

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201504030

## 间作对玉米马铃薯根系生长与分布的影响\*

安瞳昕<sup>1#</sup>, 杨圆满<sup>1#</sup>, 周 锋<sup>1</sup>, 范志伟<sup>1</sup>, 陈梦丽<sup>2</sup>, 陆 靖<sup>1</sup>, 吴伯志<sup>1\*\*</sup>

(1. 云南农业大学农学与生物技术学院, 云南昆明 650201; 2. 通海县农业技术推广站, 云南玉溪 652700)

**摘要:**【目的】旨在研究玉米马铃薯间作条件下作物根系生长与分布特征。【方法】以玉米马铃薯间作、玉米单作、马铃薯单作为研究对象,采用空间坐标取样法对根系取样。【结果】(1)玉米马铃薯的根系质量密度分布随土层深度增加而降低,在>10~20 cm 的土层中降低趋势最快,最大值都出现在0~10 cm 的土层中。(2)2013年和2014年马铃薯初花期玉米根系质量密度在不同土层都是边二行大于单作和边一行,边一行最小,说明马铃薯初花期间作抑制玉米边一行根系生长,成熟期玉米边一行的根系质量密度反而最大,说明成熟期促进了边一行的根系生长,导致最终了间作玉米的根系质量密度大于单作玉米。(3)无论是马铃薯初花期还是成熟期,马铃薯根系质量密度在0~10 cm 土层中边一行明显大于边二行,而到>20~30 cm 时边一行小于边二行,说明间作有利于马铃薯边一行根系生长的同时促进马铃薯边二行根系向更深土层扩展,使得间作马铃薯的根系质量密度也大于单作马铃薯。(4)间作系统中玉米根系无论在马铃薯初花期还是成熟期都有向马铃薯生长的趋势,而马铃薯根系在成熟期有向玉米生长的趋势。【结论】因此,玉米间作马铃薯根系分布较为合理,使得间作的根系质量密度大于单作,这为玉米马铃薯间作产量优势的形成具有重要的意义。

**关键词:**间作; 玉米; 马铃薯; 根系分布

中图分类号: S 344.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 02-0363-08

## Effect of Maize and Potato Intercropping on Their Root Growth and Distribution

AN Tongxin<sup>1</sup>, YANG Yuanman<sup>1</sup>, ZHOU Feng<sup>1</sup>, FAN Zhiwei<sup>1</sup>,  
CHEN Mengli<sup>2</sup>, LU Jing<sup>1</sup>, WU Bozhi<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Agricultural Technology Promotion Station of Tonghai County, Yuxi 652700, China)

**Abstract:** [Purpose] The root growth and distribution in maize and potato intercropping system were studied. [Method] We took 4 rows maize intercropping 4 rows potato, maize monoculture and potato monoculture as the research object, root sampling by spatial coordinate sampling. [Result] (1) Root mass density of maize and potatoes decreased with soil depth, most of the decrease was in the 10-20 cm soil layer, and the maximum value appeared in the 0-10 cm soil layer. (2) In 2013 and 2014 maize root mass density of potato flowering stage on the second line was more than that of the first line and monoculture, the first line was minimum, explaining the first line of maize root growth

收稿日期: 2017-04-23 修回日期: 2018-03-26 网络出版时间: 2018-04-12

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(31660378, 31360306); 农业部公益性行业专项(201503119-03-03); 云南省自然科学基金项目(2014FB144); 云南省玉米产业技术体系项目资助。

作者简介: # 对本文贡献等同, 为并列第一作者。安瞳昕(1974—), 男, 陕西西安人, 副教授, 主要从事山地农业水土保持与可持续发展研究。E-mail: tongxinan2012@163.com; 杨圆满(1988—), 男, 云南大理人, 在读硕士研究生, 主要从事玉米、马铃薯栽培研究。E-mail: yangyuanman2008@163.com

\*\*通信作者 Corresponding author: 吴伯志(1960—), 男, 云南玉溪人, 教授, 主要从事山地农业可持续发展研究。

E-mail: Bozhiwu@hotmail.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201504030](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201504030)

in intercropping was disadvantage in potato flowering stage, root mass density of maize on the first line was the maximum in the mature stage, explaining promoted root growth on first line in potato mature stage. (3) Both the potato flowering stage and maturity stage, the potato root mass density of the first line in the 0-10 cm soil layer was significantly higher than that of the second line, but the first line was less than the second line in the 20-30 cm, description explain promoted root growth on first line and the second line of root is extended to the deeper in soil. (4) Root system of maize had trend to potato growth in potato flowering stage or maturity, while the potato had trend to maize growth in mature period. [Conclusion] Therefore, root distribution is reasonable in maize and potato intercropping system, the root mass density in maize and potato intercropping system is more than that in monoculture, it has important to maize and potato intercropping.

**Keywords:** intercropping; maize; potato; root distribution

提高土地资源利用率是间作形成产量优势的重要基础之一<sup>[1-2]</sup>。有学者指出：间作系统产量优势的形成主要来自作物之间地上和地下相互作用的结果<sup>[3]</sup>，由于间作系统地上部作物对资源利用与竞争关系的研究条件的可控性高于地下，因而相关研究更系统与深入。地下部作为作物营养和水分吸收的重要空间，对作物产量的影响也极为显著。但由于土壤条件的复杂性和不可控性<sup>[4]</sup>，作物地下研究缺乏深度和系统性，尤其是在根系深入研究方面。有学者指出：地下根系间的相互作用大于作物地上部分的竞争<sup>[5]</sup>，甚至有人强调作物三分之一的产量与地下根系间的相互作用有关<sup>[6]</sup>。因此，进一步研究间作作物间地下部相互作用特征与机制具有重要意义。根系生长分布特征是间作作物地下部相互作用的直接结果，近年来有大量的学者对不同的间作系统地下根系进行了研究<sup>[7-14]</sup>。郝艳如等<sup>[10]</sup>研究发现：玉米小麦间作使小麦的根体积和根数量均有所增加，玉米与豇豆间作后，交错区根系生长得到促进，尤其是豇豆<sup>[11]</sup>，类似现象在大麦豌豆间作<sup>[12]</sup>、玉米大豆间作<sup>[13]</sup>、小麦大豆间作<sup>[14]</sup>等间作系统中也有观察到。然而，鉴于作物类型可能会影响植物间地下部相互作用的机制和结果，不同间作模式下作物地下根系的生长与分布可能存在不同特征。而玉米、马铃薯作为主要的旱地间作模式之一，被广泛的应用于世界各地的农业生产中。其主要原因是间作能充分的发挥玉米、马铃薯在时间和空间上形成互补的优势，不仅有助于对光的截获<sup>[15]</sup>，养分<sup>[16]</sup>和水分<sup>[17]</sup>的吸收，而且还能防止病虫害<sup>[18]</sup>的发生和减少水土流失<sup>[19]</sup>；然而，有关玉米马铃薯间作

系统中根系生长分布特征的研究还鲜见报道。本研究以玉米、马铃薯为对象，研究玉米马铃薯间作两作物的根系分布特征，进一步探索玉米马铃薯间作系统的增产机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于云南农业大学教学试验农场，海拔1 930 m，东经102°45'和北纬25°18'；年均温14.7℃，年蒸发量2 384 mm，年日照时间2 617 h，无霜期301 d；年降水量960 mm，降水量主要集中在5至9月。供试土壤为山地红壤，其理化性质是有机质43.76 g/kg，全氮1.67 g/kg，碱解氮153.7 mg/kg，全磷2.49 g/kg，有效磷86.99 mg/kg，全钾1.98 g/kg，速效钾315.24 mg/kg，pH 7.2。

### 1.2 试验设计

供试作物玉米(*Zea mays L.*)品种为云瑞88，马铃薯(*Solanum tuberosum L.*)品种为会-2。两个品种在云南生产实践中被广泛种植。

试验处理设4行玉米间作4行马铃薯、玉米单作、马铃薯单作3个处理，3次重复，随机区组布局，共9个小区，小区面积37.5 m<sup>2</sup>。间作玉米与单作玉米密度一致(55 000株/hm<sup>2</sup>)，单作马铃薯和间作马铃薯的密度分别52 000株/hm<sup>2</sup>和32 000株/hm<sup>2</sup>，各处理的作物株行距分别为单作玉米株行距25 cm×75 cm，单作马铃薯株行距35 cm×55 cm，间作玉米株行距20 cm×50 cm，间作马铃薯株行距35 cm×40 cm，玉米和马铃薯行间距50 cm。

### 1.3 种植管理

2013年马铃薯种植时间为4月2日，玉米

为5月20日, 2014年玉米和马铃薯种植时间分别为3月31日和6月1日。间作马铃薯播种时施入普钙368 kg/hm<sup>2</sup>、尿素99.2 kg/hm<sup>2</sup>和硫酸钾70.4 kg/hm<sup>2</sup>为底肥, 单作马铃薯播种时施入普钙598 kg/hm<sup>2</sup>、尿素161.2 kg/hm<sup>2</sup>和硫酸钾114.4 kg/hm<sup>2</sup>为底肥, 后期不再追肥; 玉米播种时施入普钙550 kg/hm<sup>2</sup>、尿素209 kg/hm<sup>2</sup>和硫酸钾137.5 kg/hm<sup>2</sup>为底肥, 在苗期和大喇叭口期分别追施尿素137.5 kg/hm<sup>2</sup>和275 kg/hm<sup>2</sup>; 其他田间管理与该地区大田生产保持一致。

#### 1.4 测定项目及方法

在马铃薯初花期和成熟期重点观测了玉米和马铃薯地下不同层次生物量(根系分布), 2013年于7月2日和8月27日进行, 2014年于7月10日和8月14日进行, 观测方法如下:

于处理内选择具有代表性的地段, 采用壕沟挖掘法取根样(图1), 水平方向将间作玉米边一行(MR<sub>1</sub>)行间分为离玉米植株M<sub>1</sub>A(0~16.7 cm)、M<sub>1</sub>B(16.7~33.3 cm)、M<sub>1</sub>C(33.3~50 cm)3个层次, 玉米边二行(MR<sub>2</sub>)为M<sub>2</sub>A(0~16.7 cm)、M<sub>2</sub>B(16.7~

33.3 cm)、M<sub>2</sub>C(33.3~50 cm), 交错行为JA(0~16.7 cm)、JB(16.7~33.3 cm)、JC(33.3~50 cm), 马铃薯边一行(PR<sub>1</sub>)为P<sub>1</sub>A(0~13.3 cm)、P<sub>1</sub>B(13.3~26.7 cm)、P<sub>1</sub>C(26.7~40 cm), 马铃薯边二行(PR<sub>2</sub>)为P<sub>2</sub>A(0~13.3 cm)、P<sub>2</sub>B(13.3~26.7 cm)、P<sub>2</sub>C(26.7~40 cm), 单作马铃薯(MP)行间分为MPA(0~18.3 cm)、MPB(18.3~36.7 cm)、MPC(36.7~55 cm), 单作玉米(MM)行间分为MMA(0~25 cm)、MMB(25~50 cm)、MMC(50~75 cm)3个层次; 垂直方向在相同位置至地表以下每10 cm为1个层次, 分3个层次(即0~10 cm, >10~20 cm, >20~30 cm), 分层取出土块, 筛选出土块中的根系, 用自来水清洗干净, 于烘箱105 °C条件下杀青30 min, 再于80 °C条件下烘干至恒重, 得到不同层次根系的干物质重, 在间作处理同一小区内取3次重复, 在单作处理同一小区内取3次重复。

#### 1.5 数据处理

采用SPSS 19.0对所有指标进行单因素方差分析和处理, 极显著水平为P<0.01, 显著水平为P<0.05。

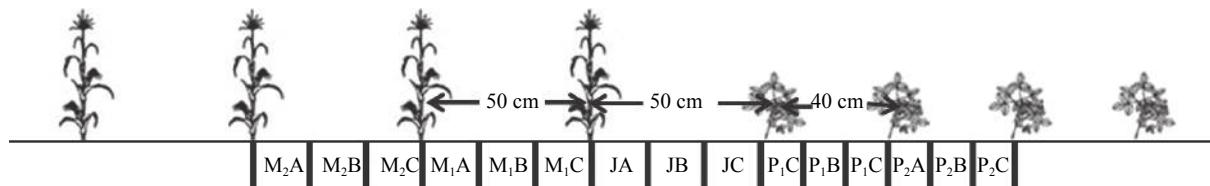


图1 间作处理水平方向(垂直于行向)根系取样示意图

Fig. 1 Intercropping diagram of root sampling on the horizontal direction

## 2 结果与分析

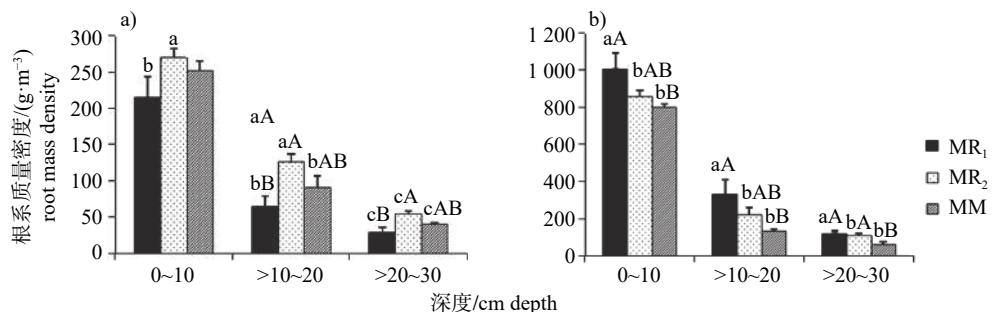
### 2.1 间作对玉米根系质量密度垂直分布的影响

比较分析马铃薯初花期和成熟期时玉米根系在不同土层的质量密度(图2、3), 发现无论单作还是间作根系质量密度整体都随深度的增加而降低, 从0~10 cm到>10~20 cm土层根系密度下降较>10~20 cm到>20~30 cm更快, 无论是间作处理玉米边一行、边二行还是单作处理玉米根系密度最大值均出现在0~10 cm土层; 马铃薯初花期间作玉米边二行在0~10 cm的根系质量密度最大, 间作玉米边一行最小, 2013年和2014年间作玉米边二行的根系质量密度较边一行增加了25.52%、25.38%, 在>10~20 cm和>20~30 cm的土层中玉米根系质量密度与0~10 cm规律一致,

2013年在>10~20 cm和>20~30 cm土层中间作玉米边二行较边一行分别增加了95.81%、86.7%, 2014年分别增加了65.59%、25.84%, 在0~10 cm土层中玉米根系质量密度差异水平2013达到了显著水平(0.01<P<0.05), 2014年极显著(P<0.01), 在>10~20 cm土层中都达到了极显著水平(P<0.01), 在>20~30 cm土层中2013年极显著(P<0.01), 2014年不显著(P>0.05); 马铃薯成熟期时的玉米根系质量密度在不同的土层中2013年规律一致, 都呈现出了间作玉米边一行>间作玉米边二行>单作玉米, 但是间作玉米边二行与单作玉米之间差异不显著, 间作玉米边一行在0~10 cm、>10~20 cm、>20~30 cm土层中根系质量密度较边二行分别增加了17.3%、51.01%、12.79%, 较单作增加了25.77%、154.16%、

103.22%，2014年玉米根系质量密度规律也一致，都呈间作玉米边一行>单作玉米>间作玉米边二行，间作玉米边一行在0~10 cm、>10~20 cm、>20~30 cm土层中根系质量密度较边二行分别增加了95.69%、67.21%、76.9%，2013年在不同土层中不同处理之间玉米根系质量密度差异水平都达到了极显著( $P<0.01$ )，2014年在0~10 cm和>20~30 cm土层差异极显著( $P<0.01$ )，在>10~20 cm

显著( $0.01<P<0.05$ )。比较两年的数据发现：玉米根系都是随深度的增加而减小，其中在马铃薯初花期间作玉米边一行在不同的土层中都是最小，但是到了马铃薯成熟期反而最大，且2013年间作玉米边二行根系质量密度大于单作，2014年差异不显著，说明了间作前期间作对玉米根系生长不利，抑制其生长，而后期反而促进其生长，最终导致了间作玉米的根系质量密度大于单作。



注：MR<sub>1</sub>表示玉米边一行；MR<sub>2</sub>表示玉米边二行；MM表示单作玉米；PR<sub>1</sub>表示马铃薯边一行；PR<sub>2</sub>表示马铃薯边二行；MP表示单作马铃薯；下同。

Note: MR<sub>1</sub> is first line of maize; MR<sub>2</sub> is the second line of maize; MM is the maize monoculture; PR<sub>1</sub> is first line of potato; PR<sub>2</sub> is the second row of potato; MP is the potato monoculture; the same as below.

图2 2013年马铃薯初花期(a)和成熟期(b)玉米根系垂直分布

Fig. 2 Root vertical distribution of maize in potato flowering stage (a) and mature stage (b) in 2013

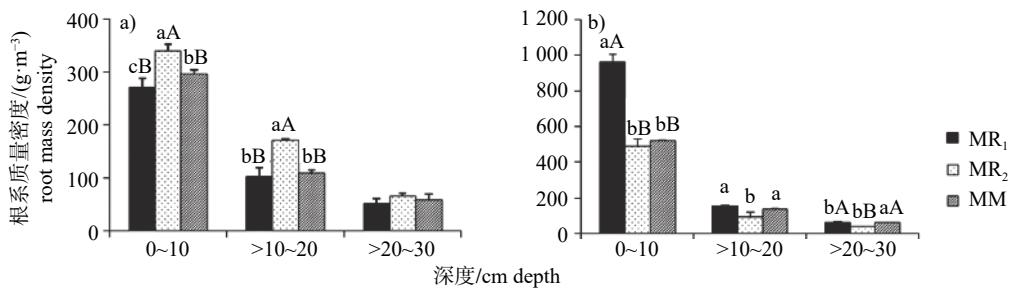


图3 2014年马铃薯初花期(a)和成熟期(b)玉米根系垂直分布

Fig. 3 Root vertical distribution of maize in potato flowering stage (a) and mature stage (b) in 2014

## 2.2 间作对马铃薯根系质量密度垂直分布的影响

马铃薯根系质量密度随马铃薯的生育时期和土层深度而改变(图4、5)，整体在马铃薯初花期和成熟期也呈现出了随深度的增加而降低，而从0~10 cm到>10~20 cm土层下降的趋势最快；马铃薯初花期马铃薯的根系质量密度在0~10 cm土层中都呈间作马铃薯边一行大于间作马铃薯边二行，间作马铃薯边二行与单作差异不显著，2013年和2014年间作马铃薯边一行较边二行分别增加20.49%、38.41%，但是在>10~20 cm

土层中两年间处理之间规律不明显，而在>20~30 cm土层中则间作马铃薯边二行大于马铃薯边一行，马铃薯边一行与单作差异不显著，2013年和2014年边二行较边一行分别高了42.24%和41.38%，而与单作之间规律不显著，2013年、2014年马铃薯的根系质量密度在0~10 cm土层中差异水平达到了极显著( $P<0.01$ )，而在>10~20 cm和>20~30 cm土层中达到了显著水平( $0.01<P<0.05$ )；马铃薯成熟期时马铃薯根系质量密度在0~10 cm时间作马铃薯边一行最大，间作马铃薯

边二行与单作差异不显著, 2013年间作马铃薯边一行较间作马铃薯边二行和单作分别高了23.80%、49.41%, 2014年分别高了35.48%、29.26%, 在10~20 cm和>20~30 cm土层中, 都呈现出了间作马铃薯边二行大于边一行, 但是他们之间的差异不显著, 2013年间作马铃薯边一行和边二行都大于单作, 2014年在>10~20 cm土层单作大于间作边一行和边二行, 而在>20~30 cm差异不显著, 处理之间的差异水平在0~10 cm、>10~20 cm土层中达到了显著水平( $0.01 < P < 0.05$ ), 在>20~30 cm土层中差异水平2013年显著( $0.01 < P < 0.05$ ), 2014年不显著( $P > 0.05$ )。比较

两年马铃薯的根系质量密度的分布发现, 在间作系统中马铃薯在不同的土层的规律一致, 都是在0~10 cm间作马铃薯边一行大于边二行, 在>10~20 cm和>20~30 cm土层间作马铃薯边二行大于边一行, 但差异不显著, 同时2013年整体上间作马铃薯边一行和边二行根系质量密度大于单作, 而2014年整体上间作马铃薯边一行大于边二行, 而边二行与单作差异不明显, 说明了间作有利于间作马铃薯边一行在0~10 cm土层中根系的生长, 同时促进间作马铃薯边二行根系像更深土层扩展, 导致了间作马铃薯的根系质量密度大于单作。

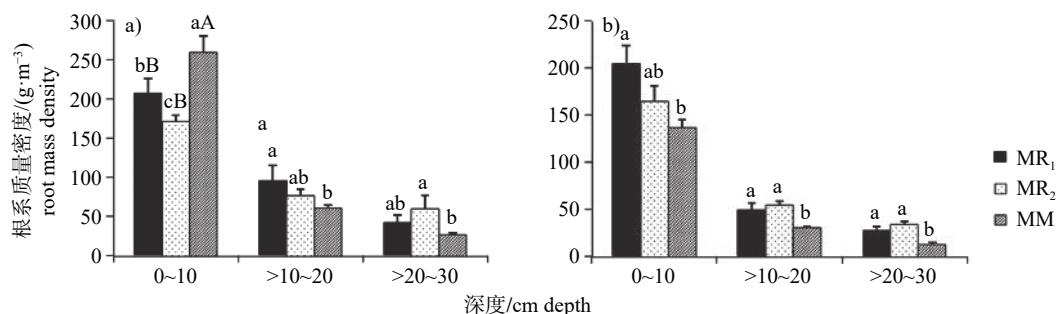


图4 2013年马铃薯初花期(a)和成熟期(b)马铃薯根系垂直分布

Fig. 4 Root vertical distribution of potato in potato flowering stage (a) and mature stage (b) in 2013

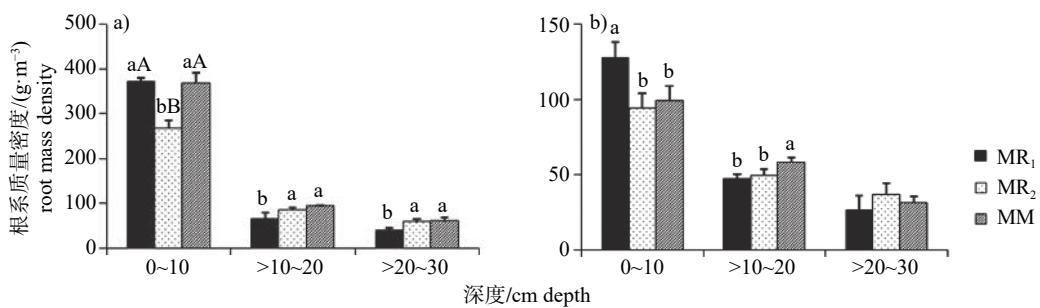


图5 2014年马铃薯初花期(a)和成熟期(b)马铃薯根系垂直分布

Fig. 5 Root vertical distribution of potato in potato flowering stage (a) and mature stage (b) in 2014

### 2.3 间作对玉米马铃薯根系质量密度水平分布的影响

从间作处理水平方向(图6)的根系质量密度分布同样可以看出: 马铃薯初花期间作玉米边一行的根系质量密度明显小于边二行, 2013年和2014年较边二行分别减小了31.43%、25.97%, 马铃薯成熟期边一行明显大于边二行, 较边二行分别增加了32.44%、90.41%, 马铃薯成熟期的玉米根系质量密度较初花期明显增加, 且由初花

期的边一行小于边二行到成熟期边一行大于边二行, 说明了间作前期抑制间作玉米根系的生长, 后期促进其生长; 而间作马铃薯边一行的根系质量密度在马铃薯初花期还是成熟期都是边一行明显的大于边二行, 2013年马铃薯初花期和成熟期较边二行分别增加了6.52%、2.14%, 2014年增加了16.36%、11.75%, 而且马铃薯初花期到成熟期根系质量密度减小了, 说明了无论马铃薯初花期还是成熟期间作都有利于马铃薯边一行根系

的生长。

分析比较玉米边行两侧根系质量密度发现：马铃薯初花期无论是间作边一行还是边二行，根系密度靠近马铃薯一侧（JA, M<sub>1</sub>A）均大于另一侧（M<sub>1</sub>C, M<sub>2</sub>C）的趋势，2013年间作玉米边一行JA较M<sub>1</sub>C大了32.19%，2014年大了21.16%，间作玉米边二行2013年M<sub>1</sub>A较M<sub>2</sub>C大了29.23%，2014年大了27.05%；马铃薯成熟期2013年规律同马铃薯初花期一致，间作玉米边一行JA较M<sub>1</sub>C大了30.52%，M<sub>1</sub>A较M<sub>2</sub>C大了57.31%，2014年由于降雨过甚，导致了间作玉米边行之间出现了与2013年不一致的规律，间作玉米变一行JA和M<sub>1</sub>C差异不明显，而M<sub>1</sub>A小

于了M<sub>2</sub>C；而对马铃薯边行两侧的根系而言，2013年马铃薯初花期和成熟期规律一致，间作马铃薯边一行靠近玉米一侧（JC）大于另外一侧（P<sub>1</sub>A），JC较P<sub>1</sub>A大了23.65%，而间作马铃薯边二行P<sub>1</sub>C小于P<sub>2</sub>A，P<sub>1</sub>C较P<sub>2</sub>A小了15.39%，2014年马铃薯边一行两侧JC和P<sub>1</sub>A没有表现出相一致的规律，JC和P<sub>1</sub>A差异不明显，而间作马铃薯边二行P<sub>2</sub>A大于P<sub>1</sub>C，P<sub>2</sub>A较P<sub>1</sub>C大了60.26%。比较两年的数据，总体上反映出来，间作玉米边一行和边二行的根系有向马铃薯生长的趋势，而马铃薯边一行根系有向玉米生长的趋势，而马铃薯边二行根系则有避开长势较好的马铃薯边一行生长的趋势。

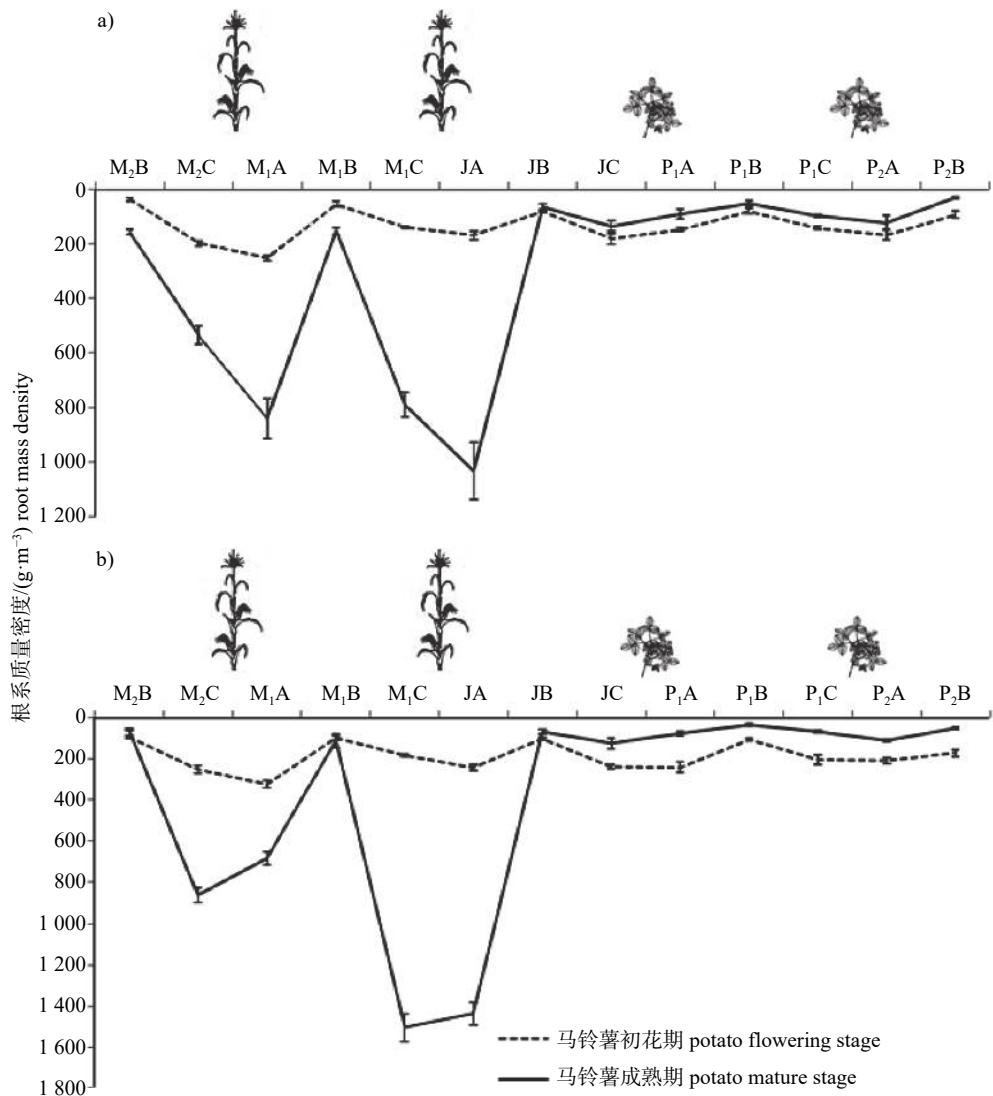


图6 2013 (a) 和 2014 (b) 年间作处理根系分布趋势图

Fig. 6 The trend graph of root distribution in intercropping treatment in 2013 (a) and 2014 (b)

### 3 讨论

本研究发现: 在马铃薯初花期玉米边一行的根系质量密度小于边二行, 而在马铃薯成熟期玉米边一行根系质量密度大于边二行, 这可能是由于前期(马铃薯初花期)马铃薯生长茂盛, 抑制了玉米生长, 导致玉米边一行根系质量密度低于边二行, 而后期(马铃薯成熟期)玉米株高高于马铃薯, 玉米恢复生长, 导致边一行玉米根系质量密度大于边二行, 并最终导致间作玉米的根系质量密度大于单作。而马铃薯无论初花期还是成熟期, 其在0~10 cm的土层中间作边一行大于边二行, 在>20~30 cm土层则小于边二行, 间作不仅有利于马铃薯边一行根系的生长, 而且促进马铃薯边二行根系的生长, 导致间作马铃薯的根系也大于单作, 而且在水平方向发现玉米根系前后期均有向马铃薯生长的趋势, 马铃薯有向玉米生长的趋势。说明了间作对玉米马铃薯地下根系的生长和分布产生了明显的影响, 促进玉米马铃薯根系彼此向对方生长。这与前人的许多研究结果一致, 如: 在玉米和大豆条带间作群体中, 玉米根系水平分布于较大的范围内, 侧向伸展长度58 cm, 玉米根系不仅分布于间作条带行间, 而且生长到大豆条带的行间, 大豆根系水平分布于相对有限的区域内, 侧向伸展长度约26 cm<sup>[20]</sup>, 在玉米小麦间作前期小麦的根系扩展到了玉米行, 而玉米根系主要被分配到了玉米行, 小麦收获后在共生区发现大量玉米的根系<sup>[21]</sup>。同时, 也与“种间地下根系相互作用是玉米马铃薯种间间作产量优势的形成机制之一”<sup>[22]</sup>的结论一致。

当然, 也有间作不利于根系生长的报道, 例如野燕麦根系分泌出的酸类物质抑制小麦的生长<sup>[21]</sup>, 但是多数作物间间作是有利于根系在间作系统中扩展。因此, 也说明对不同种类作物搭配间混套作根系分布的研究具有重要意义。

当然, 由于间作对根系构型有直接的调节作用, 因此对根系分布的改变不仅体现在水平尺度上, 也体现在垂直尺度上。尽管不同作物根系生长分布的深度存在差别, 但是总的来说促进根系的下扎有利于作物的生长, YANG等<sup>[23]</sup>发现不同的土层中小麦玉米间作的根系比单作有更多的根系分布, 在李萍等<sup>[24]</sup>对蚕豆马铃薯间作系统中发现, 间作使蚕豆的根系向垂直方向扩展, 尽管间

作马铃薯没有蚕豆明显, 但是马铃薯的根系同样得到了扩展。间作是否促进根系生长的深度可能与时间有密切关系, 例如在小麦菜豆间作系统中发现, 随生育期延长, 总根干重相对于单作呈降低趋势, 而小麦蚕豆间作系统中小麦苗期根干重较对照低, 两作物生长后期, 单作较间作根系扩展更深<sup>[25]</sup>。发现间作能够促进根系生长的总体深度, 这有利于作物的生长, 但这一促进作用主要发生在生长后期, 生长期反而有抑制作用, 该现象的形成原因值得进一步探讨。

### [参考文献]

- 王晨阳, 马元喜, 周苏玲, 等. 土壤渍水对冬小麦根系活性氧代谢及生理活性的影响[J]. 作物学报, 1996, 22(6): 712.
- 吴开贤, 安瞳昕, 范志伟, 等. 玉米与马铃薯的间作优势和种间关系对氮投入的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 1006.
- LI L, SUN J H, ZHANG F S, et al. Root distribution and interactions between intercropped species[J]. Oecologia, 2006, 147(2): 280. DOI: [10.1007/s00442-005-0256-4](https://doi.org/10.1007/s00442-005-0256-4).
- 唐秀梅, 钟瑞春, 蒋菁, 等. 木薯/花生间作对根际土壤微生态的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2015, 34(01): 117.
- DONALD C M. The interaction of competition for light and for nutrients[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1958, 9(4): 421.
- ZHANG F S, LI L, SUN J H. Contribution of above- and below-ground interactions to intercropping[M]//Plant Nutrition. Netherlands: Springer, 2001:978.
- ZHANG F S, LI L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency[J]. Plant and Soil, 2003, 248(1/2): 305. DOI: [10.1023/A:1022352229863](https://doi.org/10.1023/A:1022352229863).
- ZHANG W P, JIA X, DAMGAARD C, et al. The interplay between above- and below-ground plant-plant interactions along an environmental gradient: insights from two-layer zone-of-influence models[J]. Oikos, 2013, 122(8): 1147. DOI: [10.1111/j.1600-0706.2012.20877.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.20877.x).
- ZHANG X, HUANG G, BIAN X, et al. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere[J]. Plant Soil and Environment, 2013, 59(2): 80.
- 郝艳如, 劳秀荣, 孟庆强, 等. 玉米/小麦间作对根际土壤和养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2002, 18(4): 20. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6850.2002.04.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-6850.2002.04.007).
- ADIKU S K, OZIER-LAFONTAINE H, BAJAZET T. Patterns of root growth and water uptake of a maize-cowpea mixture grown under greenhouse conditions[J]. Plant and Soil, 2001, 235(1): 85. DOI: [10.1023/A:1011847214706](https://doi.org/10.1023/A:1011847214706).

- [12] HAUGGAARD-NIELSEN H, AMBUS P, JENSEN E S. Temporal and spatial distribution of roots and competition for nitrogen in pea-barley intercrops: a field study employing <sup>32</sup>P technique[J]. *Plant and Soil*, 2001, 236(1): 63. DOI: [10.1023/A:1011909414400](https://doi.org/10.1023/A:1011909414400).
- [13] GAO Y, DUAN A W, QIU X Q, et al. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 98(1): 199. DOI: [10.1016/j.agwat.2010.08.021](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.021).
- [14] IZUMI Y, YOSHIDA T, IIJIMA M. Effects of subsoiling to the non-tilled field of wheat-soybean rotation on the root system development, water uptake, and yield[J]. *Plant Production Science*, 2009, 12(3): 327. DOI: [10.1626/pps.12.327](https://doi.org/10.1626/pps.12.327).
- [15] 黄承建, 赵思毅, 王季春, 等. 马铃薯/玉米不同行数比套作对马铃薯光合特性和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1443. DOI: [10.3724/SP.J.1011.2012.01443](https://doi.org/10.3724/SP.J.1011.2012.01443).
- [16] 胡丹, 范茂攀, 汤利, 等. 玉米马铃薯间作施肥的偏生产力分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(4): 776. DOI: [10.3969/j.issn.0439-8114.2013.04.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.0439-8114.2013.04.009).
- [17] 刘英超, 汤利, 郑毅. 玉米马铃薯间作作物的土壤水分利用效率研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2013, 28(6): 871. DOI: [10.3969/j.issn.1004-390X\(n\).2013.06.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-390X(n).2013.06.019).
- [18] HE X, ZHU S, WANG H, et al. Crop diversity for ecological disease control in potato and maize[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2010(1): 45.
- [19] 安瞳昕, 李彩虹, 吴伯志, 等. 玉米不同间作方式对坡耕地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 18. DOI: [10.3321/j.issn:1009-2242.2007.05.005](https://doi.org/10.3321/j.issn:1009-2242.2007.05.005).
- [20] 高阳, 段爱旺, 刘战东, 等. 玉米/大豆间作条件下的作物根系生长及水分吸收[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 307.
- [21] PÉREZ F J, ORMEÑO-NUÑEZ J. Root exudates of wild oats: allelopathic effect on spring wheat[J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(30): 2199.
- [22] WU K X, FULLEN M A, AN T X, et al. Above- and below-ground interspecific interaction in intercropped maize and potato: a field study using the 'target' technique[J]. *Field Crops Research*, 2012, 139: 63.
- [23] YANG C H, CHAI Q, HUANG G B. Root distribution and yield responses of wheat/maize intercropping to alternate irrigation in the arid areas of northwest China[J]. *Plant Soil and Environment*, 2010, 56(6): 253.
- [24] 李萍, 刘玉皎. 高海拔地区蚕豆/马铃薯根系时空分布特征及根系活性研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2013, 34(04): 338.
- [25] 陈桂平, 柴强, 牛俊义. 不同禾豆间作复合群体根系的时空分布特征[J]. 西北农业学报, 2007, 16(5): 113. DOI: [10.3969/j.issn.1004-1389.2007.05.027](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-1389.2007.05.027).

责任编辑: 何承刚