

宁夏扬黄灌区谷子品种主要农艺性状及产量的相关分析

罗世武, 李凯, 来幸樑, 程炳文* (宁夏农林科学院固原分院/宁夏旱作农业工程研究中心, 宁夏固原 756000)

摘要 在宁夏扬黄灌区(中部干旱带移民搬迁点), 引进不同谷子品种开展生态适应性研究。从不同谷子品种生育进程、农艺性状和产量构成等方面进行相关分析, 筛选出该地区最适宜推广种植的谷子优良品种, 为宁夏扬黄灌区谷子新品种推广、养殖业发展和农业结构调整提供理论指导。结果表明, 适应性最优的谷子品种为晋谷 21 号、草谷 2 号(饲草型), 适宜性较强品种为豫谷 18 号、张青谷 2 号(饲草型), 张杂谷 16 号和张杂谷 18 号在该地区无法成熟, 不适宜在该地区种植。

关键词 谷子; 品种; 农艺性状; 产量

中图分类号 S515 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)07-0013-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.07.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Correlation Analysis of Main Agronomic Traits and Yield of Millet Varieties in Yanghuang Irrigation Area of Ningxia

LUO Shi-wu, LI Kai, LAI Xing-liang et al (Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences/Dry Farming Engineering Technology Research Center of Ningxia, Guyuan, Ningxia 756000)

Abstract In the Yanghuang Irrigation District of Ningxia (the migration point in the central arid zone), different millet varieties were introduced to carry out the ecological adaptability research. The correlation analysis was carried out from the aspects of the growth process, agronomic traits and yield components of different millet varieties, and the best millet varieties suitable for promotion and cultivation in the region were screened out, which provided theoretical guidance for the promotion of new millet varieties, the development of aquaculture and the structural adjustment in the Yanghuang Irrigation District of Ningxia. The results showed that the most suitable millet varieties were Jingu 21 and Caogu 2 (forage type), and the most suitable varieties were Yugu 18 and Zhangqinggu 2 (forage type). Zhangzagu 16 and Zhangzagu 18 were not mature in the region and were not suitable for planting in the region.

Key words Millet; Varieties; Agronomic traits; Yield

谷子[*Setaria italica*(L.) Beauv.]起源于中国,在我国北方旱区是主要粮食作物之一,主要分布于我国东北、华北和西北地区^[1],同时谷子具有抗旱耐瘠、抗逆性强、适应性广的特点,根系发达,能从土壤深层吸收水分,被认为是在未来水资源短缺情况下良好的替代作物^[2]。谷子又称为粟,脱壳后是人们常见的小米,营养丰富,且因其耐旱性强、耐瘠薄以及谷草品质优良等优点在农业生产中发挥着重要作用^[3-5]。谷子是粮草兼用的高效作物,粮、草比为 1:1.3,由于农业生产和种植业结构的调整,谷子开始发挥较好的粮饲兼用作用^[6],然而在谷子实际生产中,存在种植品种繁杂、品种优势不明显等问题,又由于区域生态环境的差异性,形成了谷子形态发育各异、抗逆性多样的地区品种^[1,7]。在提供食物多样化,缓解种植业与畜牧业争地的矛盾中,谷子有其他作物不可替代的重要地位。同时,谷子具有较强的健身和食疗作用^[8],是非常有价值的健康食品。随着人们生活水平的提高及对健康绿色食品认知度的提高,对谷子的要求也越来越高。因此,通过引进谷子不同品种,对谷子不同品种生育进程、地上干物质积累、叶片叶绿素相对含量(SPAD 值)及相关农艺性状等指标进行研究,从中选出优质高产的适宜品种,可为谷子的大面积推广种植提供依据,同时也对农业结构的调整有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验在宁夏扬黄灌区的红寺堡区新庄集乡白墩子村开展,红寺堡区属典型的温带大陆性气候,海拔 1 240~1 450 m,常年干旱少雨,昼夜温差大。年平均降水量 251 mm,年平均蒸发量 2 387 mm,大陆性气候特征显著。日温差大,年平均气温 8.4℃,全年>10℃积温 3 200℃·d 以上,平均无霜期为 155 d,全年日照时数 2 900~3 550 h。试验地地势平坦,属砂壤土,前茬为枸杞。试验前土壤基础含水量为 6.94%,2021 年谷子生长期总降雨量为 148.5 mm,该区土壤保水保肥能力差,致使干旱影响非常严重,先后补充灌水 300 m³,但干旱仍对谷子生长造成较大影响,致使谷子不同品种产量较低。土壤相关指标测定严格按照土壤农化分析方法^[9],测定结果如下:土壤有机质 5.85 g/kg,土壤全氮 0.34 g/kg,全磷 0.39 g/kg,全钾 18.8 g/kg,碱解氮 140.0 mg/kg,速效磷 107.6 mg/kg,速效钾 347.5 mg/kg。从土壤养分化验结果来看,土壤有机质及全氮、全磷、全钾含量偏低,肥力严重不足。

1.2 供试材料 供试谷子品种共 10 个:张青谷 2 号(饲草型)、草谷 2 号(饲草型)、陇谷鉴 2129、晋谷 21 号、金苗 K₁、长农 47 号、豫谷 18 号、张杂谷 13 号、张杂谷 16 号、张杂谷 18 号(表 1)。

1.3 试验设计 试验设大区处理,每个品种种植大区面积为 93 m²,不设重复,品种区间设宽 1 m 的走道,手推式穴播机播种,播量 3.75~4.50 kg/hm²,播深 5 cm,穴距 20 cm,行间距 40 cm,留苗 45 万株/hm²,单穴播种 8~10 粒,人工模拟覆土。结合整地施底肥 30 000 kg/hm²,播种时施谷子专用缓释肥 600 kg/hm²。

基金项目 宁夏回族自治区重大研发专项(2021BBF02021);宁夏回族自治区农业科技自主创新资金项目(NGSB-2021-6-01);国家现代农业产业技术体系(CARS-06-13.5-A18)。

作者简介 罗世武(1968—),男,宁夏固原人,高级工程师,从事小杂粮研究与推广工作。*通信作者,研究员,从事小杂粮研究与推广工作。

收稿日期 2022-06-20;修回日期 2022-08-01

表1 参试谷子品种材料来源

Table 1 Sources of tested millet varieties

品种 Variety	来源 Source
张青谷 2 号 (饲草型) Zhangqinggu 2 (forage type)	河北省张家口市农业科学院
草谷 2 号 (饲草型) Caogu 2 (forage type)	内蒙古赤峰市农牧科学研究所
陇谷鉴 2129 Longgujian 2129	甘肃省农业科学院作物研究所
晋谷 21 号 Jingu 21	山西省农业科学院经济作物研究所
金苗 K ₁ Jimiao K ₁	内蒙古赤峰市农牧科学研究所
长农 47 号 Changnong 47	山西省农业科学院谷子研究所
豫谷 18 号 Yugu 18	河南省安阳市农业科学院
张杂谷 13 号 Zhangzagu 13	河北省张家口市农业科学院
张杂谷 16 号 Zhangzagu 16	河北省张家口市农业科学院
张杂谷 18 号 Zhangzagu 18	河北省张家口市农业科学院

1.4 测定指标及方法

1.4.1 株高、茎粗的测定。每大区“Z”字形 5 点取样,每个点选取 3 株长势一致的谷子植株挂牌标记,分别于苗期、拔节期、抽穗期和成熟期测定谷子株高和茎粗。

1.4.2 干物质测定。随机选取 5 株长势一致的谷子,分别在苗期、拔节期、抽穗期和成熟期称鲜重,烘箱中 105 ℃ 杀青 30 min 后,80 ℃ 烘干至恒重,取其平均值为干物质质量。

1.4.3 叶绿素测定。选取 5 株长势一致的谷子植株挂牌标记,分别于苗期、拔节期、抽穗期和成熟期用 SPAD-502 型便携式叶绿素仪测定叶绿素。

1.4.4 考种和测产。在谷子成熟期每小区选取 10 株植株测定谷子株高、穗长、穗茎长、穗码数、主穗粒重、主穗重和千粒重;各处理小区单独收获、脱粒、测产。

1.5 数据处理及统计分析 采用 Excel 2010 对所测数据进行处理和制图。

2 结果与分析

2.1 谷子不同品种生育进程 谷子不同品种从播种到出苗的时间表现出一定差异,由表 2 可看出,金苗 K₁ 生育期最短 (105 d),陇谷鉴 2129 和晋谷 21 号生育期最长 (120 d)。张青谷 2 号、草谷 2 号出苗时间较其他谷子品种提早 4~6 d;张青谷 2 号、草谷 2 号、陇谷鉴 2129、金苗 K₁、张杂谷 13 号较其他谷子品种拔节期提早 8 d。抽穗期:张杂谷 13 号抽穗期最早,比其他品种提早 16~25 d;张青谷 2 号、草谷 2 号和金苗 K₁ 次之,较除张杂谷 13 号以外的其他谷子品种提早 6~9 d。成熟期:金苗 K₁、张杂谷 13 号成熟期较其他谷子品种提早 5~13 d。谷子不同品种生育期在 105~120 d 之间,生育期平均为 114 d;谷子各品种生育期最长和最短之间相差 15 d,张杂谷 16 号和张杂谷 18 号不能成熟。

表2 谷子不同品种生育进程

Table 2 Growth period of different millet varieties

品种 Variety	播种期 Sowing time	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Mature stage	收获期 Harvest stage	生育期 Growth period//d
张青谷 2 号 Zhangqinggu 2 (forage type)	05-12	05-22	06-20	07-31	09-15	09-23	116
草谷 2 号 Caogu 2	05-12	05-22	06-20	07-31	09-15	09-23	116
陇谷鉴 2129 Longgujian 2129	05-12	05-26	06-20	08-06	09-23	09-23	120
晋谷 21 号 Jingu 21	05-12	05-26	06-28	08-07	09-23	09-23	120
金苗 K ₁ Jimiao K ₁	05-12	05-28	06-20	07-31	09-10	09-23	105
长农 47 号 Changnong 47	05-12	05-26	06-28	08-06	09-15	09-23	112
豫谷 18 号 Yugu 18	05-12	05-26	06-28	08-06	09-20	09-23	117
张杂谷 13 号 Zhangzagu 13	05-12	05-25	06-20	07-15	09-10	09-23	108
张杂谷 16 号 Zhangzagu 16	05-12	05-25	06-28	08-09	未成熟		
张杂谷 18 号 Zhangzagu 18	05-12	05-25	06-28	08-09	未成熟		

2.2 谷子不同品种地上干物质积累 由图 1 可见,谷子不同品种干物质积累量的特点基本相同,都是随着生长时间的积累而增加;从拔节期开始干物质积累速率逐渐增大,在谷子拔节期、抽穗期和成熟期,草谷 2 号地上干物质积累最高,分别为 159.9、199.4 和 263.8 g。各生育期谷子地上干物质积累平均值由高到低的顺序为:草谷 2 号>陇谷鉴 2129>张青谷 2 号>晋谷 21 号>张杂谷 13 号>长农 47 号>豫谷 18 号>张杂谷 18 号>金苗 K₁>张杂谷 16 号。

2.3 谷子不同品种植株株高 株高是品种的固有特性,同时也是反映作物生长状况的重要指标。王丹丹等^[10]认为株高与产量呈显著正相关。由图 2 可看出,谷子不同品种各生育期植株株高有一定程度的差异,在谷子拔节期、抽穗期和成熟期,草谷 2 号株高最高,分别为 105.30、151.00 和 184.30 cm。谷子不同品种植株株高在各生育期差异显著,在谷子各生育期,草谷 2 号、张青谷 2 号 2 个饲草型谷子品

种平均株高明显高于其他谷子品种,草谷 2 号平均株高最高 (146.87 cm),其次是张青谷 2 号 (128.53 cm),张杂谷 16 号平均株高最低 (79.72 cm)。谷子各品种株高在 79.72~146.87 cm。在谷子各生育期,各品种株高平均值由高到低的顺序为:草谷 2 号>张青谷 2 号>陇谷鉴 2129>晋谷 21 号>长农 47 号>金苗 K₁>张杂谷 13 号>豫谷 18 号>张杂谷 18 号>张杂谷 16 号。谷子各生育期平均株高为 104.66 cm,其中高于平均株高品种占 40.0%,低于平均株高品种占 60.0%。

2.4 谷子不同品种植株茎粗 由图 3 可以看出,谷子不同品种各生育期茎粗有一定程度的差异,在谷子拔节期和抽穗期,草谷 2 号茎粗最粗,分别为 7.15、9.80 mm,张杂谷 13 号茎粗最细,分别为 2.29 和 4.04 mm;在谷子成熟期,张青谷 2 号茎粗最粗 (19.20 mm),张杂谷 13 号最细 (8.25 mm)。在谷子各生育期,草谷 2 号、张青谷 2 号平均茎粗明显高于其他谷子品种,分别为 11.42、10.22 mm;张杂谷 13 号平均茎粗

最低,为 4.86 mm。谷子各品种茎粗在 4.86~11.42 mm。各生育期各品种茎粗平均值由高到低的顺序为:张青谷 2 号>

草谷 2 号>陇谷鉴 2129>晋谷 21 号>金苗 K₁>长农 47>豫谷 18 号>张杂谷 16 号>张杂谷 18 号>张杂谷 13 号。

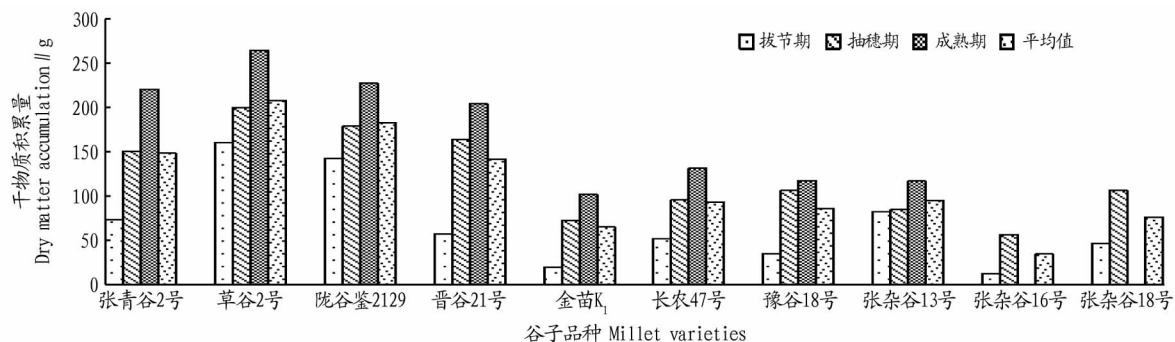


图 1 各生育期不同谷子品种地上干物质积累量变化特征

Fig. 1 Characteristics of aboveground dry matter accumulation of different millet varieties at different growth stages

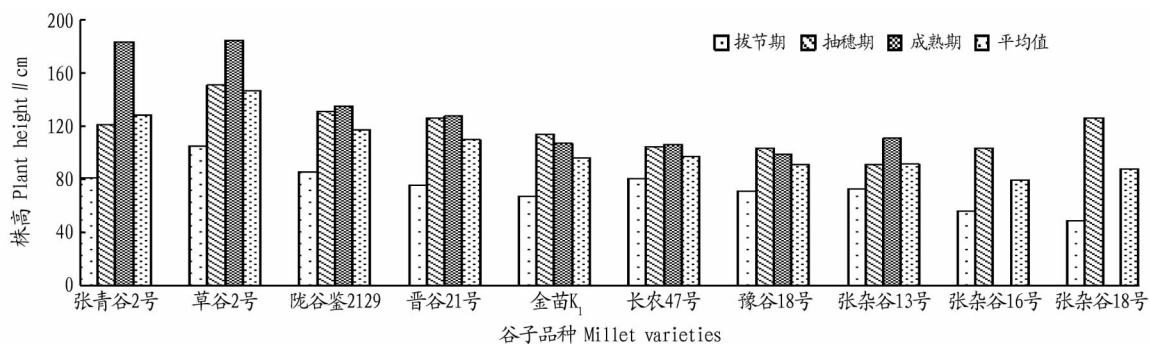


图 2 各生育期不同谷子品种株高变化特征

Fig. 2 The variation characteristics of plant height of different millet varieties at different growth stages

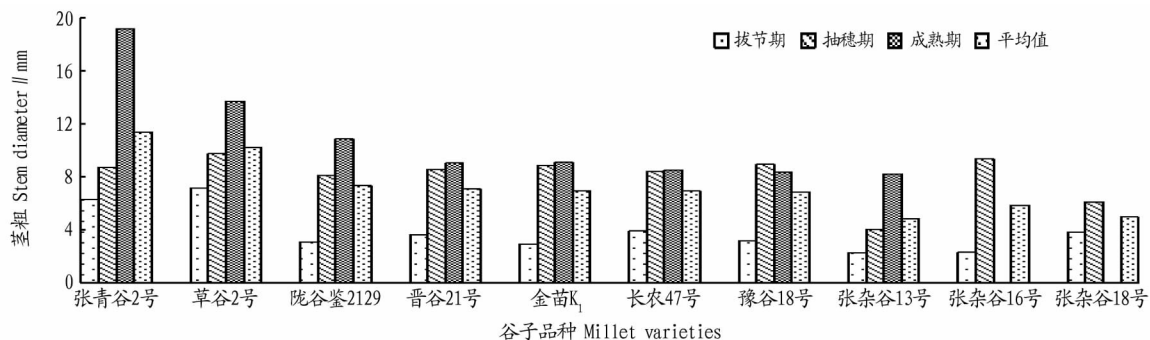


图 3 各生育期不同谷子品种茎粗变化特征

Fig. 3 The variation characteristics of stem diameter of different millet varieties at different growth stages

2.5 谷子不同品种叶片叶绿素 SPAD 值 叶绿素是影响光合作用的重要因素,是吸收、传递、转化光能的主要物质^[11],谷子不同品种叶片叶绿素 SPAD 值在各生育期表现存在差异(图 4)。谷子同一品种在不同生育时期,叶片叶绿素 SPAD 值也表现出一定差异,随着谷子生育进程的推进,叶片叶绿素 SPAD 值呈现整体上升趋势。在拔节期,谷子不同品种叶片叶绿素 SPAD 值以晋谷 21 号最高(44.8),其次是草谷 2 号和张青谷 2 号,分别为 44.7 和 44.4;在抽穗期,谷子不同品种叶片叶绿素 SPAD 值以张杂谷 18 号最高(55.3),其次是张青谷 2 号和晋谷 21 号,分别为 53.9 和 51.5。在成熟期,谷子不同品种叶片叶绿素 SPAD 值均达到最大值,张青谷 2 号、长农 47 号、豫谷 18 号、金苗 K₁、草谷 2 号和陇谷

鉴 2129 高于其他品种。综上所述,宁夏扬黄灌区谷子不同品种在整个生育期内,张青谷 2 号叶片叶绿素 SPAD 值最高,其次是晋谷 21 号。

2.6 谷子不同品种农艺性状 由表 3 可知,各品种中草谷 2 号株高、穗颈长和单株草重最大,分别为 152.4 cm、26.9 cm 和 42.63 g;陇谷鉴 2129 的穗长、穗码数和千粒重最大,分别为 31.6 cm、133.0 个和 3.40 g;张青谷 2 号的主穗粒重最大,为 30.72 g;晋谷 21 号的主穗重最大,为 30.03 g。各品种平均株高为 125.3 cm,高于平均值的有草谷 2 号、张青谷 2 号和晋谷 21 号 3 个品种;各品种平均穗长为 22.6 cm,高于平均值的有陇谷鉴 2129、金苗 K₁、草谷 2 号和张杂谷 13 号 4 个品种;各品种穗颈长平均为 21.9 cm,高于平均值的有草谷 2

号和金苗 K₁ 2 个品种;各品种平均穗码数为 103.8 个,高于平均值有陇谷鉴 2129、张杂谷 13 号和豫谷 18 号 3 个品种;各品种主穗粒重平均值为 17.70 g,主穗粒重高于平均值的有张青谷 2 号、晋谷 21 号和草谷 2 号 3 个品种;各品种主穗重平均为 23.29 g,主穗重高于平均值的有晋谷 21 号、草谷 2 号和张杂谷 13 号 3 个品种;各品种单株草重平均值为

26.08 g,高于平均值的有草谷 2 号、晋谷 21 号、豫谷 18 号和张青谷 2 号 4 个品种。谷子各品种千粒重在 2.90~3.40 g 之间,平均值为 3.09 g,高于平均值的有张青谷 2 号、草谷 2 号、陇谷鉴 2129 3 个品种。综上所述,谷子各品种农艺性状表现较好的有草谷 2 号、晋谷 21 号、张青谷 2 号、金苗 K₁ 和豫谷 18 号 5 个品种。

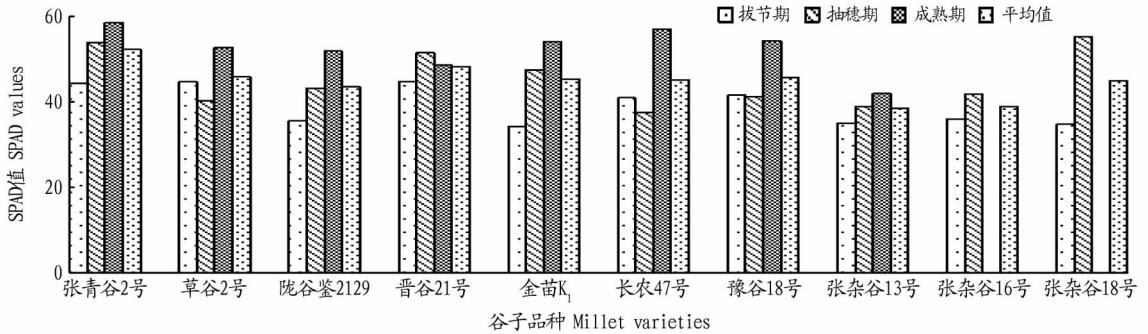


图 4 各生育期不同谷子品种 SPAD 值变化特征

Fig. 4 The characteristics of SPAD values of different millet varieties at different growth stages

表 3 谷子不同品种农艺性状

Table 3 Agronomic traits of different millet varieties

品种 Variety	株高 Plant height cm	穗长 Ear length cm	穗颈长 Ear neck length//cm	穗码数 Panicle size 个	主穗粒重 Main spike grain weight//g	主穗重 Main spike weight//g	单株草重 Single plant grass weight//g	千粒重 1 000-grain weight//g
张青谷 2 号 Zhangqinggu 2	140.8	21.7	21.8	102.0	30.72	21.57	29.21	3.20
草谷 2 号 Caogu 2	152.4	23.1	26.9	96.0	17.75	26.82	42.63	3.20
陇谷鉴 2129 Longgujian 2129	124.4	31.6	21.6	133.0	11.39	19.25	17.56	3.40
晋谷 21 号 Jingu 21	133.3	19.5	21.0	99.0	21.22	30.03	37.10	3.00
金苗 K ₁ Jimiao K ₁	119.6	24.8	24.1	101.0	14.31	21.72	16.15	2.90
长农 47 号 Changnong 47	112.8	18.1	18.8	87.7	14.58	22.56	21.48	3.00
豫谷 18 号 Yugu 18	103.1	19.2	19.5	105.2	16.25	20.05	29.65	3.00
张杂谷 13 号 Zhangzagu 13	116.0	22.7	21.5	106.3	15.37	24.30	14.87	3.00
平均 Average	125.3	22.6	21.9	103.8	17.70	23.29	26.08	3.09

2.7 谷子不同品种产量特性 谷子产量是多个农艺性状和环境条件共同作用的结果,与产量组成相关因素关系复杂,不同地区不同试验点次等因素都会对结果产生影响,结果不尽相同^[12-15]。由表 4 可知,谷子不同品种籽粒产量在 1 133.40~3 626.85 kg/hm²,不同谷子品种籽粒产量表现为:豫谷 18 号>张青谷 2 号>晋谷 21 号>草谷 2 号>金苗 K₁>张杂谷 13 号>陇谷鉴 2129>长农 47 号,张杂谷 16 号和张杂谷 18 号未成熟,因此无产量。8 个谷子品种平均产量为 2 344.73 kg/hm²。谷子产量高于平均值的有豫谷 18 号、张青谷 2 号、晋谷 21 号和草谷 2 号 4 个品种。其中产量高于平均值的品种占 50.0%,低于平均值的占 50.0%。实际测算,饲草型谷子品种鲜草量为:张青谷 2 号 21 598.39 kg/hm²,饲草型籽粒和谷草比例为 1:6.15,草谷 2 号产草量为 29 431.65 kg/hm²,饲草型籽粒和谷草比例为 1:11.8;其他谷子品种的鲜草量按照 1:1.3 折算,谷子产草量为 1 473.42~4 714.91 kg/hm²。

3 讨论与结论

谷子为短日照作物,是比较耐旱的作物,蒸腾系数低于玉米、高粱和小麦。谷子对氮、磷、钾的吸收因地域、品种及产量水平的不同而异,光照、水分和养分等环境因素会对谷

子的资源需求进行重新调配,致使不同谷子品种器官生物量的积累、分配与转移发生适应性变化,最终影响谷子的籽粒产量^[16]。在宁夏扬黄灌区(中部干旱带移民搬迁点)的红寺堡区,笔者通过引进鉴定谷子不同品种的适应性,从中选出适宜的优良品种,丰富当地资源,以期为大面积推广种植提供依据。试验结果表明,陇谷鉴 2129 和晋谷 21 生育期最长(120 d),金苗 K₁ 生育期最短(105 d),谷子各品种生育期相差 15 d。

表 4 不同品种谷子籽粒产量和谷草产量

Table 4 Grain and fresh grass yields of different varieties of millet

单位:kg/hm²

品种 Variety	籽粒产量 Grain yield	谷草产量 Grain and grass yield
张青谷 2 号 Zhangqinggu 2	3 513.45	21 598.39
草谷 2 号 Caogu 2	2 493.45	29 431.65
陇谷鉴 2129 Longgujian 2129	1 246.80	1 620.84
晋谷 21 号 Jingu 21	3 173.55	4 125.62
金苗 K ₁ Jimiao K ₁	2 040.15	2 652.20
长农 47 号 Changnong 47	1 133.40	1 473.42
豫谷 18 号 Yugu 18	3 626.85	4 714.90
张杂谷 13 号 Zhangzagu 13	1 530.15	1 989.20

对谷子生育时期的观测是判断谷子环境适应性的重要途径。在宁夏扬黄灌区(中部干旱带移民搬迁点)引进的 10 个谷子品种中,张杂谷 16 号和张杂谷 18 号不能成熟,其余成熟的 8 个谷子品种均可在该区种植,但谷子不同品种在农艺性状、产量上表现出差异。谷子品种的环境适应性充分体现在器官生物量的分配规律上,尤其是在谷子发育的关键生育期如抽穗期、灌浆期或收获期,叶片、茎秆生物量分配的生育期差异是籽粒产量形成的生物学差异的根本来源^[17]。豫谷 18 号、张青谷 2 号籽粒产量较高,分别为 3 626.85 和 3 513.45 kg/hm²。以养殖业饲草为主要目标,可选择草谷 2 号(饲草型)、张青谷 2 号(饲草型)。综合表现以晋谷 21 号、草谷 2 号(饲草型)较优,更适合在宁夏扬黄灌区(中部干旱带移民搬迁点)种植。

参考文献

- [1] 张艾英,郭二虎,刁现民,等. 2005—2015 年西北春谷中晚熟区谷子育成品种评价[J]. 中国农业科学,2017,50(23):4486—4505.
- [2] 李顺国,刘猛,赵宇,等. 河北省谷子生产现状和技术需求及发展对策[J]. 农业现代化研究,2012,33(3):286—289.
- [3] 赵芳,魏玮,张晓磊,等. 224 个谷子品种农艺性状聚类和相关性分析[J]. 种子,2022,41(1):74—83.
- [4] 刘斌,李书田,王显瑞,等. 谷子主要农艺性状的分析[J]. 种子,2014,33

(5):88—90.

- [5] 刘斐,刘猛,赵宇,等. 河北省山区县域谷子产业发展分析:以武安和蔚县为例[J]. 安徽农业科学,2016,44(5):239—242.
- [6] 朱学海,赵治海. 谷子的生产前景[J]. 张家口农学报,2000,16(2):52.
- [7] 智慧,李伟,陈宝珠,等. 饲草专用谷子饲草产量和品质性状鉴定研究初报[C]//首届全国谷子产业大会文集. [出版地不详]:[出版者不详],2009:159—165.
- [8] 刁现民. 中国谷子产业与未来发展[M]//刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系. 北京:中国农业科学技术出版社,2011:20—30.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [10] 王丹丹,希日格乐,孙宇燕,等. 谷子农艺性状相关性与食味品质分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2015,36(4):29—37.
- [11] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等. 宁南旱区微集水种植条件下谷子边际效应和生理特性的响应[J]. 中国农业科学,2006,39(3):494—501.
- [12] 刘正理,程汝宏,张凤莲,等. 不同密度条件下 3 种类型谷子品种产量及其构成要素变化特征研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):135—138.
- [13] 杨成元. 春谷产量与其相关性状的关联度分析[J]. 杂粮作物,2002,22(5):259—261.
- [14] 黄英杰,张岩. 谷子品种产量及主要产量构成因素稳定性的分析[J]. 作物杂志,2002(5):43—44.
- [15] 赵禹凯,王显瑞,陈高勋,等. 谷子主要农艺性状的相关和通径分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2014,35(2):35—38.
- [16] 张丽娜,李阳,郭志利,等. 不同品种谷子生长发育及光合水分特性研究[J]. 山西农业科学,2013,41(9):911—913.
- [17] 马天乐,章建新. 不同复种方式麦茬夏大豆的干物质积累、产量及经济效益比较[J]. 作物杂志,2018(1):156—159.

(上接第 9 页)

- [15] HLOBEN P. Study on the response time of direct injection systems for variable rate application of herbicides [D]. Bonn: University of Bonn, 2007.
- [16] FROST A R. A pesticide injection metering system for use on agricultural spraying machines[J]. J Agric Eng Res, 1990,46:55—70.
- [17] MOLINA C, HONING M, BARCELO D. Determination of organophosphorus pesticides in water by solid-phase extraction followed by liquid chromatography/high-flow pneumatically assisted electrospray mass spectrometry[J]. Anal Chem, 1994,66(24):4444—4449.
- [18] JUHLER K R. Optimized method for the determination of organophosphorus pesticides in meat and fatty matrices[J]. J Chromatography A, 1997, 786:145—153.
- [19] 韩莹,陈忠林,沈吉敏,等. 高效液相色谱法测定水中痕量偏二甲肼[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(8):34—38.
- [20] 王忠东,关晓晶,王玉田,等. 基于 CCD 器件的农药荧光检测系统的研究[J]. 光学技术,2005,31(5):653—654,658.
- [21] 赵凤芝,王忠东,郑亚娟. 农药荧光光谱检测与分析系统研究[J]. 光学技术,2008,34(1):82—84.
- [22] KOLLER D M, POSCH A, HÖRL G, et al. Continuous quantitative monitoring of powder mixing dynamics by near-infrared spectroscopy[J]. Power Technol, 2011,205(1/2/3):87—96.
- [23] 陈菁菁,彭彦昆,李永玉,等. 基于高光谱荧光技术的叶菜农药残留快速检测[J]. 农业工程学报,2010,26(S2):1—5.
- [24] 殷磊,邱白晶,邓斌,等. 基于漫反射光谱的叶面药液浓度检测方法[J]. 农业工程学报,2012,28(23):154—159.
- [25] 邱白晶,殷磊. 基于近红外光谱技术的叶面药液浓度检测[J]. 农业机械学报,2012,43(9):197—201,208.
- [26] 陈志刚,张启甲,邱白晶,等. 基于酶传感器的农药浓度快速检测装置研究[J]. 农机化研究,2011,33(12):82—85.
- [27] 陈志刚,张启甲,邱白晶,等. 基于酶传感器的农药浓度便携式实时测量装置[J]. 农业机械学报,2011,42(11):178—182.
- [28] 王冲,陈荣. 基于 SOC 单片机的农药浓度快速检测装置研制[J]. 安徽农业科学,2011,39(29):18274—18275,18289.
- [29] 赵燕燕,刘会芳,许鸣华,等. 百草枯中毒的急救与影响预后的因素分析[J]. 中国急救医学,2007,27(8):733—735.

- [30] 王立伟,蔡东林,吴建浩,等. 小型无人直升机喷雾沉积试验研究[J]. 农机化研究,2013,35(5):183—185.
- [31] OZKAN H E, ACKERMAN K D. Instrumentation for measuring mixture variability in sprayer tanks[J]. Appl Eng Agric, 1999,15(1):19—24.
- [32] 赵四海,李文昌,李明,等. 采用检测光学混浊度确定乳化液浓度方法的研究[J]. 煤炭学报,2011,36(1):157—160.
- [33] 徐幼林,郭敬坤,郑加强. 农药在线混合均匀度高速摄影分析[J]. 农业机械学报,2011,42(8):75—79.
- [34] 代祥,徐幼林,宋海潮,等. 混药器混合均匀性分析方法与在线混合变工况试验[J]. 农业机械学报,2018,49(10):172—179.
- [35] DOWNEY D, CROWE T G, GILES D K, et al. Direct nozzle injection of pesticide concentrate into continuous flow for intermittent spray applications[J]. Trans ASABE, 2006,49(4):865—873.
- [36] 徐溪超. 射流混药装置在线混药性能数值模拟与试验研究[D]. 镇江:江苏大学,2010.
- [37] 张娜,李炳炎. 基于激光技术实现液体浓度测量的新方法[J]. 压电与声光,2006,28(2):240—242,245.
- [38] 张娜,李秀媛. 基于 8031 单片机的智能化液体浓度测量系统的研究[J]. 电子器件,2006,29(1):227—230.
- [39] 田晓华,常彦琴,沈涛,等. 基于光折射法的牛乳乳糖测试技术研究[J]. 科技信息,2011(5):466—467.
- [40] 邱白晶,贾方闻,邓斌,等. 混药质量浓度在线检测装置[J]. 农业机械学报,2014,45(2):99—104.
- [41] VONDRICKA J, LAMMERS P S. Measurement of mixture homogeneity in direct injection systems[J]. Transactions of the ASABE, 2009,52(1):61—66.
- [42] 贾卫东,陈志刚,赵鑫,等. 基于农药光透性的混药比反馈在线混药装置[J]. 农业机械学报,2013,44(8):90—93,164.
- [43] 董晓娅,杨亚飞,邱白晶,等. 便携式混药浓度在线检测装置的设计[J]. 中国农机化学报,2014,35(6):94—98.
- [44] 杨亚飞,崔勇,陶德清,等. 混药浓度在线检测装置的设计与实验研究[J]. 中国农机化学报,2015,36(6):112—115.
- [45] 杨亚飞,王国强,翟旭军,等. 基于线性 CCD 混药浓度在线检测装置性能试验研究[J]. 中国农机化学报,2019,40(10):142—146.
- [46] 胡静涛,韦飞,时佳,等. 基于光透射法的药液浓度在线检测装置研制[J]. 农机化研究,2022,44(11):31—36.