

断根对菊芋生长速率和物质积累速率的影响

朱铁霞¹, 王琳¹, 高阳¹, 门果桃², 乌日娜¹, 高凯¹

(1. 内蒙古民族大学 农学院, 内蒙古 通辽 028043; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031)

摘要: 菊芋(*Helianthus tuberosus*)块茎作为生物乙醇和菊粉产业的主要原材料, 研究提高菊芋块茎生物产量和品质成为学者们关注的热点问题。通过营养期对菊芋进行断根处理, 探讨生长速率和各器官物质积累速率对断根的响应情况, 以期对菊芋块茎高产栽培提供理论依据。结果表明: 断根有效地提高了块茎膨胀高峰期(9月21日至10月20日)的物质积累速率, 能够有效地提高块茎产量; 叶片、茎秆和花的物质积累速率随着断根时间的延长呈现先增加后降低的变化趋势, 其中叶片物质积累速率的升高, 也是断根提高菊芋块茎产量的主要原因; 重度断根处理(20 cm)条件下菊芋生长速率呈现先增加后降低的变化趋势, 其它各断根处理对菊芋生长速率没有显著改变。

关键词: 菊芋; 断根; 块茎; 生长速率; 物质积累速率

中图分类号: S 632.905⁺.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)21-0028-04

根系作为作物植株的重要组成部分, 既是水分和养分吸收的主要器官, 又是多种激素、有机酸和氨基酸等物质合成的主要场所, 其形态特征和生理特性与作物生长发育、产量和品质形成均有密切的关系^[1]。在科学研究和生产实践过程中, 通过对作物根系的研究来指导作物生产受到普遍关注^[2-8]。学者们针对小麦(*Triticum aestivum*)、大豆(*Glycine max*)、水稻(*Oryza sativa*)、玉米(*Zea mays*)、烟草(*Nicotiana glauca*)、棉花(*Gossypium hirsutum*)等不同作物分别从根系的形态建成、活力功能、根系对各种环境因子的适应性、根系生长对产量的贡献、根系生长与地上部分的关系、根系性状遗传规律等方面进行了大量研究^[9-12], 取得了丰硕成果。

菊芋属菊科向日葵属多年生草本植物, 又名洋姜、鬼子姜。块茎菊粉含量丰富, 约占其干物质的 70%~90%, 是生产菊粉和生物乙醇的上等原材料^[13]。同时, 菊芋对生境条件要求较低, 能够在盐碱地和沙地等农作物无法正常生长的环境下种植, 并对盐碱地和沙地具有一定的改良作用。因此, 菊芋的研究逐渐被学者所重

视, 与菊芋相关文献数量逐年增多。块茎作为菊粉和生物乙醇生产过程中利用的目标器官, 对其产量的提高一直是人们关注的热点问题。学者们已在肥料管理、收获时间、水分管理等田间管理角度就提高菊芋块茎产量进行了大量研究^[14-19], 并达到了块茎高产的目的。同时少数学者从源-库理论角度对提高菊芋块茎产量作了探讨性研究^[20-21]。

基于上述情况, 该试验针对菊芋地下匍匐根系发达, 在营养期采用断根的处理方式, 通过测定断根后菊芋株高动态变化和器官物质积累量, 探讨断根对菊芋生长速率和物质积累速率的影响, 以期从源库理论角度为菊芋高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于西辽河平原内蒙古民族大学农学院试验农场。北纬 43°36', 东经 122°22', 海拔 178 m。试验地区为典型的温带大陆性季风气候, 年平均气温 6.4 °C, 极端最低温 -30.9 °C, ≥ 10 °C 积温 3 184 °C, 无霜期 150 d, 年均降水量 399.1 mm, 生长季(4—9月)降水量占全年的 89%。试验地土壤为灰色草甸土, 为当地主要土壤类型, 土壤有机质含量 18.23 g·kg⁻¹、碱解氮 62.41 mg·kg⁻¹、速效磷 38.61 mg·kg⁻¹、速效钾 184.58 mg·kg⁻¹、pH 8.20。试验地具有井灌条件。

1.2 试验材料

供试菊芋品种为“红皮菊芋”, 2013 年 5 月种植, 种植密度为 2.0 m×2.0 m, 播种深度 15 cm。选取质量为

第一作者简介: 朱铁霞(1978-), 女, 吉林通化人, 硕士, 讲师, 现主要从事草地资源与利用等研究工作。E-mail: zhutixia@163.com.
责任作者: 高凯(1979-), 男, 博士, 教授, 现主要从事牧草(能源草)高产栽培利用等研究工作。E-mail: gaokai555@126.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31201844, 31560672); 内蒙古自治区科技英才支持资助项目; 国家国际科技合作专项资助项目(2015DFR31150)。

收稿日期: 2016-07-25

30~40 g、无病无伤的块茎作种茎。出苗后进行定株,保证种植密度,进行正常的田间除草、灌水等管理措施。

1.3 试验方法

“红皮菊芋”根系多水平分布在地表以下 30~40 cm。采用“垂直切割法”对菊芋水平根系进行断根处理。断根处理时间选择在营养生长旺盛期,约 50~60 苗龄,以菊芋植株为中心,分别以 0.2、0.4、0.6、0.8 m 为半径画圆,沿圆的外周进行垂直切割,每处理重复 20 株,切割深度为地表以下 50 cm;试验以不进行根系切割处理为对照(CK)。

1.4 项目测定

株高测定采用定株观测法,即断根处理之后,每处理标记 5 株,间隔 15 d 测定 1 次菊芋植株从地面到最顶端分叉位置的高度,为该植株的绝对株高。

生物量测定:与株高测定同步,尽可能挖出完整植株,每次 4 株,按照根、茎、叶、花、块茎分离、装袋,先在 105 °C 杀青 30 min,在 75~89 °C 下烘干,测定干质量。

生长速率:相邻 2 次测定株高之差除以间隔天数。

物质积累速率:相邻 2 次测定同一器官干物质质量之差除以间隔天数。

2 结果与分析

2.1 断根对生长速率的影响

相同时间段不同断根半径条件下菊芋生长速率与对照之间因时间不同而表现出不同的大小关系,由图 1 可知,8 月 21 日至 9 月 5 日各断根处理条件下菊芋生长速率均低于对照,其它时间段各断根处理条件下菊芋生长速率均高于对照;断根处理对菊芋生长速率动态变化的影响规律因断根半径不同而表现出不同的变化规律。20 cm 断根条件下菊芋生长速率呈现“升高-降低-升高”的变化趋势,对照与 40、60、80 cm 断根条件下菊芋生长速率均呈现“降低-升高-降低”的变化趋势。

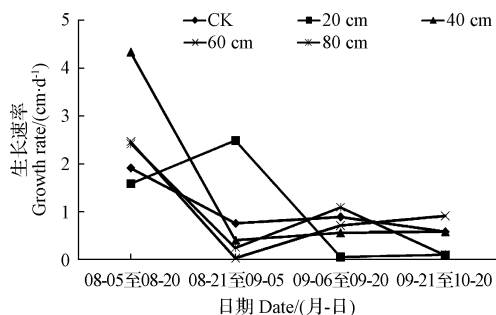


图 1 断根对生长速率的影响

Fig. 1 Effect of root cutting on growth rate

2.2 断根对叶片物质积累速率的影响

由图 2 可知,未断根条件下,菊芋叶片物质积累速率呈现逐渐降低的变化趋势,在 9 月 21 日至 10 月 20 日

出现负增长;4 种断根条件下,菊芋叶片物质积累速率呈现升降升的变化趋势,且 9 月 6—20 日叶片便出现负增长,一直延迟到收获;8 月 5—20 日和 9 月 6—20 日 2 个时间段,对照叶片积累速率高于处理,8 月 21 日至 9 月 5 日和 9 月 21 日至 10 月 20 日对照的叶片积累速率均低于各处理。

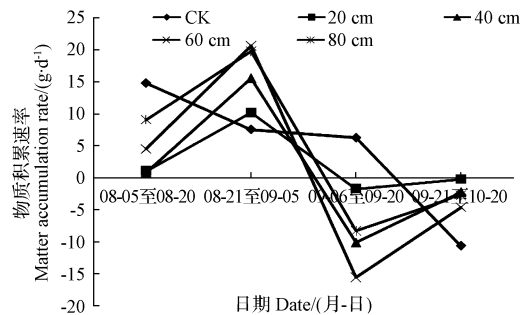


图 2 断根对叶片物质积累速率的影响

Fig. 2 Effect of root cutting on leaf matter accumulation rate

2.3 断根对花的物质积累速率的影响

8 月 5 日至 9 月 20 日,20 cm 和 40 cm 断根条件下菊芋花的干物质积累速率低于 60 cm 和 80 cm,9 月 21 日至 10 月 20 日,各断根处理条件下花的物质积累速率均呈现负增长;断根初期(8 月 5—20 日),各处理花的物质积累速率均低于对照;8 月 21 日至 9 月 5 日,各断根处理条件下花的物质积累速率高于对照;9 月 6—20 日,除 20 cm 断根条件下花的积累速率低于对照,其它各处理均高于对照(图 3)。

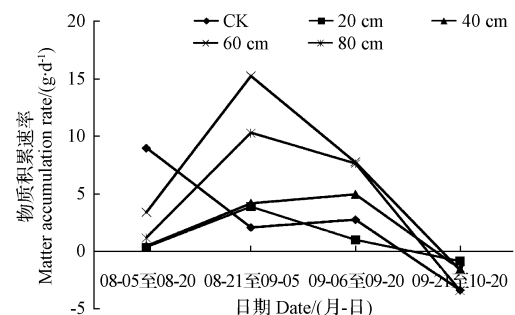


图 3 断根对花的物质积累速率的影响

Fig. 3 Effect of root cutting on flower matter accumulation rate

2.4 断根对茎秆物质积累速率的影响

未断根处理(CK)茎秆物质积累速率随着取样时间的延迟呈现逐渐降低的变化趋势,在 9 月 21 日至 10 月 20 日出现负增长;80 cm 断根条件下茎秆物质积累速率呈现先升高后降低的变化趋势;20、40、60 cm 断根条件下茎秆物质积累速率呈现升高-降低-升高的变化趋势;断根初期(8 月 5—20 日)对照茎秆物质积累速率均高于

处理,20 cm 处理条件下茎秆物质积累速率最低;其它时间段处理和对照之间茎秆物质积累速率大小关系没有规律可循(图 4)。

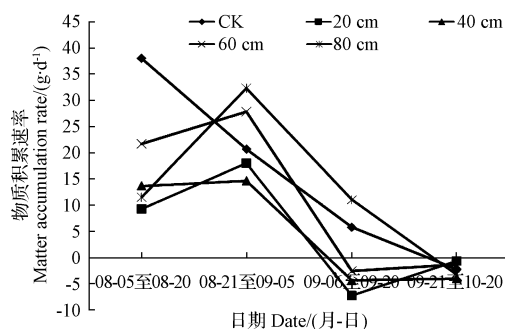


图 4 断根对茎秆物质积累速率的影响

Fig. 4 Effect of root cutting on flower matter accumulation rate

2.5 断根对块茎物质积累速率的影响

断根处理推迟了菊芋块茎的形成时间,改变了菊芋块茎物质积累规律。从图 5 可知,未断根条件下(CK)菊芋块茎从 8 月 21 日至 9 月 5 日便开始物质积累,积累过程一直持续到 10 月 20 日(收获期),块茎物质积累高峰期为 9 月 6—20 日,9 月 21 日之后积累相对较少,约 $0.831 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$;断根处理条件下,块茎物质积累规律基本一致,物质积累时间段为 9 月 6 日至 10 月 20 日,且 9 月 21 日至 10 月 20 日的积累值高于 9 月 6—20 日;不同断根半径之间,9 月 6—20 日未断根处理(CK)物质积累速率高于断根处理,且随断根半径的增加块茎物质积累速率逐渐升高,9 月 21 日至 10 月 20 日断根处理条件下物质积累速率高于未断根处理(CK),且随断根半径的增加呈现逐渐降低的变化趋势。

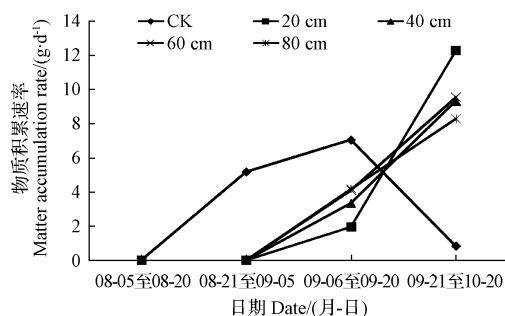


图 5 断根对块茎物质积累速率的影响

Fig. 5 Effect of root cutting on tuber matter accumulation rate

3 讨论

“减源疏库”是通过去除植物自身某些器官而达到提高目标器官产量的方法,是科学研究和生产实践中提高产量的重要方法和手段^[22]。菊芋作为一种草本植物,有根系、茎秆、叶片、块茎和花等几部分。以菊粉

和生物乙醇为主要利用目的的菊芋种植,其目标器官为块茎。然而在菊芋种植过程中发现菊芋地上生物产量(干质量)最高可达 $6 \sim 7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (较差生境条件)或 $20 \sim 30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (较好生境条件),块茎生物产量(干质量)范围在 $2 \sim 3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $10 \sim 15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[14]。针对这种情况,有学者采用去花、去叶、断根等措施去除或者破坏非目标器官,最终试验证明,只要方法得当均能够提高菊芋块茎产量,同时也证明断根是提高块茎产量的最有效的方法之一^[20-21,23]。断根提高块茎产量的主要原因如下,菊芋生长发育进程可以分为 2 个主要阶段:第一,营养体生长阶段,主要是菊芋茎、叶和根系等营养器官生长发育,该阶段块茎还没有出现。从生理过程来看,该阶段主要是叶片光合产物的积累和根系从土壤中进行营养物质吸收和积累等 2 个过程;第二,物质的再分配过程,该过程主要从现蕾期(块茎开始膨大)开始,菊芋茎、叶、根系等营养器官生长处于停滞状态,其体内积累的营养物质通过再分配的方式向块茎和花等生殖器官运输,促使块茎膨大,从而获得块茎产量。从生理过程来看,该阶段主要是光合产物和矿物营养物质再分配过程^[14]。从菊芋生长发育的 2 个阶段来看,其块茎产量的高低主要取决于第 2 阶段有多少物质向地下运输和块茎物质积累速率这 2 个条件。从图 5 可以看出,菊芋块茎物质积累的关键时期为 9 月 21 日至 10 月 20 日,断根显著提高了块茎物质积累速率,这种断根后块茎物质的高积累速率,应该是对断根处理的一种响应和有效的补偿。也就是说这段时间块茎物质的高积累速率是断根提高菊芋块茎生物产量的基础。叶片、茎秆和花的物质积累速率在断根之后均出现了先升高后降低的变化趋势,其中叶片增长速率的增加,也为后期有更多物质向块茎运输提供了保障。由于,作物产量的形成是地上部光合作用与地下部根系吸收水分、养分相统一的反馈过程,根系吸收促进地上部的光合作用,而充足的光合产物又为根系的生长提供必需的营养物质,二者共同组成了一个完整的光合生产系统^[24-26]。因此,断根对菊芋块茎物质积累速率和叶片积累速率的提高是最终导致块茎生物产量提高的主要原因。

参考文献

- [1] 向小亮,宁书菊,魏道智. 根系研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25 (17): 105-112.
- [2] CASSMAN K G, DOBERMANN A, WALTERS D T. Agro-ecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management[J]. A Journal of The Human Environment, 2002, 31: 132-140.
- [3] DEBI B R, TAKETA S, ICHII M. Cytokinin inhibits lateral root initiation but stimulates lateral root elongation in rice (*Oryza sativa*) [J]. Journal of Plant Physiology, 2005, 162: 507-515.
- [4] 鄂玉江,戴俊英,顾慰连. 玉米根系的生长规律及其产量关系的研究 1. 玉米根系生长和吸收能力与地上部分的关系[J]. 作物学报, 1988, 14 (2): 149-155.

- [5] 李锋,潘晓华,刘水英,等. 低磷胁迫对不同水稻品种根系形态和养分吸收的影响[J]. 作物学报,2004,30(5):438-442.
- [6] 张志勇,王清连,李召虎,等. 缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制[J]. 作物学报,2009,35(4):718-723.
- [7] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等. 大蒜根系分泌物对同属作物的抑制作用[J]. 中国农业科学,2011,44(12):2625-2632.
- [8] 杨建昌. 水稻根系形态生理与产量、品质形成及养分吸收利用的关系[J]. 中国农业科学,2011,44(1):36-46.
- [9] KAWATA S, SOEJIMA K, YAMAZAKI K. The superficial root formation and yield of hulled rice[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1978, 47: 617-628.
- [10] BIRCH C J, ANDRIEU B, FOURNIER C, et al. Modeling kinetics of plant canopy architecture concepts and applications[J]. European Journal of Agronomy, 2003, 19(4): 519-533.
- [11] 李潮海,李胜利,王群,等. 下层土壤容重对玉米根系生长及吸收活力的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(8):1706-1711.
- [12] 易建华,孙在军,贾志红. 烤烟根系构型及动态建成规律的研究[J]. 作物学报,2005,31(7):915-920.
- [13] GUNNARSSON I B, SVENSSON S, JOHANSSON E, et al. Potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a biorefinery crop[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 56: 231-240.
- [14] GAO K, ZHU T X, HAN G D. Effect of irrigation and nitrogen addition on yield and height of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(34): 6466-6472.
- [15] SOJA G, HAUNOLD E. Leaf gas exchange and tuber yield in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.)[J]. Cultivars Field Crop Research, 1991, 26: 241-252.
- [16] 高凯,朱铁霞,张永亮. 水、氮对不同收获时间菊芋株高和物质分配规律的影响[J]. 中国草地学报,2013,35(1):49-53.
- [17] 高凯,朱铁霞,乌日娜,等. 菊芋物质分配格局对密度制约的响应[J]. 草地学报,2014,22(5):1127-1130.
- [18] 杨斌,张恒嘉,李有先. 不同灌水量对菊芋生长及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报,2010(2):17-20.
- [19] 赵秀芳,杨劲松,蔡彦明. 苏北滩涂区施肥对菊芋生长和土壤氮素累积的影响[J]. 农业环境学报,2003,29(3):521-526.
- [20] 李辉,许欢欢,赵耕毛,等. 去花对菊芋干物质和糖分积累与分配的影响[J]. 草业学报,2014,23(1):149-157.
- [21] 乌日娜,刘辉,朱铁霞,等. 根系切割对菊芋块茎产量及物质分配的影响[J]. 草地学报,2015,23(2):426-428.
- [22] WUBS A M, HEUVELINK Y M, MARCELIS L F M. Genetic differences in fruit-set patterns are determined by differences in fruit sink strength and a source/sink threshold for fruit set[J]. Annals of Botany, 2009, 104: 957-964.
- [23] GAO K, WU R N, ZHU T X. Influence of root cutting stage and radius on biomass allocation and quantitative characters in Jerusalem Artichoke[J]. Journal of Investigative Medicine, 2014, 62(8): S91.
- [24] 苗果园,尹钧,张云亭,等. 中国北方主要作物根系生长的研究[J]. 作物学报,1998,24(1):2-6.
- [25] 杨丽雯,张永清. 4种旱作谷类作物根系发育规律的研究[J]. 中国农业科学,2011,44(11):2244-2251.
- [26] 田迅,朱铁霞,乌日娜,等. 断根对菊芋块茎产量及品质的影响[J]. 农业科学,2015,32(12):2083-2088.

Effect of Root Cutting on Growth Rate and Matter Accumulation Rate in *Helianthus tuberosus* L.

ZHU Tiexia¹, WANG Lin¹, GAO Yang¹, MEN Guotao², WU Rina¹, GAO Kai¹

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028043; 2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Huhhot, Inner Mongolia 010031)

Abstract: As the main raw material for bio-ethanol and inulin industry, how to raise the tuber biological yield and quality become the focus of *Helianthus tuberosus* research. *H. tuberosus* strain 'Red Skin' was used as material and the effect of root cutting on the growth rate and matter accumulation rate under field condition by root cutting treatment in vegetative growth stage were studied and five root cutting radius (0, 20, 40, 60, 80 cm) were treated. The results showed that, the matter accumulation rate was improved by root cutting, and led to the tuber yield increased; it indicated first increasing and then decreasing for matter accumulation of leaf, stem and flower. And leaf matter accumulation rate was improved, which was the main reason for improving tuber yield by root cutting. Growth rate indicated first increased and then decreased under root cutting 20 cm conditions, and there was no significant effect for growth rate of other treatments and control.

Keywords: *Helianthus tuberosus* L.; root cutting; tuber; growth rate; matter accumulation rate