响,筛选高粱耐深播鉴定指标,建立高粱耐深播性综合评价方法,发掘高粱耐深播种质,对耐深播高粱新品种培育、耐深播机制研究以及高粱高产稳产具有重要意义。

播种深度对作物幼苗的生长有显著影响,随着播种深度的增加,玉米出苗率下降、出苗时间延长,幼苗长度及幼苗整齐度显著降低,中胚轴长度显著增加,胚芽鞘长度差异不显著<sup>[4]</sup>,高粱的地上部分幼苗生长量和种根长显著降低,胚轴长度显著增加<sup>[5]</sup>。玉米播种至出苗天数、出苗率、中胚轴长、苗长与播深显著相关<sup>[6]</sup>,在15 cm 和20 cm 播深下,出苗率与中胚轴长、胚芽鞘长,中胚轴与胚芽鞘之和、苗长、根长都呈极显著正相关<sup>[7]</sup>。

作物的耐深播性是一个非常复杂的遗传性

状<sup>[8]</sup>,高粱和玉米依靠中胚轴推动顶端分生组织伸出土壤表面<sup>[9]</sup>,赵光武等<sup>[10]</sup>认为玉米耐深播的主要原因是其中胚轴显著伸长,张磊等<sup>[11]</sup>依据根茎(中胚轴)长度,将46个玉米自交系分为3种耐深播性类型。大麦与小麦幼苗出土主要是靠胚芽鞘和第一节间延长<sup>[1, 12]</sup>,Suge 等<sup>[13]</sup>发现小麦耐深播性与胚芽鞘长密切相关。水稻与燕麦主要是延长中胚轴和第一节间将幼苗送出地表<sup>[9, 14]</sup>,Zhao 等<sup>[15]</sup>对621个水稻品种进行表型分析发现中胚轴长对耐深播作用显著。此外,幼苗活力与种子快速、整齐萌发的能力和潜力有关<sup>[16]</sup>,苗长、苗干鲜重、根长、根干鲜重等衡量幼苗活力的性状往往与耐深播相关性状彼此相关<sup>[17-18]</sup>。

然而,关于播种深度对高粱幼苗性状和根系特性的影响鲜见报道,对高粱品种耐深播性的综合评价也尚未涉及。本文对34个高粱品种进行不同的播深处理,比较品种间出苗率、幼苗形态和幼苗干物质质量差异,筛选耐深播性鉴定指标,综合评价高粱品种的耐深播性,以期耐深播高粱品种选育、高粱深播出苗质量的提高提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

以34个高粱品种为供试材料,品种名称及来源见表1。

表1 供试高粱品种及来源

Table 1 Cultivars and origins of sorghum tested

编号 Code	品种 Cultivar	来源 Source	编号 Code	品种 Cultivar	来源 Source
S1	F10	北京 Beijing	S18	晋杂33 Jinza 33	山西 Shanxi
S2	川糯梁 15 Chuannuoliang 15	四川 Sichuan	S19	晋杂34 Jinza 34	山西 Shanxi
S3	川糯梁 1号 Chuannuoliang 1	四川 Sichuan	S20	晋杂3号 Jinza 3	山西 Shanxi
S4	大力士 Dalishi	北京 Beijing	S21	郎糯 1号 Langnuo 1	四川 Sichuan
S5	凤杂 4号 Fengza 4	吉林 Jilin	S22	辽糯 10号 Liaonuo 10	辽宁 Liaoning
S6	国窖红 1号 Guojiaohong 1	四川 Sichuan	S23	辽夏梁 2号 Liaoxialiang 2	辽宁 Liaoning
S7	红青壳 Hongqingke	贵州 Guizhou	S24	辽杂 19 Liaoza 19	辽宁 Liaoning
S8	红缨子 Hongyingzi	贵州 Guizhou	S25	辽杂 27 Liaoza 27	辽宁 Liaoning
S9	红杂 6号 Hongza 6	山西 Shanxi	S26	辽杂 35 Liaoza 35	辽宁 Liaoning
S10	红珍珠 Hongzhenzhu	贵州 Guizhou	S27	辽粘 3号 Liaonian 3	辽宁 Liaoning
S11	机糯梁 1号 Jinuoliang 1	四川 Sichuan	S28	辽粘 6号 Liaonian 6	辽宁 Liaoning
S12	吉品 609 Jipin 609	吉林 Jilin	S29	泸糯 8号 Lunuo 8	四川 Sichuan
S13	金糯梁 1号 Jinnuoliang 1	四川 Sichuan	S30	茅高 8号 Maogao 8	贵州 Guizhou
S14	晋梁 206 Jinliang 206	山西 Shanxi	S31	茅高 9号 Maogao 9	贵州 Guizhou
S15	晋梁白 2号 Jinliangbai 2	山西 Shanxi	S32	青贮大师 Qingzhudashi	北京 Beijing
S16	晋糯 3号 Jinnuo 3	山西 Shanxi	S33	甜高粱 Tiangaoliang	山西 Shanxi
S17	晋杂 22 Jinza 22	山西 Shanxi	S34	新杂 9203 Xinza 9203	山西 Shanxi

## 1.2 试验方法

2018 年 5 月,在重庆市农业科学院渝西作物试验站进行盆栽试验,将采集的试验田耕层土(紫色土, pH 5.6, 有机质含量  $22.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $1.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效氮  $119.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $25.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $74.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 风干过 5 mm 筛, 浇水, 使播前土壤统一达到 75% 相对含水量。试验用花盆外径 34 cm, 内径 29 cm, 高 23 cm, 底部直径 19 cm。精选大小均匀、饱满无损的高粱种子, 用 7% 漂白粉溶液消毒 2~3 min, 蒸馏水冲洗 3~4 次, 按 1、3、5 cm 和 7 cm 共 4 个播深, 分别在装土到 19、17、15 cm 和 13 cm 时, 将种子均匀播种到土壤表面, 每盆 20 粒, 随后立即覆土, 直至盆内土壤高度达 20 cm。每处理重复 3 次。待高粱生长至 3 叶期时调查出苗数, 而后每处理随机挑选 10 株幼苗, 出苗不足 10 株取 5 株, 挖出后小心冲洗, 并用吸水纸吸干植株表面残留水分, 测定中胚轴长、胚芽鞘长、苗长、根长和根数等各项指标。

出苗率 ( $SE$ ) = (出苗数 / 播种数)  $\times 100\%$

中胚轴长 ( $ML$ , mm) = 从种子到胚芽鞘节之间的长度

胚芽鞘长 ( $CoL$ , mm) = 从胚芽鞘节到胚芽鞘顶端的长度

苗长 ( $SL$ , mm) = 中胚轴和胚芽鞘接合点以上部分的长度

根长 ( $RL$ , mm) = 最长根的长度

根数 ( $RN$ ) = 所有根的数目

将上述取样植株分成地上和地下两部分, 地上部分为幼苗, 地下部分包括根和中胚轴, 烘箱  $105^\circ\text{C}$  下杀青 30 min,  $80^\circ\text{C}$  恒温烘干称重, 计算地上部分干重 ( $SDW$ , g)、地下部分干重 ( $RDW$ , g) 和根冠比。

根冠比 ( $R/S$ ) = 地下部分干重 / 地上部分干重

## 1.3 数据分析

为了排除品种间固有的差异和种子质量对测量结果的影响, 各指标均采用相对值, 即 3、5、7 cm 播深与 1 cm 播深测定值的比值, 相对值比绝对值能更好地反映不同高粱品种的耐深播性<sup>[19]</sup>。用 Microsoft Excel 2007 整理数据, SPSS 20.0 进行相关性分析和 PCA 分析。

利用隶属函数法<sup>[7]</sup>对 34 份高粱品种进行耐深播性综合评价, 其公式为:

$$U_{ij} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

$$U_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (2)$$

式中,  $U_{ij}$  表示  $i$  材料  $j$  指标的耐深播隶属值;  $X_{ij}$  表示  $i$  材料  $j$  指标的测定值;  $X_{j\min}$  表示所有材料  $j$  指标的最

小值;  $X_{j\max}$  表示所有材料  $j$  指标的最大值。若所测指标与材料的耐深播性呈正相关, 则采用 (1) 式计算隶属值, 反之则用 (2) 式。先求出每一指标在各播深下的隶属值, 累加求平均值, 再将不同指标的隶属值累加求平均值, 平均值越大, 品种的耐深播性越强<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 高粱品种对不同播深的响应

方差分析结果 (表 2) 表明, 除胚芽鞘长外, 其余指标在品种和播深间均存在极显著差异 ( $P < 0.01$ )。随着播种深度的加大, 出苗率、苗长、根长、根数和苗重均呈下降趋势, 3、5、7 cm 播深的平均相对出苗率分别为 0.84、0.73 和 0.60, F10 (S1) 在 7 cm 播深出苗率下降幅度最大, 相对出苗率仅为 0.33, 凤杂 4 号 (S5)、晋杂 3 号 (S20) 和晋梁白 2 号 (S15) 在 3 cm 播深出苗率最高, 超过了 1 cm 播深, 相对出苗率分别为 1.07、1.03 和 1.00。

3、5、7 cm 播深的平均相对苗长分别为 0.96、0.88 和 0.75, 7 cm 播深茅高 8 号 (S30) 和辽夏梁 2 号 (S23) 的相对苗长最小, 分别比 1 cm 播深下降 44.3% 和 40.9%; 3 cm 播深金糯梁 1 号 (S13) 和吉品 609 (S12) 的相对苗长最大, 分别为 1.17 和 1.14。3、5、7 cm 播深的平均相对根长分别为 0.83、0.66 和 0.53, 平均相对根数分别为 0.88、0.73 和 0.64, 其中中国窖红 1 号 (S6) 在 3 cm 播深的相对根长和根数均最大, 分别为 1.20 和 1.13; 7 cm 播深的红缨子 (S8) 和川糯梁 1 号 (S3) 的相对根长和根数最小, 分别为 0.39 和 0.51。3、5、7 cm 播深的平均相对苗重分别为 0.95、0.89 和 0.85, 甜高粱 (S33) 在 5 cm 播深的相对苗重最大, 为 1.02, 其次为 3 cm 播深的晋糯 3 号 (S16) 和辽杂 27 (S25), 均为 1.01, 晋梁白 2 号 (S15) 在 7 cm 播深的相对苗重最小, 为 0.66。

随着播种深度的增加, 中胚轴长、根重和根冠比呈上升趋势。中胚轴长随播深的增加而增加的趋势较为明显, 3、5、7 cm 播深的平均相对中胚轴长分别为 1.52、2.35 和 3.30, 其中辽粘 6 号 (S28) 在 7 cm 播深相对中胚轴长最大 (5.62), 泸糯 8 号 (S29) 在 3 cm 播深最小 (0.96)。3、5、7 cm 播深的平均相对根重分别为 1.10、1.18 和 1.25, 7 cm 播深的红缨子 (S8) 和辽粘 6 号 (S28) 的相对根重最大, 分别为 1.59 和 1.51, 3 cm 播深的吉品 609 (S12) 相对根重最小, 为 0.91, 其余品种的相对根重大部分在 1.00~1.20 之间。3、5、7 cm 播深的平均相对根冠比分别为 1.17、1.35 和 1.50, 7 cm 播深大力士 (S4) 和晋梁

206(S14)的相对根冠比最大,均为1.82,3 cm播深吉品609(S12)的相对根冠比最小,为0.94。

胚芽鞘长在播深间差异不显著,3、5、7 cm播深的平均相对胚芽鞘长分别为1.01、1.00和0.99,相对

胚芽鞘长最小为红青壳(S7)在7 cm播深的0.72,最大为辽杂19(S24)5 cm播深的1.24,其余大部分在0.90~1.10之间。

表2 不同播深处理下高粱品种幼苗性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of seedling traits for sorghum cultivars at different sowing depths

变异来源 Variance source	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
品种 Cultivar(C)	8.33 **	15.89 **	2.10 **	5.65 **	15.79 **	9.23 **	3.19 **	2.43 **	3.07 **
播深 Sowing depth(S)	145.86 **	340.58 **	0.71	99.61 **	606.16 **	202.20 **	27.52 **	16.93 **	34.89 **
品种×播深 C×S	1.97 **	1.86 **	0.49	0.81	2.05 **	1.71 **	0.67	0.43	0.79

注: $X_1$ : 相对出苗率; $X_2$ : 相对中胚轴长; $X_3$ : 相对胚芽鞘长; $X_4$ : 相对苗长; $X_5$ : 相对根长; $X_6$ : 相对根数; $X_7$ : 相对苗重; $X_8$ : 相对根重; $X_9$ : 相对根冠比。\*表示差异显著( $P<0.05$ ); \*\*表示差异极显著( $P<0.01$ )。下同。

Note:  $X_1$ : Relative emergence rate;  $X_2$ : Relative mesocotyl length;  $X_3$ : Relative coleoptiles length;  $X_4$ : Relative seedling length;  $X_5$ : Relative root length;  $X_6$ : Relative root number;  $X_7$ : Relative seedling dry weight;  $X_8$ : Relative root dry weight;  $X_9$ : Relative root-shoot ratio. \* means significant difference ( $P<0.05$ ); \*\* means extremely significant difference ( $P<0.01$ ). The same below.

表3 高粱各品种萌发性状的相对值

Table 3 Relative values of germination traits of sorghum cultivars

品种 Cultivar	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
S1	0.59ij	3.78b	0.94bcde	0.96bc	0.69fghijkl	0.65klmno	0.87bcdefgh	1.17abcdefg	1.37abcdef
S2	0.66fghi	2.94cde	0.96abcde	0.90bcdef	0.74cdef	0.69ijklmno	0.81fgh	1.01g	1.27bcdef
S3	0.77cdef	3.09cd	1.13ab	0.97ab	0.64ijklmn	0.63no	0.83efgh	1.24abcdef	1.52abcd
S4	0.66fghi	2.24fghij	1.08abc	0.78ghijk	0.56pq	0.71fghijklmn	0.83efgh	1.16abcdefg	1.51abcd
S5	0.78bcde	2.26fghi	0.93cde	0.79efghijk	0.71defgh	0.84bcde	0.85cdefgh	1.24abcdef	1.50abcde
S6	0.54j	1.68klm	1.07abcd	0.78fghijk	0.89a	0.97a	0.85cdefgh	1.35ab	1.60a
S7	0.60ij	2.13ghijk	0.83e	0.83cdefghijk	0.73def	0.86b	0.87abcdefgh	1.16abcdefg	1.37abcdef
S8	0.67efghi	2.12ghijk	1.07abcd	0.90bcdefg	0.60mnop	0.86b	0.94abcd	1.36a	1.45abcdef
S9	0.69defghi	1.87hijkl	0.98abcde	0.88bcdefgh	0.70efghij	0.80bcdefgh	0.95abcd	1.22abcdefg	1.31abcdef
S10	0.73cdefg	2.11ghijk	1.03abcd	0.92bcde	0.60mnop	0.74fghijkl	0.90abcdef	1.11defg	1.23def
S11	0.77cdef	2.44efg	0.84e	0.73k	0.58nopq	0.64mno	0.76h	1.16abcdefg	1.56ab
S12	0.62hij	2.27fghi	0.95bcde	0.95bc	0.53q	0.71hijklmno	0.91abcdef	1.04fg	1.21ef
S13	0.78bcd	2.50efg	1.07abcd	1.08a	0.66ghijklm	0.76cdefghi	0.89abcdefg	1.07efg	1.22def
S14	0.75cdef	2.58defg	1.07abcd	0.88bcdefgh	0.65hijklmn	0.70ijklmno	0.79gh	1.18abcdefg	1.54abc
S15	0.94a	2.35fgh	1.03abcd	0.93bcd	0.68fghijkl	0.66jklmno	0.83efgh	1.11defg	1.37abcdef
S16	0.88ab	1.74ijklm	0.98abcde	0.76ijk	0.70efghijk	0.75efghij	0.89abcdefg	1.10defg	1.26bcdef
S17	0.83bc	2.61defg	0.99abcde	0.93bcd	0.56opq	0.86b	0.90abcdef	1.13cdefg	1.24cdef
S18	0.72cdefgh	2.33fgh	0.94cde	0.81defghijk	0.63klmn	0.86b	0.87bcdefgh	1.17abcdefg	1.36abcdef
S19	0.60ij	2.93cde	1.12abc	0.93bcd	0.78bcd	0.85bc	0.95abc	1.14bcdefg	1.20ef
S20	0.93a	2.36fgh	1.02abcde	0.95bc	0.71efghi	0.74fghijkl	0.90abcdefg	1.29abcd	1.44abcdef
S21	0.61hij	1.84hijkl	1.00abcde	0.89bcdefg	0.76bcde	0.80bcdefg	0.94abcd	1.16abcdefg	1.24cdef
S22	0.68defghi	2.46efg	1.10abc	0.86bcdefghij	0.63lmnop	0.72fghijklm	0.95abc	1.22abcdefg	1.29bcdef
S23	0.77cdef	2.53efg	1.01abcde	0.74jk	0.80bc	0.74fghijkl	0.84defgh	1.11defg	1.33abcdef
S24	0.62hij	3.18c	1.15a	0.97ab	0.81b	0.81bcd	0.90abcdef	1.04fg	1.17f
S25	0.77cdef	2.44efg	0.96abcde	0.76hijk	0.70efghijk	0.85bcd	0.97ab	1.14bcdefg	1.18f
S26	0.63ghij	2.34fgh	0.96abcde	0.83cdefghijk	0.72defg	0.72fghijklm	0.97ab	1.25abcdef	1.29bcdef
S27	0.76cdef	2.71cdef	0.99abcde	0.95bc	0.65hijklmn	0.74fghijkl	0.92abcde	1.29abcd	1.40abcdef
S28	0.82bc	4.47a	1.01abcde	0.90bcdef	0.59mnop	0.76defghi	0.96ab	1.33abc	1.37abcdef
S29	0.75cdef	1.32m	0.97abcde	0.73k	0.61mnop	0.75efghijk	0.88abcdefg	1.17abcdefg	1.33abcdef
S30	0.79bcd	1.30m	0.88de	0.72k	0.58nopq	0.63mno	0.85cdefgh	1.16abcdefg	1.36abcdef
S31	0.76cdef	1.71jklm	0.93cde	0.86bcdefghi	0.63lmno	0.62o	0.93abcde	1.29abcd	1.41abcdef
S32	0.62hij	2.90cde	0.93cde	0.76hijk	0.64ijklmn	0.65lmno	0.91abcdef	1.10defg	1.21ef
S33	0.75cdef	1.56lm	1.11abc	0.88bcdefghi	0.77bcde	0.73fghijklm	0.98ab	1.27abcde	1.31abcdef
S34	0.79bcd	2.17fghijk	0.91bcde	0.81defghijk	0.62lmnop	0.68ijklmno	0.98a	1.13cdefg	1.15f

注:同列不同字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Values within the same column followed by different letters are significant difference ( $P<0.05$ ).

34 个高粱品种在不同播深下各性状的表现如表 3 所示。各性状在品种间均存在极显著差异,相对出苗率的变化范围为 0.54~0.94,相对中胚轴长的变化范围是 1.30~4.47,相对胚芽鞘长的变化范围为 0.83~1.15,相对苗长的变化范围为 0.72~1.08,相对根长的变化范围为 0.53~0.89,相对根数的变化范围为 0.62~0.97,相对苗重的变化范围为 0.76~0.98,相对根重的变化范围为 1.01~1.36,相对根冠比的变化范围为 1.15~1.60。

## 2.2 不同高粱品种萌发性状的相关分析

对不同播深高粱品种 9 个性状的相对值进行了相关分析,结果见表 4。相对出苗率与相对中胚轴长呈极显著负相关( $r=-0.518^{**}$ ,  $P<0.01$ ),中胚轴长与播种深度成正比,而随着播深加大,出苗率降低。相对出苗率与相对苗长、相对根长和相对根数均呈极显著正相关,相关系数分别为 0.468<sup>\*\*</sup>、0.424<sup>\*\*</sup>和 0.328<sup>\*\*</sup>,与相对根冠比呈极显著负相关,相关系数为-0.417<sup>\*\*</sup>。相对根重与相对根冠比的相关系数最大,达 0.728<sup>\*\*</sup>,其次为相对根数与相对根长,相关系数为 0.727<sup>\*\*</sup>。

## 2.3 各播深高粱萌发性状的主成分分析

主成分分析结果如表 5 所示,前 4 个主成分的累积方差贡献率为 77.647%,可代表变量的大多数信息。第 1 主成分特征值为 1.901,方差贡献率为 23.759%,对应较大的特征向量为相对根冠比;第 2 主成分特征值为 1.784,方差贡献率为 22.306%,对应较大的特征向量为相对根长、相对根数和相对根重;第 3 主成分特征值为 1.319,方差贡献率为

16.493%,对应较大的特征向量为相对中胚轴长和相对苗长;第 4 主成分特征值为 1.207,方差贡献率为 15.089%,对应较大的特征向量为相对出苗率和相对苗重。

## 2.4 高粱品种耐深播性的综合评价

综合相关分析和主成分分析结果,在第 1 主成分下选择相对根冠比,第 2 主成分下选择相对根长,第 3 主成分选择相对中胚轴长,第 4 主成分选择相对出苗率,对相对出苗率、中胚轴长和根长这 3 个指标采用公式(1)、相对根冠比采用公式(2)计算隶属函数值,结果如表 6 所示。根据计算出的隶属函数值,对高粱品种进行聚类分析(图 1),将高粱品种分为 3 大类。

第 1 类群包括 11 个品种:晋梁白 2 号(S15)、晋杂 34(S19)、辽夏梁 2 号(S23)、辽杂 27(S25)、辽粘 6 号(S28)、晋杂 3 号(S20)、新杂 9203(S34)、金糯梁 1 号(S13)、晋糯 3 号(S16)、川糯梁 15(S2)和辽杂 19(S24),占供试材料的 32.35%。该类群品种的耐深播性排序位于前 11 位,各指标的相对值均较高,属于耐深播品种。

第 2 类群包括 14 个品种:红青壳(S7)、晋杂 33(S18)、凤杂 4 号(S5)、红杂 6 号(S9)、红珍珠(S10)、川糯梁 1 号(S3)、辽糯 10 号(S22)、F10(S1)、甜高粱(S33)、郎糯 1 号(S21)、辽杂 35(S26)、辽粘 3 号(S27)、晋杂 22(S17)和青贮大师(S32),占供试材料的 41.18%。该类群品种的耐深播性排序位于 12~25 位,各指标的相对值居中,属于中等耐深播品种。

表 4 高粱各萌发性状间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients of germination traits of sorghum cultivars

性状 Trait	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
$X_1$	1.000								
$X_2$	-0.518 <sup>**</sup>	1.000							
$X_3$	0.052	0.024	1.000						
$X_4$	0.468 <sup>**</sup>	-0.305 <sup>**</sup>	0.369 <sup>**</sup>	1.000					
$X_5$	0.424 <sup>**</sup>	-0.603 <sup>**</sup>	0.185	0.539 <sup>**</sup>	1.000				
$X_6$	0.328 <sup>**</sup>	-0.548 <sup>**</sup>	0.147	0.474 <sup>**</sup>	0.727 <sup>**</sup>	1.000			
$X_7$	-0.321 <sup>**</sup>	-0.404 <sup>**</sup>	0.131	0.420 <sup>**</sup>	0.434 <sup>**</sup>	0.502 <sup>**</sup>	1.000		
$X_8$	-0.285 <sup>**</sup>	0.327 <sup>**</sup>	0.012	-0.379 <sup>**</sup>	-0.392 <sup>**</sup>	-0.244 <sup>*</sup>	-0.061	1.000	
$X_9$	-0.417 <sup>**</sup>	0.482 <sup>**</sup>	-0.063	-0.539 <sup>**</sup>	-0.563 <sup>**</sup>	-0.490 <sup>**</sup>	-0.712 <sup>**</sup>	0.728 <sup>**</sup>	1.000

表 5 主成分特征值及累积贡献率

Table 5 Eigenvalues, contribution and cumulative contribution rate of principal components

主成分 Principal component	$X_1$	$X_2$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
1	-0.424	0.236	0.426	0.378	0.417	0.685	-0.269	-0.791	1.901	23.759	23.759
2	-0.392	-0.346	-0.320	0.581	0.694	0.084	0.624	0.439	1.784	22.306	46.065
3	0.025	0.710	0.655	-0.013	-0.002	0.011	0.485	0.389	1.319	16.493	62.558
4	0.434	-0.288	-0.033	-0.401	-0.048	0.694	0.522	-0.131	1.207	15.089	77.647

表 6 不同高粱品种的隶属函数值及综合评价

Table 6 Subordinate function values and comprehensive evaluation of sorghum cultivars

品种 Cultivar	相对出苗率 Relative emergence rate ( $R_1$ )	相对中胚轴长 Relative mesocotyl length ( $R_2$ )	相对根长 Relative root length ( $R_3$ )	相对根冠比 Relative root-shoot ratio ( $R_4$ )	隶属函数值 Subordinate function value ( $S$ )	排序 Order
S1	0.189	0.748	0.469	0.471	0.469	14
S2	0.341	0.517	0.656	0.643	0.539	9
S3	0.585	0.562	0.358	0.213	0.430	22
S4	0.343	0.277	0.164	0.238	0.255	34
S5	0.607	0.302	0.569	0.249	0.432	21
S6	0.069	0.124	1.000	0.054	0.312	32
S7	0.208	0.288	0.619	0.487	0.400	24
S8	0.346	0.256	0.214	0.343	0.290	33
S9	0.416	0.184	0.539	0.593	0.433	20
S10	0.487	0.265	0.248	0.740	0.435	19
S11	0.594	0.348	0.172	0.143	0.314	31
S12	0.250	0.303	0.066	0.791	0.352	28
S13	0.596	0.406	0.420	0.757	0.545	7
S14	0.530	0.394	0.398	0.189	0.378	26
S15	0.943	0.308	0.480	0.495	0.556	5
S16	0.812	0.138	0.539	0.684	0.543	8
S17	0.695	0.457	0.159	0.699	0.502	12
S18	0.456	0.316	0.308	0.503	0.396	25
S19	0.212	0.486	0.745	0.781	0.556	6
S20	0.929	0.310	0.517	0.357	0.528	10
S21	0.238	0.181	0.722	0.714	0.464	16
S22	0.356	0.347	0.334	0.629	0.416	23
S23	0.584	0.364	0.778	0.554	0.570	3
S24	0.255	0.552	0.838	0.832	0.619	1
S25	0.558	0.339	0.556	0.820	0.568	4
S26	0.271	0.306	0.613	0.631	0.455	17
S27	0.560	0.428	0.387	0.420	0.449	18
S28	0.675	1.000	0.200	0.473	0.587	2
S29	0.521	0.019	0.309	0.544	0.348	29
S30	0.624	0.022	0.226	0.484	0.339	30
S31	0.567	0.139	0.348	0.410	0.366	27
S32	0.256	0.506	0.399	0.774	0.484	13
S33	0.517	0.090	0.691	0.575	0.468	15
S34	0.608	0.287	0.352	0.863	0.528	11

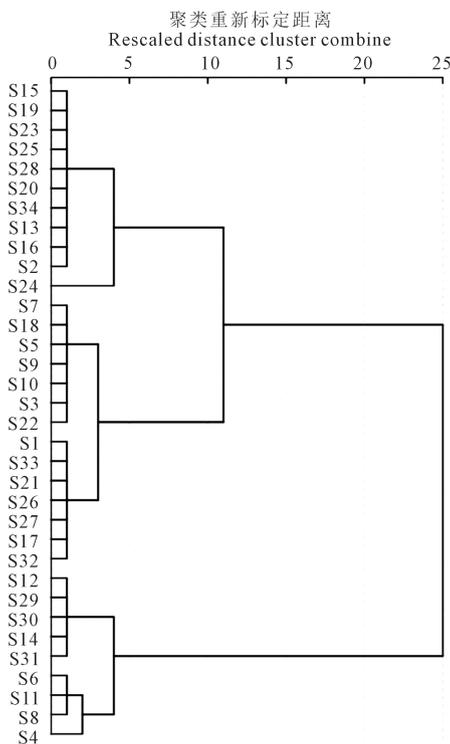


图 1 34 个高粱品种的聚类图

Fig.1 Dendrogram of cluster analysis of 34 sorghum cultivars

第 3 类群包括 9 个品种:吉品 609(S12)、泸糯 8 号(S29)、茅高 8 号(S30)、晋梁 206(S14)、茅高 9 号(S31)、国窖红 1 号(S6)、机糯梁 1 号(S11)、红缨子(S8)和大力士(S4),占供试材料的 26.47%。该类群品种的耐深播性排序位于 26~34 位,各指标相对值均较小,属于深播敏感品种。

### 3 讨论

播种深度达 7 cm 时,高粱种子出苗率显著降低,高海燕等<sup>[5]</sup>认为 7 cm 以上不适宜高粱播种,本试验结果显示,深播会抑制高粱种子萌发的生理过程,出苗率降低,苗长、根长、根数和苗重均减少,7 cm 播深处理下降幅度最大。但个别测定指标反而较对照有所升高,如 3 cm 播深下凤杂 4 号(S5) 的出苗率、金糯梁 1 号(S13)的苗长、国窖红 1 号(S6) 的根长和根数,可能由于适度播深下黑暗环境、CO<sub>2</sub> 浓度和土壤含水率等因素促进了种子的萌发过程。相似地,深播能刺激小麦第 1 节间的伸长生长<sup>[21]</sup>, 夏玉米在地下滴灌条件下播深 7 cm 和 9 cm 较 3、5 cm 和 11 cm 具有较高的出苗率、株高和单株干物质

积累量<sup>[22]</sup>。本试验中,随着播深的增加,高粱中胚轴长、根重和根冠比都显著增加,而胚芽鞘长无显著变化。中胚轴推动胚芽伸出土壤表面<sup>[23]</sup>,中胚轴伸长是深播条件下水稻出苗的关键因素<sup>[24]</sup>。本试验中,中胚轴长随播深的增加而增加,而根重即地下部重,包括中胚轴和根。中胚轴长显著增加,根重相应增加,根冠比亦增加。在深覆土条件下杂草稻顶土出苗的动力主要来自于中胚轴和芽鞘节间的伸长,小部分动力来自于胚芽鞘的伸长<sup>[25]</sup>。本试验中,胚芽鞘长在播深间无显著差异,但品种间差异显著,才卓<sup>[26]</sup>也发现深播导致高粱胚芽鞘长度略微减少,不同品种胚芽鞘伸长能力不同,在适应深播的器官形态中,中胚轴的作用较为明显。

出苗率是评价作物耐深播性的主要指标<sup>[8]</sup>,但耐深播性是一个综合性状,表征幼苗活力的指标也应纳入考量范围,而这些指标与出苗率之间又存在一定的相关性。胚芽鞘长和中胚轴长与杂草稻出苗率呈高度正相关<sup>[27]</sup>,胚芽鞘长和第 1 节间长与小麦耐深播性呈正相关<sup>[28]</sup>,Schillinger 等<sup>[29]</sup>甚至发现了冬小麦胚芽鞘长与出苗率的线性回归关系。本试验中,出苗率与中胚轴长呈极显著负相关,与前人研究结果不同。苗高和苗干重也常用作考察珍珠粟和高粱成苗率和幼苗活力的指标<sup>[30]</sup>。王良群等<sup>[31]</sup>发现高粱胚芽鞘长与出苗力相关性不强,不是一个突出指标。本研究中,出苗率与苗长、根长和根数均呈正相关,与根冠比呈负相关,与苗重、根重呈负相关,但相关系数较小,与胚芽鞘长无相关性。

由于不同播深下各指标间存在相关性,使得反映高粱耐深播性信息发生交叉重叠,主成分分析将多个指标转化为少数几个不相关的综合指标<sup>[32]</sup>,在此基础上再采用隶属函数法对高粱品种耐深播性进行综合评价,结果更科学可靠<sup>[33]</sup>。本试验将除胚芽鞘外的 8 个指标进行主成分分析,归纳出 4 个主成分,累积贡献率达 77.647%。从 4 个主成分中选择代表性指标进行隶属函数值计算,再对隶属函数值进行模糊聚类,可将 34 个高粱品种分为 3 大类:耐深播品种、中等耐深播品种和深播敏感品种。其中耐深播品种全部为杂交种,这可能与杂交种种子较大、贮藏物质较多,能为种子萌发、中胚轴伸长提供更多的能量有关。许多报道证实,种子大小影响幼苗活力<sup>[34-35]</sup>,大麦耐深播性也与种子大小密切相关<sup>[36]</sup>。但种子出苗是一个复杂的过程,造成品种间对深播反应差异的原因很多,除种子大小外,幼苗器官细胞形态<sup>[37]</sup>、内源激素<sup>[38]</sup>等均有重要作用,因此,有关高粱耐深播特性及机理有待进一步研究。

## 4 结 论

随着播深增加,出苗率、苗长、根长、根数和苗重降低,中胚轴长、根重和根冠比增大,其中相对根冠比、相对根长、相对中胚轴长和相对出苗率可作为高粱品种耐深播性鉴定的重要指标。品种间耐深播性差异明显,杂交种较常规种耐深播性强,根据隶属函数值进行聚类分析,34 个高粱品种可分为 3 类,晋梁白 2 号等 11 个品种为耐深播品种。

### 参 考 文 献:

- [1] Takahashi H, Sato K, Takeda K. Mapping genes for deep-seeding tolerance in barley [J]. *Euphytica*, 2001, 122(1):37-43.
- [2] 山仑, 徐炳成. 论高粱的抗旱性及在旱区农业中的地位[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(7): 2342-2348.
- [3] 卢庆善, 邹剑秋, 朱凯, 等. 试论我国高粱产业发展——一论全国高粱生产优势区[J]. *杂粮作物*, 2009, 29(2):78-80.
- [4] 曹慧英, 王丁波, 史建国, 等. 播种深度对夏玉米幼苗性状和根系特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(8):2397-2404.
- [5] 高海燕, 程庆军, 田承华, 等. 播种深度对高粱出苗和幼苗生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2014, (30): 89-94.
- [6] 吴海燕, 崔彦宏, 孙昌凤. 不同类型玉米杂交种播种深度与出苗相关性的研究[J]. *玉米科学*, 2011, 19(2):109-113.
- [7] 彭云玲, 赵小强, 闫慧萍, 等. 不同玉米自交系耐深播性评价及遗传多样性分析[J]. *草业学报*, 2016, 25(7):73-86.
- [8] 彭云玲, 杨芳林, 赵小强, 等. 不同玉米自交系耐深播能力的差异分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2014, 32(1):25-33.
- [9] Hoshikawa, Kiyochika. Underground organs of the seedlings and the systematics of Gramineae [J]. *Botanical Gazette*, 1969, 130(3): 192-203.
- [10] 赵光武, 马攀, 王建华, 等. 不同玉米自交系耐深播能力鉴定及对深播胁迫的生理响应[J]. *玉米科学*, 2009, 17(5):9-13.
- [11] 张磊, 刘志增, 黄亚群, 等. 46 个玉米自交系耐深播特性分析[J]. *河北农业大学学报*, 2007, 30(3):18-21.
- [12] Schillinger W F, Donaldson E, Allan R E, et al. Winter wheat seedling emergence from deep sowing depths [J]. *Agronomy Journal*, 1998, 90(5):582-586.
- [13] Suge H, Nishizawa T, Takahashi H, et al. Inheritance of the first internode elongation due to deep-seeding and ethylene treatment in wheat [J]. *Breeding Science*, 1998, 48(2):151-157.
- [14] Turner F T, Chen C C, Bollich C N. Coleoptile and mesocotyl lengths in semidwarf rice seedlings [J]. *Crop Science*, 1982, 22(1):43.
- [15] Zhao Y, Zhao W P, Jiang C H, et al. Genetic architecture and candidate genes for deep-sowing tolerance in rice revealed by non-syn GWAS [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9:332-346.
- [16] Zhang H W, Ma P, Zhao Z N, et al. Mapping QTL controlling maize deep-seeding tolerance-related traits and confirmation of a major QTL for mesocotyl length [J]. *Theoretical & Applied Genetics*, 2012, 124(1):223-232.
- [17] Rebetzke G J, Richards R A, Fettel N A, et al. Genotypic increases in coleoptile length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat [J]. *Field Crops Research*, 2007, 100(1): 10-23.