

不同菊芋品种块茎和根系分布特征分析

吴利晓, 曹少娜, 关耀兵, 王 斐, 王克雄

(宁夏农林科学院固原分院 宁夏固原 756000)

摘要:为探究不同菊芋品种块茎和根系分布规律,以红白7个菊芋品种为试验材料进行极稀种植,通过半径取样调查研究的方法,分析了不同菊芋品种块茎和根系分布特征。结果表明,不同品种间的块茎数量和根系质量无显著相关性,块茎数量、根系质量与块茎质量均呈正相关;不同品种块茎的区域分布规律不同,菊芋1号和菊芋3号单位面积块茎数量随着距离根系中心半径的增加呈下降的趋势,菊芋2号、菊芋4号、菊芋5号、菊芋6号和菊芋7号品种单位面积块茎数量随着距离根系中心半径的增加呈先下降后上升再下降的趋势;一年拓展距离中心半径均<80 cm的品种为菊芋3号、菊芋5号和菊芋6号,一年拓展距离中心半径达100 cm的品种为菊芋1号、菊芋2号、菊芋4号和菊芋7号。菊芋5号单株块茎质量最大,为12 980.27 g·株⁻¹;菊芋6号块茎分布最集中,为0~40 cm;菊芋4号块茎拓展距离远、块茎数量多,块茎数量达415.67个·株⁻¹。

关键词:菊芋;品种;块茎;根系;分布

中图分类号:S632.9

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)10-096-08

Analysis of tuber and root distribution characteristics of different Jerusalem artichoke cultivars

WU Lixiao, CAO Shaona, GUAN Yaobing, WANG Fei, WANG Kexiong

(Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Guyuan 756000, Ningxia, China)

Abstract: In order to study the distribution of tubers and roots of different Jerusalem artichoke varieties, 7 red and white Jerusalem artichoke varieties were planted in very sparse planting. The distribution characteristics of tubers and roots of different Jerusalem artichoke varieties were analyzed by means of radius sampling. The results showed that there was no significant correlation between tuber number and root quality, but there was a positive correlation between tuber number, root quality and tuber quality, the number of tubers per unit area of Jerusalem Artichoke 1 and Jerusalem artichoke 3 decreased with the increase of the distance from the center radius of root system, the number of tubers per unit area of Jerusalem Artichoke 2, Jerusalem Artichoke 4, Jerusalem Artichoke 5, Jerusalem artichoke 6 and Jerusalem artichoke 7 decreased firstly, then increased and then decreased with the increase of the distance from root center radius Jerusalem artichoke 3, Jerusalem artichoke 5 and Jerusalem artichoke 6 were all less than 80 cm away from the center in one year, Jerusalem artichoke 1, Jerusalem Artichoke 2, Jerusalem artichoke 4 and Jerusalem artichoke 7 were the cultivars with a distance of 100 cm. The highest tuber weight per plant of Jerusalem artichoke 5 was 12 980.27 g, and the tuber distribution of Jerusalem artichoke 6 was 0~40 cm, the number of tubers per plant was 415.67.

Key words: Jerusalem artichoke; Variety; Tuber; Root system; Distribution

菊芋(*Helianthus tuberosus* Linn.)俗称鬼子姜或洋姜^[1],近些年来逐渐成为具有重要开发价值的经济作物^[2],发展潜力越来越大。在20世纪50—60年代,菊芋曾被我国某些地区广泛种植,用于缓解粮食短缺问题^[3]。随着我国居民温饱问题的解决,其功能开发利用越来越多样化,可作为传统酱菜的制作原料^[4-6],可提炼菊糖或菊粉用于保健医药等方面^[7],可作为发酵制作工业乙醇、丁醇、丁二醇、丁酸

等的非粮能源植物^[8-9],可作为地区改造荒山的生态植物,还可用于青贮饲料的制作原料^[10-11]等方面。菊芋具有耐旱、耐贫瘠、耐盐碱、生长生物量大、根系拓展繁殖快等特点^[12-14],根系是植物从环境中吸收水分和营养物质的重要器官^[15],关系到作物生长发育、产量和品质的形成^[16-17],反映了其适应环境的能力和生态策略^[18-19]。

近些年来,菊芋在我国发展迅速,其开发潜力

收稿日期:2023-03-03;修回日期:2023-07-23

基金项目:固原市科技研发项目(2021GYKYF030)

作者简介:吴利晓,男,助理研究员,主要从事作物高产理论研究。E-mail:Lixiaowalan@163.com

较大、应用领域广泛^[20]。菊芋是地下茎膨大的植物,通常由块茎繁殖^[21];隋华等^[22]研究发现,不同类型的土壤对菊芋生长和品质都有影响,黏重土壤中的块茎鲜质量高于砂壤土,有关其根系和块茎分布的研究较少。笔者在大田极度稀植条件下,通过测定不同菊芋品种块茎和根系水平分布区域内块茎生物量、个数和根系生物量等指标,探讨菊芋块茎与根系田间自然分布规律,为菊芋多功能开发、品种分类和栽培等合理利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2022年3月22日至10月30日在宁夏农林科学院固原分院头营基地进行。头营试验

基地属于温带干旱区,昼夜温差大;土壤类型属于湘黄土,碱解氮含量(N)(w,下同)26.5 mg·kg⁻¹,有效磷含量(P₂O₅)25.0 mg·kg⁻¹,速效钾含量(K₂O)65.2 mg·kg⁻¹,EC值252.3 μS·cm⁻¹,有机质含量6.51 g·kg⁻¹,pH为8.8。

1.2 材料

选用7个菊芋农家品种,其类型、品种特征及来源如表1所示。

1.3 试验设计

试验采用完全随机区组试验设计,每个品种选取整块菊芋块茎,种植7行9列,共63株,每个品种按2.5 m×2.5 m规格种植,3次重复。待土壤解冻后开始种植,将块茎的细芽朝上放入,种植深度5~10 cm,出苗后实施正常的田间除草、灌水等管理措施。

表1 供试菊芋品种

Table 1 Varieties of Jerusalem artichoke tested

品种	类型	来源	品种特征	块茎图片	茎叶图片
菊芋1号	红皮	宁夏隆德观庄	块茎芽点露白,紫红果皮,棒形果		
菊芋2号	红皮	宁夏隆德观庄	块茎芽点紫红,红果皮略带紫芽点,近球形果		
菊芋3号	红皮	陕西靖边	块茎芽点白色,红果皮略带白,不规则瘤状果		
菊芋4号	红皮	河北沧州	块茎芽点白色,紫红果皮略带白,纺锤形果		
菊芋5号	白皮	陕西靖边	块茎芽点白色,白果皮,不规则瘤状果		
菊芋6号	白皮	河南开封	块茎芽点白色,白果皮,不规则瘤状果		
菊芋7号	红皮	宁夏固原头营	块茎芽点微红色,微红果皮,楔形果		

1.4 施肥情况

基肥:心连心复合肥料(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15,总养分含量≥45%,40 kg·袋⁻¹)35 kg·667 m²,美国嘉吉二铵(N:P₂O₅:K₂O=18:46:0,二铵总养分含量≥64%,50 kg·袋⁻¹)28 kg·667 m²;苗期和始花期各追肥1次,每次距中心40 cm远处环施心连心复合肥料0.15 kg·株⁻¹。

1.5 试验指标测定

1.5.1 取样方法 以菊芋茎秆根部为圆心,作10、

20、30、40、50、60、70、80、90、100 cm的同心圆。相邻两个圆弧所组成的圆环为一个取样区,每株包括10个取样区域,取样垂直深度为70 cm。分别对各个圆环内菊芋的地上部、根系和块茎进行样品采集,用清水洗净,擦去表面水分,待块茎和根系表面水分全干后,称取质量。

1.5.2 相关计算 参考高凯等^[23]有关根系密度、块茎密度、产量贡献率和单位面积块茎数量等的计算方法,为尽可能地接近菊芋块茎在土壤

中的生长状态,采用鲜质量计算各项指标。具体计算如下:

根系密度=取样区根系质量/取样面积;

块茎密度=取样区块茎质量/取样面积;

产量贡献率/%=取样区域块茎质量/总块茎质量×100。

单位面积块茎数量=取样区块茎数量/取样区面积,块茎直径≥1 cm 计入统计,整块被环切的依据直径大小赋值(块茎数量=该块直径长度/整块直径长度)。

1.6 数据处理

采用 Microsoft office Professional Plus 2013 和 SAS 8.2 数据统计软件进行方差分析和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同菊芋品种块茎数量差异

由表 2 可知,单位面积(单个取样区)块茎数量随着距离根系中心半径的增加呈逐渐下降的趋势,这种规律性最强的品种是菊芋 1 号和菊芋 3 号,菊芋 2 号、菊芋 4 号、菊芋 5 号、菊芋 6 号和菊芋 7 号品种单位面积块茎数量随着距离根系中心半径的增加呈先下降后上升再下降的趋势,仅菊芋 2 号在 30~40 cm 处单位面积块茎数量超过了 0~10 cm。不同品种单位面积块茎数量在各自主要分布区域特征不同,其中菊芋 4 号和菊芋 1 号品种块茎数量最多,达 367.68、344.45 个·m²,其次,菊芋 6 号和菊芋 5 号块茎数量分别为 283.82、261.82 个·m²,菊芋

表 2 不同菊芋品种块茎数量区域分布

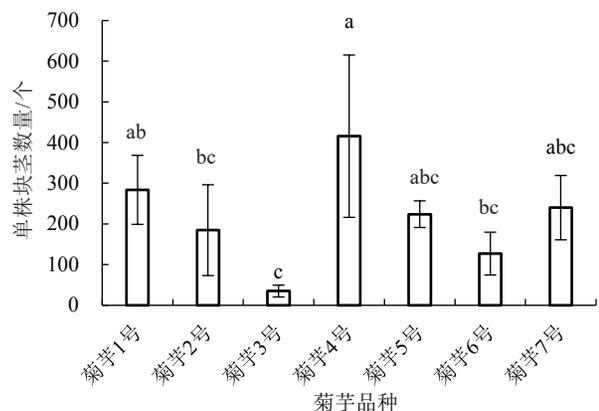
Table 2 Regional distribution of tuber quantity of different Jerusalem artichoke varieties (个·m²)

半径/cm	菊芋 1 号	菊芋 2 号	菊芋 3 号	菊芋 4 号	菊芋 5 号	菊芋 6 号	菊芋 7 号
0~10	1 018.59±385.93 a	137.93±102.32 ab	212.21±80.11 a	1 103.47±637.68 a	838.22±143.53 a	774.55±403.05 a	265.26±111.79 a
10~20	534.05±193.43 b	120.25±88.98 ab	116.71±48.62 b	488.08±287.07 b	190.99±31.83 cd	190.99±97.25 bc	176.84±74.52 ab
20~30	305.58±112.63 bc	87.00±62.81 ab	36.08±16.02 c	502.93±296.49 b	322.55±57.41 b	256.35±126.98 b	120.96±48.06 bc
30~40	297.09±108.22 bcd	180.68±135.46 a	19.70±6.95 c	324.37±191.27 bc	269.81±50.29 bc	181.89±92.30 bc	100.04±38.85 bcd
40~50	178.02±64.48 cde	121.08±88.35 ab	24.76±10.61 c	259.36±153.93 bc	119.07±21.32 de	15.33±8.90 c	179.20±74.72 ab
50~60	52.09±18.98 de	114.01±84.54 ab	0.96±1.67 c	131.18±76.80 bc	62.70±11.69 ef	0.29±0.29 c	136.01±55.21 bc
60~70	25.71±9.24 e	53.95±40.40 ab	0.00±0.00 c	93.86±55.21 bc	29.38±4.90 cef	0.00±0.00 c	87.33±35.68 bcd
70~80	2.83±1.23 e	12.59±9.35 b	0.00±0.00 c	38.20±22.36 c	4.95±1.23 cf	0.00±0.00 c	60.13±23.47 cd
80~90	13.73±4.71 e	15.92±12.24 b	0.00±0.00 c	9.36±5.62 c	0.00±0.00 f	0.00±0.00 c	17.48±6.58 d
90~100	1.12±0.97 e	9.21±6.54 b	0.00±0.00 c	7.82±4.22 c	0.00±0.00 f	0.00±0.00 c	5.03±1.68 d
主要块茎数量分布区域半径	0~70 cm	0~90 cm	0~50 cm	0~80 cm	0~70 cm	0~50 cm	0~90 cm
主要分布区域内的块茎数量	344.45±127.55 a	93.71±69.35 bc	77.13±30.52 c	367.68±215.09 a	261.82±45.83 abc	283.82±145.68 ab	127.03±52.09 bc

注:各半径条件下同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。末行不同小写字母表示同行数据在 0.05 水平差异显著。表 3、4 同。

3 号块茎数量最少,为 77.13 个·m²。单位面积块茎数量区域分布范围达 0~100 cm 的品种为菊芋 1 号、菊芋 2 号、菊芋 4 号和菊芋 7 号,按≥15 个·m² 计入块茎数量主要分布范围,其块茎数量主要分布区域半径分别为 0~70、0~90、0~80 和 0~90 cm;菊芋 3 号、菊芋 5 号和菊芋 6 号品种分布范围分别为 0~60、0~80 和 0~60 cm,按≥15 个·m² 计入块茎数量主要分布范围,其块茎数量主要分布区域半径分别为 0~50、0~70 和 0~50 cm。

由图 1 可知,不同菊芋品种单株块茎数量范围为 35.00~415.67 个,平均单株块茎数量为 215.74 个,菊芋 4 号单株块茎数量最多,为 415.67 个,菊芋 3 号块茎数量最少,为 35.00 个,不同菊芋品



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同菊芋品种单株块茎数量

Fig. 1 Number of tubers per plant of different Jerusalem artichoke varieties

种单株块茎数量相差较大,最大相差达 380.67 个。

2.2 不同菊芋品种块茎密度差异

由表 3 可知,菊芋 3 号、菊芋 4 号和菊芋 5 号块茎密度随着距离根系中心半径的增加呈逐渐下降的趋势,菊芋 1 号和菊芋 6 号块茎密度随着距离根系中心半径的增加呈先下降后上升再下降的趋势;菊芋 2 号和菊芋 7 号在主要分布区域内块茎密度分布较为均匀。在块茎密度区域分布范围方面,菊芋 1 号、菊芋 2 号、菊芋 4 号和菊芋 7 号分布范围均为 0~100 cm,按 $\geq 500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 计入块茎密度主要分布范围,其块茎密度主要分布范围分别为 0~70 cm、0~70 cm、0~80 cm 和 0~90 cm;菊芋 3 号、菊芋 5 号和菊芋 6 号分布范围分别为 0~60 cm、0~80 cm 和 0~60 cm,按 $\geq 500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 计入块茎密度主要分布范围,其块茎密度主要分布范围分别为 0~60 cm、0~80 cm 和 0~50 cm。分布区域内 1~7 号菊芋的块茎密度平均为 4 541.11、2 161.68、7 241.98、5 190.38、12 415.65、17 176.60、3 644.08 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。1~7 号菊芋主要分布区域内块茎密度平均为 6 422.59、2 929.68、7 241.98、6 403.18、12 415.65、20 605.15、4 027.32 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,菊芋 6 号块茎密度最大,菊芋 2 号块茎密度最小。

2.3 不同菊芋品种根系密度差异

由表 4 可知,菊芋 1 号、菊芋 5 号和菊芋 6 号根系密度随着距离根系中心半径的增加呈逐渐下降的趋势,菊芋 3 号、菊芋 4 号和菊芋 7 号根系密度随着距离根系中心半径的增加呈先下降后上升再下降的趋势;菊芋 2 号根系密度随着距离根系中心半径的增加呈先下降后在主要分布区域内均匀分布再下降的趋势。在根系密度区域分布范围方面,菊芋 1 号、菊芋 2 号、菊芋 4 号、菊芋 5 号和菊芋 7 号分布范围达 0~100 cm,按 $\geq 35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 计入根系密度主要分布范围,其根系密度主要分布范围分别为 0~60 cm、0~60 cm、0~70 cm、0~80 cm 和 0~90 cm;菊芋 3 号和菊芋 6 号根系密度分布范围均为 0~60 cm,按 $\geq 35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 计入根系密度主要分布范围,其主要根系密度分布范围分别为 0~30 cm 和 0~40 cm。分布区域内菊芋 1~7 号的根系密度平均为 1 046.57、816.93、1 747.23、1 094.92、1 865.02、2 816.04、1 118.99 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$;主要根系密度分布区域内菊芋 1~7 号的根系密度平均为 1 741.13、1 352.33、3 484.62、1 558.37、2 328.20、4 212.28、1 242.06 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,根系密度主要分布区内菊芋 6 号根系密度最大,菊芋 7 号根系密度最小。

表 3 不同菊芋品种块茎密度分布

半径/cm	Table 3 Distribution of tuber density of different Jerusalem artichoke varieties ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)						
	菊芋 1 号	菊芋 2 号	菊芋 3 号	菊芋 4 号	菊芋 5 号	菊芋 6 号	菊芋 7 号
0~10	13 175.91±3 510.07 a	3 030.31±1 652.07 a	16 794.03±4 407.82 a	17 844.4±8 527.77 a	37 582.85±4 469.58 a	59 943.06±35 140.97 a	5 764.59±2 392.67 ab
10~20	10 126.85±2 697.91 b	3 382.93±1 842.14 a	9 283.68±2 436.28 b	7 174.70±3 428.59 b	19 215.66±2 285.18 b	10 272.57±6 020.56 b	5 856.90±2 430.35 ab
20~30	6 732.04±1 793.52 c	2 661.50±1 450.37 ab	7 900.88±2 073.32 b	6 817.14±3 257.85 b	15 281.85±1 817.42 c	19 236.53±11 276.89 b	5 157.68±2 140.52 abc
30~40	7 149.39±1 904.83 c	2 233.78±1 216.95 abc	6 603.26±1 733.03 b	5 965.58±2 850.87 bc	12 688.74±1 509.02 c	12 710.87±7 451.53 b	3 145.66±1 305.38 bcd
40~50	5 602.02±1 492.53 c	3 650.42±1 989.38 a	2 155.67±565.74 c	5 660.73±2 705.32 bc	7 081.22±842.09 d	862.74±505.81 b	6 344.15±2 632.70 a
50~60	1 492.97±397.81 d	3 819.53±2 081.50 a	714.36±187.43 c	3 549.16±1 696.02 bc	4 653.69±553.46 de	33.86±19.96 b	4 891.17±2 029.71 abc
60~70	678.98±180.90 d	1 729.32±942.48 abc	0.00±0.00 c	2 826.43±1 350.67 bc	2 262.29±269.01 ef	0.00±0.00 b	2 512.44±1 042.59 cd
70~80	129.02±34.32 d	380.98±207.71 bc	0.00±0.00 c	1 387.27±662.96 bc	558.88±66.48 f	0.00±0.00 b	1 862.75±773.04 d
80~90	272.75±72.71 d	559.91±305.12 bc	0.00±0.00 c	478.59±228.74 c	0.00±0.00 f	0.00±0.00 b	710.52±294.88 d
90~100	51.21±13.67 d	168.15±91.64 c	0.00±0.00 c	199.75±95.48 c	0.00±0.00 f	0.00±0.00 b	194.90±80.85 d
主要块茎密度分布区域半径	0~70 cm	0~70 cm	0~60 cm	0~80 cm	0~80 cm	0~50 cm	0~90 cm
主要分布区域内的块茎密度	6 422.59±1 711.08 bc	2 929.68±1 596.41 c	7 241.98±1 900.60 bc	6 403.18±3 060.01 bc	12 415.65±1 476.53 ab	20 605.15±12 079.15 a	4 027.32±1 671.32 bc

表4 不同菊芋品种根系密度

半径/cm	(g·m ⁻²)						
	菊芋1号	菊芋2号	菊芋3号	菊芋4号	菊芋5号	菊芋6号	菊芋7号
0~10	8 580.57±2 285.40 a	6 927.48±3 125.03 a	10 284.59±3 367.45 a	7 501.50±2 091.68 a	15 516.55±5 352.36 a	15 720.26±4 309.70 a	9 258.57±3 847.64 a
10~20	898.69±239.31 b	240.50±108.50 b	131.92±43.83 b	2 042.49±569.45 b	1 138.84±392.98 b	645.82±176.79 b	647.58±269.03 b
20~30	475.98±126.98 b	246.37±111.30 b	37.35±12.32 b	600.33±167.51 c	998.64±344.53 b	387.70±106.43 b	362.66±150.59 b
30~40	333.32±88.87 b	206.75±93.25 b	3.94±1.31 b	298.00±83.06 c	449.57±155.07 b	95.34±26.18 b	237.97±98.70 b
40~50	116.83±31.22 b	337.41±152.27 b	20.75±6.84 b	146.42±40.85 c	256.18±88.46 b	28.53±7.70 b	324.09±134.78 b
50~60	41.38±11.08 b	155.49±70.26 b	4.82±1.59 b	94.24±26.31 c	192.92±66.53 b	18.62±5.10 b	127.13±52.82 b
60~70	8.90±2.38 b	20.40±9.27 b	0.00±0.00 b	225.59±62.80 c	36.16±12.49 b	0.00±0.00 b	132.55±55.10 b
70~80	4.74±1.30 b	26.67±12.04 b	0.00±0.00 b	8.42±2.34 c	36.71±12.65 b	0.00±0.00 b	38.41±15.92 b
80~90	4.93±1.33 b	5.12±2.31 b	0.00±0.00 b	7.55±2.17 c	15.54±5.40 b	0.00±0.00 b	49.56±20.60 b
90~100	0.39±0.10 b	3.13±1.44 b	0.00±0.00 b	24.68±6.89 c	9.05±3.13 b	0.00±0.00 b	11.34±4.69 b
主要根系密度分布区域半径	0~60 cm	0~60 cm	0~30 cm	0~70 cm	0~80 cm	0~40 cm	0~90 cm
主要分布区域内的根系密度	1 741.13±463.81 c	1 352.33±610.10 c	3 484.62±1141.20 ab	1 558.37±434.52 c	2 328.20±803.13 bc	4 212.28±1154.78 a	1 242.06±516.13 c

2.4 不同菊芋品种区域平均单块块茎质量和整株平均单块块茎质量差异

由表5和图2可知,不同品种取样区域平均单块块茎质量分布规律不同。菊芋1号区域平均单块块茎质量范围为13.67~47.72 g,波动范围达34.05 g,最大值出现在70~80 cm处,整株平均单块块茎质量为24.46,不同取样区域分布较为均匀;菊芋2号取样区域平均单块块茎质量范围为13.64~39.54 g,波动范围达25.90 g,最大值出现在80~90 cm处,整株平均单块块茎质量为29.48 g,不同区域分布较为均匀;菊芋3号区域平均单块块茎质量范围为88.66~356.79 g,波动范围达268.13 g,最大值出现在30~40 cm处,整株为161.85 g,不同区域分布相差较大;菊芋4号区域平均单块块茎质量范围为14.43~54.59 g,波动范围达40.16 g,最大值出现在80~90 cm处,整株平均单块块茎质量为22.06 g,不同区域分布较为均匀;菊芋5号区域平均单块块茎质量范围为45.17~116.01 g,波动范围达70.84 g,最大值出现在70~80 cm处,整株平均单块块茎质量为58.46 g,不同区域分布相差较大;菊芋6号区域平均单块块茎质量范围为41.33~76.49 g,波动范围达35.16 g,最大值出现在0~10 cm处,整株平均单块块茎质量为68.88 g,主要分布区域相差较小;菊芋7号区域平均单块块茎质量范围为27.58~52.71 g,波动范围达25.13 g,最大值出现在20~30 cm处,整株平均单块块茎质量为42.16 g,不同区域分布较为均匀;整株单块平均块茎质量最大的是菊芋3号,达160.00 g以上,菊芋1号、菊芋2号和菊芋4号整株单块平均块茎质量小于30.00 g。

2.5 不同菊芋品种单株块茎质量和单株根系质量差异

由图3可知,不同菊芋品种单株块茎质量范围为4 952.13~12 980.27 g,平均单株块茎质量为7 882.49 g,菊芋5号单株块茎质量最大,明显高于其他品种;菊芋3号单株块茎质量最低。不同菊芋品种单株块茎质量相差较大,最大相差达8 028.14 g。

由图4可知,不同菊芋品种单株根系质量范围为349.80~1 035.40 g,平均单株块茎质量为653.27 g,菊芋5号单株根系质量最大,菊芋3号单株根系质量最小。不同菊芋品种单株根系质量相差较大,最大相差达685.6 g。

2.6 产量贡献率

由图5可知,多数品种产量贡献率随着距离根

表5 不同菊芋品种区域平均单块块茎质量

Table 5 Average tuber mass of different Jerusalem artichoke varieties g

半径/cm	菊芋 1 号	菊芋 2 号	菊芋 3 号	菊芋 4 号	菊芋 5 号	菊芋 6 号	菊芋 7 号
0~10	13.67±4.23 c	24.50±6.49 bc	88.66±46.05 b	17.07±3.69 ef	45.17±3.93 d	76.49±8.06 a	27.58±21.73 a
10~20	19.86±5.70 bc	30.75±5.50 ab	92.92±55.21 b	15.64±3.43 ef	101.27±7.85 a	52.80±4.98 ab	42.04±33.12 a
20~30	23.16±6.90 bc	33.27±6.35 ab	259.38±159.24 a	14.43±3.21 f	47.78±4.37 d	73.34±7.53 a	52.71±39.72 a
30~40	25.23±7.30 bc	13.64±2.80 c	356.79±139.77 a	19.57±4.36 def	47.51±4.80 d	68.66±7.05 a	38.65±28.98 a
40~50	32.96±9.46 ab	32.81±5.83 ab	99.67±54.91 b	23.25±5.37 cdef	60.00±5.72 cd	57.69±9.60 ab	44.55±34.46 a
50~60	30.12±9.01 b	36.79±7.32 a	100.57±174.19 b	28.70±6.33 bcd	74.99±7.90 bc	41.33±46.70 b	44.94±34.60 a
60~70	27.74±8.35 bc	35.39±7.42 ab	0.00±0.00 b	32.04±7.03 bc	77.50±6.01 b	0.00±0.00 c	35.99±27.69 a
70~80	47.72±8.96 a	33.26±6.69 ab	0.00±0.00 b	38.61±8.22 b	116.01±23.28 a	0.00±0.00 c	38.13±28.62 a
80~90	20.72±5.90 bc	39.54±9.82 a	0.00±0.00 b	54.59±13.39 a	0.00±0.00 e	0.00±0.00 c	49.59±36.93 a
90~100	21.00±19.87 bc	19.62±3.04 c	0.00±0.00 b	26.35±4.82 cde	0.00±0.00 e	0.00±0.00 c	46.05±33.38 a

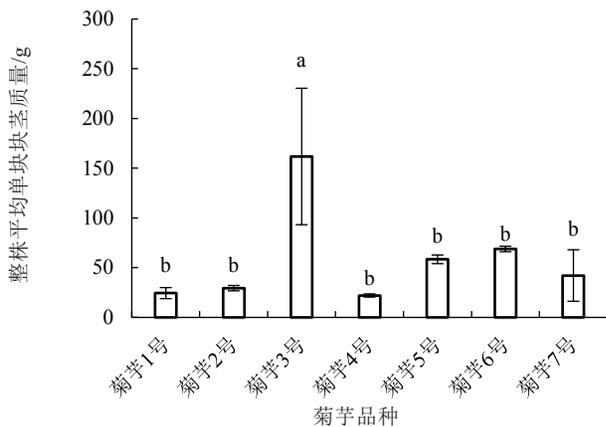


图2 不同菊芋品种整株平均单块块茎质量
Fig. 2 Average tuber mass of whole plant of different Jerusalem artichoke varieties

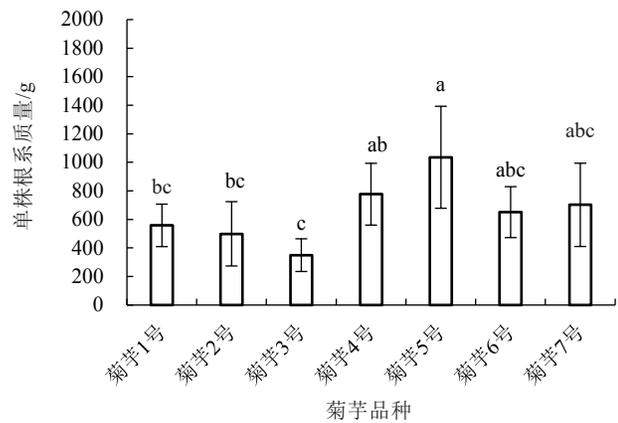


图4 不同菊芋品种单株根系质量
Fig. 4 Root mass per plant of different Jerusalem artichoke varieties

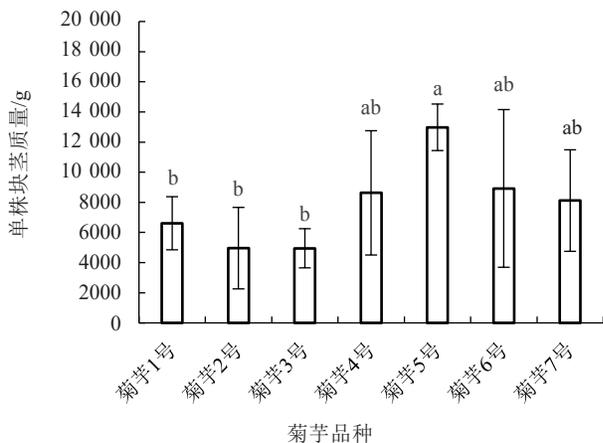


图3 不同菊芋品种单株块茎质量
Fig. 3 Tuber mass per plant of different Jerusalem artichoke varieties

系中心半径的增加呈先上升后下降的趋势,仅菊芋6号0~10 cm的产量贡献率大于10~20 cm区域的产量贡献率。按≥10%的产量贡献率计入主要产量贡献区域:菊芋1号主要产量贡献区域为10~50 cm,主要分布区域半径40 cm,贡

献率达78.15%;菊芋2号主要产量贡献区域为40~70 cm,主要分布区域半径30 cm,贡献率达61.66%;菊芋3号主要产量贡献区域为0~50 cm,主要分布区域半径50 cm,贡献率达95.01%;菊芋4号主要产量贡献区域为20~70 cm,主要分布区域半径50 cm,贡献率达73.75%;菊芋5号主要产量贡献区域为10~60 cm,主要分布区域半径50 cm,贡献率达81.75%;菊芋6号主要产量贡献区域为0~40 cm,主要分布区域半径40 cm,贡献率达97.13%;菊芋7号主要产量贡献区域为40~80 cm,主要分布区域半径40 cm,贡献率达66.36%。菊芋6号是7个菊芋品种中地下块茎质量主要分布区域距离根系中心最集中的品种。90~100 cm区域内,菊芋2号产量贡献率最大,为2.02%;其次是菊芋7号和菊芋4号,产量贡献率分别为1.43%和1.38%;再次是菊芋1号,为0.46%。

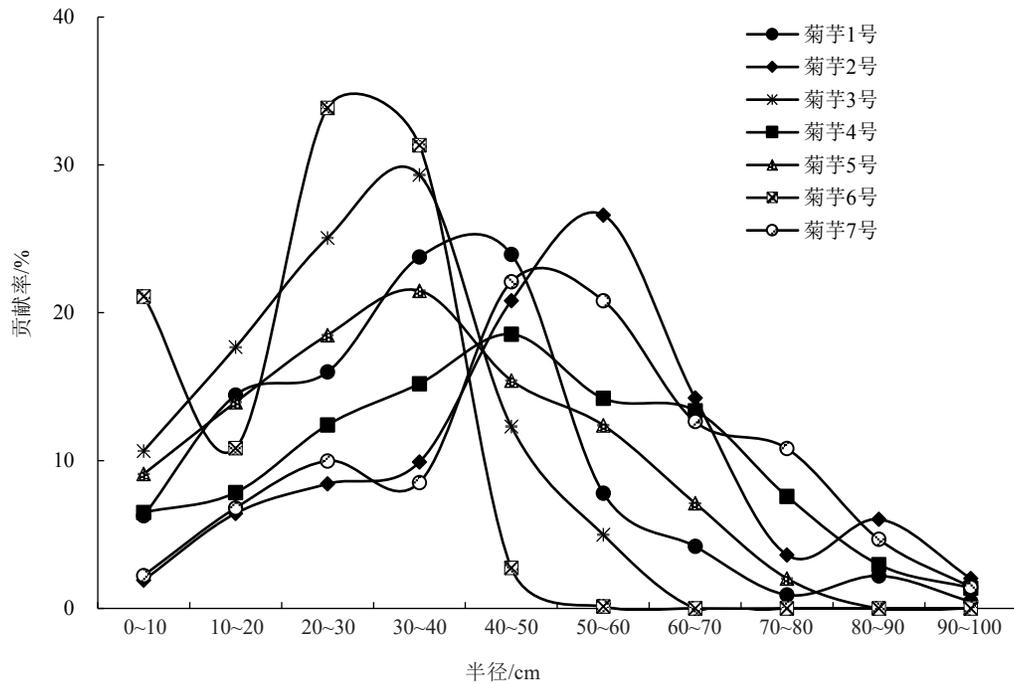


图5 不同菊芋品种块茎产量贡献率

Fig. 5 Contribution rate of tuber yield of different Jerusalem artichoke varieties

2.7 块茎数量、根系质量和块茎质量的相关关系

由表6可知,块茎数量与根系质量呈正相关的品种有菊芋1号、菊芋2号、菊芋3号、菊芋4号和菊芋5号,呈负相关的品种有菊芋6号和菊芋7号,但差异均不显著。菊芋1~6号块茎数量和块茎质量均呈正相关,菊芋2号达到了显著正相关,相关系数为0.9984;仅菊芋7号呈负相关,未达到显著水平。根系质量与块茎质量呈正相关的品种有菊芋1号、菊芋2号、菊芋3号、菊芋4号和菊芋7号,菊芋1号和菊芋7号呈极显著正相关,相关系数均为1.0000;呈显著相关的品种为菊芋4号,相关系数为

0.9996;根系质量与块茎质量呈负相关的品种有菊芋5号和菊芋6号,相关性不显著。综合分析,7个菊芋品种的块茎数量和根系质量无显著相关性,大多数品种块茎数量、根系质量均与块茎质量存在正相关性。

3 讨论与结论

菊芋作为以地下部块茎为主要收获对象的作物之一,块茎质量和根系质量对产量至关重要。本试验地土壤类型为湘黄土,偏碱性,土壤黏性偏重,田间种植后未进行培土,保持了菊芋田间自然生长状态。菊芋块茎主要分布在0~20cm的耕作层,再往下挖掘几乎没有块茎分布,较戴立勋等^[24]研究的菊芋块茎结芋深度25~55cm略浅,可能与土壤类型和起垄培土作业有关。研究发现,不同菊芋品种块茎数量、区域分布半径、块茎密度、区域平均单块块茎质量、整株单块块茎平均质量和根系密度有随距离根系中心半径的增加而降低的趋势,但未达到 $y=Ax^{-b}$ 型幂函数关系,与高凯等^[23]的研究结果不完全一致,这可能与采用鲜质量计算及菊芋本身的品种特性有关。在2.5m×2.5m极稀种植条件,换算出种植的菊芋5号产量达20778.75kg·hm⁻²,较王改改等^[25]种植0.5m×0.5m规格的定芋2号产量降低了50%,说明菊芋地下块茎繁殖速度较快,与每年以20倍的速度繁殖扩张接近^[26],进一步印证了其

表6 不同菊芋品种块茎数量、根系质量和块茎质量间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients among tuber quantity, root mass and tuber mass of different Jerusalem artichoke varieties

品种	块茎数量与根系质量	块茎数量与块茎质量	根系质量与块茎质量
菊芋1号	0.7667	0.7668	1.0000**
菊芋2号	0.9748	0.9984*	0.9608
菊芋3号	0.8172	0.2372	0.7537
菊芋4号	0.8557	0.8693	0.9996*
菊芋5号	0.4489	0.8318	-0.1227
菊芋6号	-0.4132	0.9893	-0.5418
菊芋7号	-0.9929	-0.9928	1.0000**

注:*表示在0.05水平差异显著,**表示在0.01水平差异极显著。

在荒山改造中的生态修复作用。

通过相关性分析,7个品种的块茎数量和根系质量无显著相关性,大多数品种块茎数量和根系质量均与块茎质量存在一定的正相关性,与高凯等^[23]研究一致,说明促进菊芋根系生长对提高其块茎产量具有积极的作用,然而块茎数量更多由品种特性决定。不同菊芋品种的块茎区域分布规律不同,菊芋地下块茎自然生长1年最远拓展距离半径为100 cm,应根据当地土壤类型、气候环境和用途等选择合适的菊芋品种和种植方式。按 ≥ 15 个 $\cdot\text{m}^2$ 计入块茎数量主要分布范围、按 ≥ 500 g $\cdot\text{m}^2$ 计入块茎密度主要分布范围和按 $\geq 10\%$ 的产量贡献率计入主要产量贡献区域是笔者首次提出,通过块茎数量和块茎密度确定块茎的主要分布范围,7个品种中有4个品种确定的主要分布范围完全相同,其他品种确定的主要分布范围仅相差10~20 cm。

综上所述,通过块茎数量、块茎密度和产量贡献率三种因素区域范围的交集,确定菊芋块茎主要分布半径10~50 cm(菊芋1号)、40~70 cm(菊芋2号)、0~50 cm(菊芋3号)、20~70 cm(菊芋4号)、10~60 cm(菊芋5号)、0~40 cm(菊芋6号)和40~80 cm(菊芋7号);在根系密度区域分布范围方面,按 ≥ 35 g $\cdot\text{m}^2$ 计入根系密度主要分布范围0~60 cm(菊芋1号)、0~60 cm(菊芋2号)、0~30 cm(菊芋3号)、0~70 cm(菊芋4号)、0~80 cm(菊芋5号)、0~40 cm(菊芋6号)和0~90 cm(菊芋7号)。本研究根系区域范围略大于块茎分布范围,较为接近菊芋大田的生长状态,根据块茎主要分布范围,可以推测各品种的理论栽培密度,对菊芋品种分类、掌握菊芋田间生长规律和模拟菊芋田间生长状态具有一定的参考意义,但并不能完全确定其种植密度,在菊芋种植时,还应考虑土壤类型、土壤肥力和气候环境等因素。

参考文献

- [1] 赵孟良,刘明池,钟启文,等.不同来源菊芋种质资源品质性状多样性分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(2):104-112.
- [2] 赵孟良,赵文菊,郭怡婷,等.干旱胁迫及复水对菊芋生长及叶片光合和生理特性的影响[J].植物资源与环境学报,2019,28(4):49-57.
- [3] 吕世奇.半干旱区非粮能源植物菊芋高产形成机制及丰产栽培措施研究[D].兰州:兰州大学,2019.
- [4] 梁山.腌制酱菜高档佳蔬:菊芋[J].农技服务,1996(4):28.
- [5] 刘冰,任翠梅,杨丽,等.酱菜型菊芋栽培技术研究[J].黑龙江农业科学,2016(11):106-108.
- [6] 张艳.菊芋传统腌制工程中品质变化的研究[D].重庆:西南大学,2009.
- [7] 田敏,宗爱珍,刘丽娜.菊芋菊糖的特性及应用研究进展[J].粮食与油脂,2022,35(7):14-16.
- [8] SARCHAMI T, REHMANN L. Optimizing enzymatic hydrolysis of inulin from Jerusalem artichoke tubers for fermentative butanol production[J]. Biomass and Bioenergy, 2014, 69: 175-182.
- [9] QIU Y B, SHA Y Y, ZHANG Y T, et al. Development of Jerusalem artichoke resource for efficient one-step fermentation of poly-(γ -glutamic acid) using a novel strain *Bacillus amyloliquefaciens* NX-2S[J]. Bioresource Technology, 2017, 239: 197-203.
- [10] 晓敏,弓剑.菊芋资源在反刍动物饲料中的应用现状[J].中国饲料,2022(17):117-122.
- [11] 刘巧玲,赵芳芳,马晓蕾,等.添加乳酸菌对营养期菊芋茎叶青贮发酵品质动态变化的影响[J].草原与草坪,2022,42(2):34-41.
- [12] 马玉明,龙锋.我国东部沙地菊芋生长的调查研究[J].中国草地,2001,23(6):42-44.
- [13] 孔涛,吴祥云,刘玲玲,等.风沙地菊芋的主要生态学特性[J].生态学杂志,2009,28(9):1763-1766.
- [14] 高会玲,刘金隆,郑青松,等.外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应[J].生态学报,2013,33(6):1935-1943.
- [15] 单立山,李毅,任伟,等.河西走廊中部两种荒漠植物根系构型特征[J].应用生态学报,2013,24(1):25-31.
- [16] 向小亮,宁书菊,魏道智.根系的研究进展[J].中国农学通报,2009,25(17):105-112.
- [17] 叶超,郭忠录,蔡崇法,等.5种草本植物根系理化特性及其相关性[J].草业科学,2017,34(3):598-606.
- [18] ZHANG K, TIAN C, LI C J. Root growth and spatio-temporal distribution of three common annual halophytes in a saline desert, northern Xinjiang[J]. Journal of Arid Land, 2012, 4(3): 330-341.
- [19] ERB M, FLORS V, KARLEN D, et al. Signal signature of aboveground-induced resistance upon belowground herbivory in maize[J]. The Plant Journal, 2009, 59(2):292-302.
- [20] 吴利晓,秦爱红,王克雄,等.菊芋多功能开发利用前景分析[J].蔬菜,2023(6):37-42.
- [21] 赵孟良,任延靖.菊芋生长发育特征及其块茎果糖含量变化分析[J].植物生理学报,2020,56(9):1899-1909.
- [22] 隋华,侯海鹏,辛勃,等.不同类型土壤对菊芋生长及品质的影响研究[J].天津农林科技,2020(5):1-2.
- [23] 高凯,贾贵立,朱铁霞,等.通辽地区菊芋块茎与根系的分布特征[J].草业科学,2014,31(8):1503-1507.
- [24] 戴立勋,黄晓鹏,魏宏安,等.大挖深菊芋收获机设计与试验[J].干旱地区农业研究,2019,37(5):262-268.
- [25] 王改改,周军,宋云,等.延安不同菊芋品种比较试验研究[J].农学学报,2021,11(9):64-67.
- [26] 齐国超.菊芋组织培养及分子生物学研究现状[J].黑龙江农业科学,2015(3):151-154.