

# 红薯对农田杂草群落及其多样性的影响

申时才 徐高峰 张付斗\* 金桂梅 张玉华

(云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205)

**摘要:** 为了解红薯(*Ipomoea batatas*)对农田杂草群落和生物多样性的影响, 作者研究了云南省东南部红河州建水县5种不同覆盖度红薯田的杂草种类、密度、重要值及多样性。结果表明, 5种红薯田共统计到25种杂草, 隶属18科。其中4种入侵植物藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)、牛筋草(*Eleusine indica*)和2种本地植物马齿苋(*Portulaca oleracea*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)的密度较高, 为红薯田杂草群落的优势物种。随红薯覆盖度增加, 杂草优势物种的密度和重要值显著降低( $P < 0.05$ ), 然而2种本地物种打碗花(*Calystegia hederacea*)和早熟禾(*Poa annua*)密度却显著增加, 2种本地物种铁苋菜(*Acalypha australis*)和稗(*Echinochloa crusgalli*)重要值与红薯覆盖度成正相关( $P < 0.05$ )。红薯覆盖度为1–25%和26–50%时, 杂草群落的物种丰富度(23.5、24.5)、Simpson指数(0.89、0.85)、Shannon-Wiener指数(2.36、2.35)和Pielou均匀度指数(0.75、0.73)较高, 说明中低水平的红薯覆盖度有利于提高群落的物种多样性。可以推断, 红薯种植改变了农田杂草的群落结构, 有利于限制优势杂草和入侵杂草的发生危害, 中低水平的红薯覆盖度可作为一种有效的旱田替代化学除草剂的生态控草措施。

**关键词:** *Ipomoea batatas*, 杂草密度, 重要值, 农田多样性, 生态控草, 入侵杂草

## Effects of sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivation on the community composition and diversity of weeds in arid fields

Shicai Shen, Gaofeng Xu, Fudou Zhang\*, Guimei Jin, Yuhua Zhang

Agricultural Environment and Resource Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205

**Abstract:** For developing ecological prevention and management techniques for invasive and dominant weed species, the screening and using of high value species with strong competitive ability (e.g., local food, native species and/or cash crops) have captured widely attention. To explore the effects of sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivation on community composition and species diversity of weeds, the composition, density, importance value, species richness, diversity indices, and Pielou index were analyzed under five different cover scenarios (0%, 1–25%, 26–50%, 51–75, 76–100%). The study took place in arid cultivated fields in Jianshui County, Yunnan Province, China. A total of 25 weed species from 18 families were identified. Of these, four invasive species *Ageratum conyzoides*, *Bidens pilosa*, *Eleusine indica*, and *Galinsoga parviflora* and two native species, *Digitaria sanguinalis* and *Portulaca oleracea* had the highest population density and were most dominant. Population density and importance values of the six dominant weed species declined as sweet potato cover increased. A significant negative correlation was observed between importance values and sweet potato cover ( $P < 0.05$ ). Population density of two less dominant native species, *Calystegia hederacea* and *Poa annua*, increased significantly with increasing sweet potato cover. Similarly, the importance values for two additional native species *Acalypha australis* and *Echinochloa crusgalli* was positively correlated with sweet potato cover ( $R=0.964$ ,  $R=0.891$ ,  $P < 0.05$ ). Maximum values for species richness (23.5, 24.5), Simpson index (0.89, 0.85), Shannon-Wiener index (2.36, 2.35) and Pielou index (0.75, 0.73) corresponded to sweet potato cover ranges of 1–25% and 26–50% respectively. As sweet potato cover increased species richness and diversity values significantly declined. Overall, the results indicate that the cultivation of sweet po-

收稿日期: 2013-10-24; 接受日期: 2014-02-22

基金项目: 国家科技部国际合作“中国-东盟重大农业外来有害生物与防控平台”(2011DFB30040)和农业部公益性行业(农业)科研专项(200903004)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fdzh@vip.sina.com

tato alters the community composition and diversity of weeds limiting the occurrence of the dominant and invasive weed species. As a result, mid to low percent cover values should be considered an effective and ecologically-based weed management strategy to replace herbicide use in arid fields.

**Key words:** *Ipomoea batas*, weed density, importance value, biodiversity in agroecosystem, ecological weed control, invasive weed

农田杂草是农业生态系统的重要组成部分,具有保持水土、防止土壤侵蚀、促进养分循环、降低环境污染等生态功能(陈欣等, 2000; Sakonnakhon *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2007), 保持一定的杂草多样性对维持生态系统功能和保持生态平衡有着不可忽视的作用。然而, 杂草可通过肥、光、空间等的竞争而严重影响农作物产量与品质, 是影响农业生产的重要因素之一(李儒海等, 2008; Chauhan & Johnson, 2011; 申时才等, 2013)。据杨健源和杨贤智(1998)报道, 我国农田草害面积约为0.43亿公顷, 严重受害面积约0.1亿公顷, 每年因草害损失粮食1,750万吨。农业上大量使用化学除草剂使农业生产获得了巨大的经济效益, 但长期施用除草剂可产生杂草抗药性、环境污染及除草剂残留等问题。

为了促进农业的可持续生产, 提升农作物品质, 基于生态学原理的管理措施和技术长期以来在国内外得到广泛的应用。大量研究发现, 免耕覆盖、地膜覆盖、农作物间套种、水旱交替轮作、长期定位施肥等措施(赵欣等, 2009; 韩惠芳等, 2010; 张丹等, 2010; 施林林等, 2013)不仅可提高农业与产量产值, 而且对农田杂草具有较好的控制效果。目前, 不同生态管理措施对农田杂草群落变化、物种多样性和生态效应等的影响已成为农业生态学研究热点之一。

红薯(*Ipomoea batas*)属旋花科的一年或多年生藤本植物, 以匍匐生长为主, 是我国重要的粮食作物之一。红薯以无性繁殖为主, 生长速度快, 覆盖能力强, 在与其他作物和杂草共同生长时通常具有明显的优势。张勇等(2012)报道了红薯种植农田的杂草种类, 发现不同红薯营养生长期的杂草种类有明显差异, 申时才等(2012a)的研究表明红薯对世界恶性入侵植物薇甘菊(*Mikania micrantha*)具有很强的竞争优势。为研究红薯种植对杂草群落组成(如杂草密度和优势种群等)及多样性的影响, 我们在云南省红薯主产区红河州开展了红薯农田杂草调查研究, 试图了解红薯种植对农田杂草群落结构的影

响, 以期为广泛开展农田杂草的生态管理提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究地点概况

研究地点位于红河州建水县, 地理位置为23°42′–24°10′ N, 102°33′–103°11′ E, 海拔为230–2,515 m。研究区为南亚热带季风气候, 北回归线横贯该县南部, 干湿分明, 雨热同季, 夏无酷暑, 冬无严寒, 四季温和, 有“天然温室”之称。年平均温度18.7℃, 常年降雨量800–850 mm, 相对湿度72%, 年日照时数2,301.8 h, 全年无霜期324 d。

建水县自然条件优越, 土壤肥沃, 适宜红薯种植。红薯在建水县的种植历史已经超过250年, 常年种植面积维持在4,000–6,700 ha, 单产1.2–2.5 t/ha, 品质优良。近年来, 随着传统农产品的产业化开发, 红薯在该区的种植面积逐年提高, 一般是5–6月种植, 10–11月收获。通常单独种植, 但也可与包谷、花生、辣椒、石榴树、枣树等混种。红薯匍地生长, 生长速度快、覆盖强, 是否可以减少田间杂草的数量和危害, 并增加农作物的产量? 本文定量分析了红薯种植对农田杂草群落物种多样性的影响。

### 1.2 田间调查

于2012年10月25–27日选择红薯收割前进行田间调查, 研究区域选在建水县红薯种植集中的临安镇狗街村(23°49′ N, 102°83′ E, 海拔1,497 m)。在狗街村地理、气候和海拔基本一致的生态区域随机选择4块红薯样地, 在每块样地按照红薯覆盖率(0%, 1–25%, 26–50%, 51–75%, 76–100%)各随机选择15个1 m×1 m的样方, 共设300个样方。为了避免干扰, 仅选择红薯单独种植的群落。研究区域内红薯品种、种植时间、施肥和管理措施等基本一致。调查样方中所有植物(包括红薯)的种类、盖度、频率、株数及高度, 并用GPS仪记录具体的位置和海拔。

### 1.3 数据分析

以样地杂草密度, 即每平方米内观察到的杂草

茎数(茎/m<sup>2</sup>)作为衡量杂草发生程度的指标。以重要值(IV, Singh, 2002)作为衡量某种杂草重要程度的指标, 计算公式为:

$$IV = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3 \quad (1)$$

其中, 相对密度、相对盖度、相对频度分别为样方内某种植物的株数、分盖度、样方数占样方内所有植物的株数、分盖度、样方数的百分比。

杂草多样性采用样方中出现的物种数(丰富度, S)、Simpson 多样性指数(D)(Simpson, 1949)、Shannon-Wiener多样性指数(H)和Pielou均匀度指数(J)(马克平和刘玉明, 1994)度量, 计算公式如下:

$$D = 1 - \sum N_i (N_i - 1) / N (N - 1) \quad (2)$$

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$J = H / \ln S \quad (4)$$

其中, N<sub>i</sub>为第i个物种个体数, N为所有物种个体数, P<sub>i</sub>为第i个物种个体数占总个体数的比例。

所有数据采用DPS v9.01版软件进行分析, 采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和Duncan's新复极差法比较不同数据组间的差异。计算杂草密度和重要值时不包括红薯, 而计算杂草群落多样性时包括红薯。针对不同红薯覆盖度的杂草群落, 用SPSS软件的Pearson相关来检验红薯覆盖度与各种杂草重要值之间的关系及显著性。

2 结果

2.1 杂草群落种类组成

红薯田杂草种类丰富, 共调查到18科25属25种(表1), 全部属于草本植物, 其中一年生有17种(占

表1 不同红薯覆盖度下杂草平均密度(株/m<sup>2</sup>)(平均值±标准差)  
Table 1 Weed population densities under different sweet potato cover scenarios (individuals/m<sup>2</sup>) (mean±SD)

种名 Weed name	生活型 Life form	红薯覆盖度 Cover of sweet potato				
		0%	1–25%	26–50%	51–75%	76–100%
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i> <sup>N</sup>	AH	1.07±0.10 <sup>d</sup>	0.53±0.04 <sup>c</sup>	1.87±0.14 <sup>a</sup>	1.33±0.14 <sup>c</sup>	1.61±0.16 <sup>b</sup>
藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> <sup>I</sup>	AH	106.93±12.69 <sup>a</sup>	59.27±4.56 <sup>b</sup>	14.93±1.14 <sup>c</sup>	8.53±0.45 <sup>cd</sup>	7.47±0.34 <sup>d</sup>
苋 <i>Amaranthus tricolor</i> <sup>I</sup>	AH	5.86±0.18 <sup>a</sup>	2.93±0.06 <sup>b</sup>	0.27±0.01 <sup>e</sup>	1.59±0.04 <sup>d</sup>	1.87±0.04 <sup>c</sup>
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> <sup>I</sup>	AH	58.13±5.78 <sup>a</sup>	30.67±3.84 <sup>b</sup>	19.73±1.78 <sup>c</sup>	15.19±1.28 <sup>d</sup>	2.13±0.25 <sup>c</sup>
打碗花 <i>Calystegia hederacea</i> <sup>N</sup>	AH	0.27±0.02 <sup>d</sup>	1.07±0.16 <sup>c</sup>	1.59±0.16 <sup>b</sup>	2.67±0.21 <sup>a</sup>	2.67±0.09 <sup>a</sup>
荠 <i>Capsella bursa-pastoris</i> <sup>N</sup>	AH/ PH	7.46±0.35 <sup>a</sup>	5.86±0.29 <sup>b</sup>	3.47±0.34 <sup>c</sup>	1.61±0.15 <sup>d</sup>	1.33±0.22 <sup>d</sup>
藜 <i>Chenopodium album</i> <sup>N</sup>	AH	1.33±0.05 <sup>a</sup>	0.53±0.04 <sup>c</sup>	1.26±0.03 <sup>a</sup>	0.80±0.05 <sup>b</sup>	-
鸭跖草 <i>Commelina communis</i> <sup>N</sup>	AH	14.35±1.36 <sup>a</sup>	3.47±0.20 <sup>d</sup>	1.59±0.12 <sup>e</sup>	5.33±0.35 <sup>c</sup>	8.53±0.46 <sup>b</sup>
野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> <sup>I</sup>	AH	-	-	1.07±0.16 <sup>b</sup>	-	1.59±0.12 <sup>a</sup>
香附子 <i>Cyperus rotundus</i> <sup>I</sup>	PH	12.53±1.40 <sup>a</sup>	4.53±0.42 <sup>c</sup>	6.93±0.34 <sup>b</sup>	2.67±0.26 <sup>d</sup>	4.53±0.29 <sup>c</sup>
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> <sup>N</sup>	AH	104.82±5.54 <sup>a</sup>	73.85±2.94 <sup>b</sup>	59.02±5.03 <sup>c</sup>	39.27±2.54 <sup>d</sup>	25.07±2.41 <sup>c</sup>
稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> <sup>N</sup>	AH	1.59±0.08 <sup>c</sup>	13.58±0.80 <sup>a</sup>	5.07±0.25 <sup>d</sup>	6.13±0.15 <sup>c</sup>	8.81±0.51 <sup>b</sup>
牛筋草 <i>Eleusine indica</i> <sup>I</sup>	AH	107.37±11.64 <sup>a</sup>	45.61±6.37 <sup>b</sup>	13.86±0.94 <sup>c</sup>	10.66±0.77 <sup>cd</sup>	6.39±0.45 <sup>d</sup>
问荆 <i>Equisetum arvense</i> <sup>N</sup>	PH	1.61±0.05 <sup>b</sup>	2.38±0.46 <sup>a</sup>	1.07±0.11 <sup>c</sup>	1.61±0.17 <sup>b</sup>	2.41±0.24 <sup>a</sup>
苦荞麦 <i>Fagopyrum tataricum</i> <sup>N</sup>	AH	1.07±0.12 <sup>cd</sup>	0.8±0.09 <sup>d</sup>	1.22±0.06 <sup>c</sup>	1.61±0.07 <sup>b</sup>	2.67±0.33 <sup>a</sup>
牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i> <sup>I</sup>	AH	95.73±15.92 <sup>a</sup>	64.27±6.45 <sup>b</sup>	26.93±3.85 <sup>c</sup>	15.74±1.01 <sup>d</sup>	13.33±1.56 <sup>d</sup>
猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i> <sup>N</sup>	AH/ PH	2.13±0.15 <sup>a</sup>	0.81±0.09 <sup>d</sup>	1.07±0.12 <sup>c</sup>	1.07±0.13 <sup>c</sup>	1.61±0.10 <sup>b</sup>
假酸浆 <i>Nicandra physalodes</i> <sup>I</sup>	AH	2.41±32 <sup>a</sup>	0.81±0.09 <sup>b</sup>	0.81±0.12 <sup>b</sup>	-	-
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i> <sup>N</sup>	PH	5.87±0.18 <sup>a</sup>	4.78±0.21 <sup>b</sup>	2.13±0.14 <sup>c</sup>	1.86±0.19 <sup>d</sup>	-
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i> <sup>N</sup>	AH	2.93±0.14 <sup>b</sup>	10.13±1.11 <sup>a</sup>	1.87±0.18 <sup>c</sup>	-	1.33±0.21 <sup>d</sup>
车前 <i>Plantago asiatica</i> <sup>N</sup>	AH/ PH	0.53±0.04 <sup>b</sup>	-	0.53±0.05 <sup>b</sup>	1.07±0.11 <sup>a</sup>	1.06±0.07 <sup>a</sup>
早熟禾 <i>Poa annua</i> <sup>N</sup>	AH	1.33±0.19 <sup>c</sup>	2.13±0.18 <sup>d</sup>	2.38±0.19 <sup>c</sup>	2.67±0.22 <sup>b</sup>	3.72±0.13 <sup>a</sup>
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i> <sup>N</sup>	AH	48.26±2.53 <sup>a</sup>	28.53±2.27 <sup>b</sup>	12.53±1.43 <sup>c</sup>	7.47±0.27 <sup>d</sup>	5.87±0.24 <sup>c</sup>
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i> <sup>I</sup>	AH/ PH	5.33±0.27 <sup>a</sup>	2.67±0.18 <sup>b</sup>	2.13±0.22 <sup>c</sup>	1.61±0.16 <sup>d</sup>	-
马鞭草 <i>Verbena officinalis</i> <sup>N</sup>	PH	-	0.53±0.07 <sup>b</sup>	-	1.61±0.21 <sup>a</sup>	1.60±0.06 <sup>a</sup>

同一行不同字母表示差异显著, 显著性水平为0.05。AH为一年生草本, PH为多年生草本。I为入侵种, N为非入侵种。  
Different letters in the same row are significantly different at 0.05 level. AH, Annual herb; PH, Perennial herb. I, Invasive species; N, Native species.

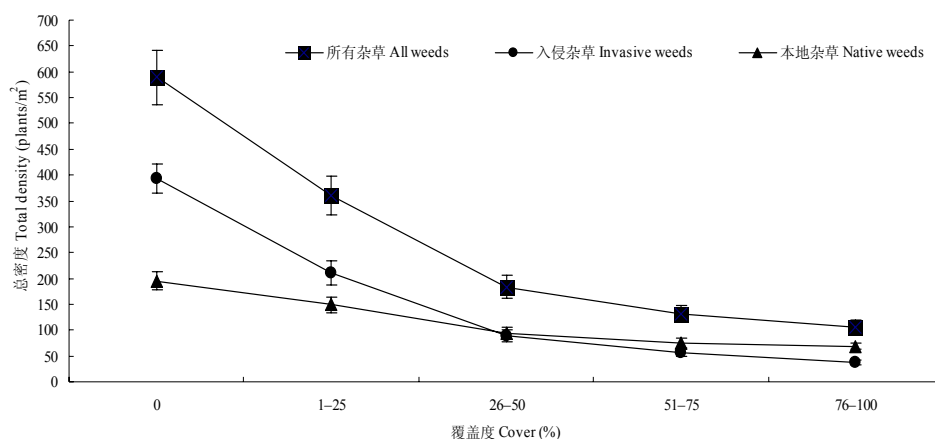


图1 不同红薯覆盖度下杂草总密度及入侵杂草和本地杂草总密度

Fig. 1 Total density of all grass, invasive grass and native grass under different sweet potato cover scenarios

所有物种的68%), 多年生和一年生或多年生各有4种。从入侵性看, 入侵杂草和本地杂草分别为9种和16种, 分别占有所有物种的36%和64%。

从密度来看, 马唐(*Digitaria sanguinalis*)、藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)、鬼针草(*Bidens pilosa*)、牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)、牛筋草(*Eleusine indica*)为优势杂草, 在所有覆盖度的红薯群落中都有出现。随红薯覆盖度增加, 优势杂草以及芥(*Capsella bursa-pastoris*)、酢浆草(*Oxalis corniculata*)和苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)等物种的密度显著降低, 而打碗花(*Calystegia hederacea*)和早熟禾(*Poa annua*)的密度却显著增加, 其余物种的密度变化并不明显。随红薯覆盖度增加, 杂草总密度(所有物种)、入侵杂草密度和本地杂草密度均显著降低; 当红薯覆盖度小于50%时入侵杂草总密度明显大于本地杂草; 而当红薯覆盖度大于51%时本地杂草总密度则大于入侵杂草(图1)。

## 2.2 杂草重要值及相关性

从表2中可以看出, 6种优势杂草的重要值也是最高的, 决定着群落种类与结构; 其次为芥、苦苣菜、稗(*Echinochloa crusgalli*)、鸭跖草(*Commelina communis*)和香附子(*Cyperus rotundus*)。随红薯覆盖度的增加, 不同植物的重要值呈现出不同的变化: 6种优势杂草和芥的重要值与红薯覆盖度呈显著负相关( $P < 0.05$ ), 而稗和铁苋菜(*Acalypha australis*)的重要值与红薯覆盖度成显著正相关( $P < 0.05$ )(表2)。

## 2.3 杂草多样性

在红薯覆盖度为1–25%和26–50%时, 杂草群落的物种丰富度(23.5、24.5)、Simpson指数(0.89、0.85)、Shannon-Wiener指数(2.36、2.35)和Pielou均匀度指数(0.75、0.73)较高(表3), 然后随红薯覆盖度增加而显著降低, 且红薯覆盖度51–100%时各指数显著低于对照(0%)。这一结果说明中低水平的红薯覆盖度有利于提高群落的物种丰富度、物种多样性和均匀度, 而较高的覆盖度会降低杂草群落的物种多样性。

## 3 讨论

在农业生态系统中, 杂草群落的演替由自然环境和人为活动共同决定(Ball, 1992; 陈欣等, 1999)。相同生态环境条件下由于物种的趋同进化, 大多数杂草会形成相似的物候期(Fuhrer, 2003), 然而不同的农业种植系统使各类作物的农田杂草群落和物种具有明显的区别(强胜等, 2003; Davis *et al.*, 2005; 李儒海等, 2008; 田欣欣等, 2011)。本研究区域属于亚热带干旱农业生态系统, 旱地农作物以玉米为主, 套种、轮种或单种红薯和蔬菜, 因此红薯田杂草群落和物种接近玉米田。有17种杂草在所有红薯覆盖度群落均出现, 说明大多数杂草为常见种。马唐、藿香蓟、鬼针草、牛膝菊、马齿苋和牛筋草是红薯田的优势杂草, 这与一些研究人员对玉米田和红薯田的研究结果相吻合(魏守辉等, 2006; 申时才等, 2012b; 张勇等, 2012)。从入侵性看, 本地种在物

表2 不同红薯覆盖度的红薯种植田中杂草物种重要值(平均值±标准差)(%)  
Table 2 Weed importance values under different sweet potato cover scenarios (mean±SD) (%)

种名 Weed name	红薯覆盖度 Cover of sweet potato					P	相关系数 Relative coefficient (R)
	0%	1–25%	26–50%	51–75%	76–100%		
铁苋菜 <i>Acalypha australis</i>	2.62±0.33 <sup>d</sup>	3.22±0.19 <sup>c</sup>	4.80±0.33 <sup>b</sup>	5.08±0.16 <sup>b</sup>	7.54±0.45 <sup>a</sup>	0.008	0.964
藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	45.18±2.53 <sup>a</sup>	32.05±1.64 <sup>b</sup>	22.57±1.68 <sup>c</sup>	17.04±0.99 <sup>d</sup>	15.67±0.74 <sup>d</sup>	0.012	−0.954
苋 <i>Amaranthus tricolor</i>	4.95±0.22 <sup>b</sup>	4.95±0.26 <sup>b</sup>	2.56±0.15 <sup>c</sup>	7.37±0.54 <sup>a</sup>	5.38±0.31 <sup>b</sup>	0.620	0.303
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	33.22±2.26 <sup>a</sup>	27.32±2.23 <sup>b</sup>	23.41±0.76 <sup>c</sup>	20.81±1.11 <sup>d</sup>	8.47±0.64 <sup>c</sup>	0.009	−0.963
打碗花 <i>Calystegia hederacea</i>	2.25±0.27 <sup>d</sup>	4.63±0.40 <sup>c</sup>	7.24±0.60 <sup>a</sup>	6.06±0.47 <sup>b</sup>	6.41±0.37 <sup>b</sup>	0.114	0.787
芥 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	11.71±0.77 <sup>a</sup>	9.66±0.77 <sup>b</sup>	5.33±0.38 <sup>c</sup>	5.05±0.33 <sup>c</sup>	4.99±0.24 <sup>c</sup>	0.032	−0.911
藜 <i>Chenopodium album</i>	2.46±0.17 <sup>c</sup>	2.39±0.11 <sup>c</sup>	3.08±0.15 <sup>a</sup>	2.73±0.10 <sup>b</sup>	—	0.875	0.094
鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	14.66±0.91 <sup>a</sup>	7.25±0.24 <sup>c</sup>	2.77±0.17 <sup>d</sup>	13.23±1.38 <sup>b</sup>	12.98±1.20 <sup>b</sup>	0.895	0.082
野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i>	—	—	4.91±0.23 <sup>b</sup>	—	5.71±0.30 <sup>a</sup>	0.579	0.356
香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	9.93±0.45 <sup>ab</sup>	9.54±1.12 <sup>ab</sup>	10.65±1.26 <sup>a</sup>	7.94±0.58 <sup>c</sup>	9.18±0.57 <sup>bc</sup>	0.403	−0.489
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	37.36±1.44 <sup>a</sup>	34.65±2.58 <sup>b</sup>	34.22±1.40 <sup>b</sup>	32.23±0.66 <sup>bc</sup>	30.02±0.93 <sup>c</sup>	0.003	−0.983
稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	4.71±0.31 <sup>c</sup>	6.66±0.40 <sup>b</sup>	5.91±0.49 <sup>b</sup>	11.31±0.66 <sup>a</sup>	10.82±1.09 <sup>a</sup>	0.042	0.891
牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	33.58±1.49 <sup>a</sup>	22.38±1.61 <sup>b</sup>	17.47±0.46 <sup>c</sup>	15.23±0.60 <sup>d</sup>	11.57±0.50 <sup>e</sup>	0.013	−0.950
问荆 <i>Equisetum arvense</i>	4.67±0.45 <sup>b</sup>	7.13±0.52 <sup>a</sup>	2.71±0.31 <sup>c</sup>	5.15±0.54 <sup>b</sup>	7.76±0.62 <sup>a</sup>	0.588	0.329
苦荞麦 <i>Fagopyrum tataricum</i>	2.45±0.37 <sup>d</sup>	4.76±0.38 <sup>c</sup>	0.80±0.06 <sup>e</sup>	5.47±0.53 <sup>b</sup>	8.24±0.72 <sup>a</sup>	0.242	0.643
牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	45.05±2.17 <sup>a</sup>	33.52±1.18 <sup>b</sup>	30.87±1.91 <sup>c</sup>	24.15±0.64 <sup>d</sup>	20.79±0.96 <sup>e</sup>	0.006	−0.972
猪殃殃 <i>Galium aparine</i> var. <i>tenerum</i>	4.74±0.47 <sup>b</sup>	2.38±0.19 <sup>c</sup>	2.71±0.37 <sup>c</sup>	2.79±0.35 <sup>c</sup>	5.31±0.44 <sup>a</sup>	0.767	0.184
假酸浆 <i>Nicandra physalodes</i>	6.89±0.47 <sup>a</sup>	2.44±0.34 <sup>c</sup>	4.73±0.27 <sup>b</sup>	—	—	0.067	−0.852
酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>	9.39±0.57 <sup>a</sup>	5.16±0.25 <sup>b</sup>	5.11±0.27 <sup>b</sup>	5.21±0.32 <sup>b</sup>	—	0.128	−0.766
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	6.88±0.42 <sup>b</sup>	8.08±0.77 <sup>a</sup>	2.84±0.33 <sup>c</sup>	—	3.01±0.30 <sup>c</sup>	0.199	−0.706
车前 <i>Plantago asiatica</i>	2.31±0.47 <sup>b</sup>	—	2.61±0.32 <sup>b</sup>	3.13±0.23 <sup>a</sup>	3.32±0.35 <sup>a</sup>	0.274	0.610
早熟禾 <i>Poa annua</i>	4.57±0.40 <sup>d</sup>	7.11±0.59 <sup>b</sup>	7.66±0.64 <sup>b</sup>	5.72±0.47 <sup>c</sup>	8.55±0.61 <sup>a</sup>	0.228	0.657
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	21.17±1.58 <sup>a</sup>	14.70±0.76 <sup>b</sup>	11.91±1.06 <sup>c</sup>	9.39±0.28 <sup>d</sup>	9.18±0.30 <sup>d</sup>	0.020	−0.935
苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	13.81±1.39 <sup>a</sup>	7.15±0.53 <sup>b</sup>	7.33±0.67 <sup>b</sup>	7.37±0.76 <sup>b</sup>	—	0.087	−0.823
马鞭草 <i>Verbena officinalis</i>	—	2.34±0.29 <sup>b</sup>	—	2.93±0.42 <sup>a</sup>	3.09±0.39 <sup>a</sup>	0.346	0.551

同一行不同字母表示0.05水平上差异显著 Different letters in the same row are significantly different at 0.05 level.

表3 红薯种植田杂草群落多样性指数(平均值±标准差)  
Table 3 Biodiversity indices of weed communities under different sweet potato cover scenarios (mean±SD)

红薯覆盖度 Cover of sweet potato	多样性指数 Diversity indices			
	物种丰富度 Species richness (S)	Simpson多样性指数 Simpson index (D)	Shannon-Wiener多样性指数 Shannon-Wiener index (H)	Pielou均匀度指数 Pielou index (J)
0%	22.5±0.6 <sup>bc</sup>	0.84±0.02 <sup>b</sup>	2.19±0.03 <sup>b</sup>	0.70±0.01 <sup>bc</sup>
1–25%	23.5±0.6 <sup>ab</sup>	0.89±0.02 <sup>a</sup>	2.36±0.09 <sup>a</sup>	0.75±0.02 <sup>a</sup>
26–50%	24.5±0.6 <sup>a</sup>	0.85±0.01 <sup>b</sup>	2.35±0.05 <sup>a</sup>	0.73±0.02 <sup>ab</sup>
51–75%	22.3±1.0 <sup>c</sup>	0.79±0.02 <sup>c</sup>	2.11±0.02 <sup>c</sup>	0.68±0.01 <sup>c</sup>
76–100%	21.5±0.6 <sup>c</sup>	0.65±0.01 <sup>d</sup>	1.79±0.03 <sup>d</sup>	0.59±0.03 <sup>d</sup>

同一列不同字母表示0.05水平上差异显著 Different letters in the same column are significantly different at the 0.05 level.

种丰富度上具有一定的优势,但6种优势杂草中本地种只有2种;红薯覆盖度较低时(0–25%)时入侵类杂草密度占有所有杂草密度的58–67%,中等水平(26–50%)时占49%,较高水平(51–100%)时占35–43%,说明本区域杂草群落中入侵物种已占据明显优势,

本地物种有逐渐被取代的危险,因此应当采取适当的控制措施。

杂草综合治理的目的是总体上控制杂草的发生总量,维持农田杂草的多样性,利用杂草种群间的相互制约,不使某一种恶性杂草占有绝对优势

(郭水良和赵铁桥, 1997)。在具体的农业防控与管理过程中主要是针对优势种和主要物种, 采取化学、人工和生物防治等措施降低其种群数量从而促进作物的稳产高产。很多研究表明, 免耕覆盖、地膜覆盖、农作物间套种、水旱交替轮作等措施(赵欣等, 2009; 韩惠芳等, 2010; 张丹等, 2010)不仅能有效地抑制优势杂草的数量, 还有良好的生态和经济效益。本研究中随红薯覆盖度增加, 6种优势杂草和常见种芥的重要值与红薯覆盖度成显著负相关( $P < 0.05$ ), 而常见种稗和铁苋菜的重要值与红薯覆盖度成显著正相关( $P < 0.05$ ), 说明红薯种植改变了群落结构和主要杂草的重要性而有利于其他常见物种的恢复。结合红薯田杂草密度和重要值, 可以得出红薯对入侵杂草的控制效果明显高于本地种。红薯对农田优势杂草或入侵植物密度和重要值的显著控制, 主要是由于红薯较快的生长速度和较强的覆盖能力造成的。申时才等(2012a)的研究表明红薯生长速度快, 4个月内主茎长和分枝长分别可达 205 cm 和 137 cm; 覆盖和遮光能力强, 叶柄长和叶面积分别可达 17 cm 和 103 cm<sup>2</sup>, 易降低其他杂草的光合作用; 具有大量的茎节不定根而形成较强的土壤养分和水资源竞争优势。因此, 在杂草群落中红薯能降低一些喜旱喜光的恶性杂草或入侵杂草的生物量和种群数量。

与其他生态系统相比, 农业生态系统是较脆弱的, 生物多样性也较低, 因此其可持续管理的目标之一是维持或增加农业生物多样性。一些研究表明, 高强度或低强度的干扰会导致生物多样性的降低, 而中等强度的干扰反而会促进生物多样性的提高(Huston, 1979; 王长庭等, 2008; 申时才等, 2010)。通常, 入侵物种由于较强的生长繁殖能力而降低群落的生物多样性, 而本地物种则有可能增加农业生物多样性(万方浩等, 2002; 高慧等, 2006)。本研究发现在红薯覆盖度为 1–50% 时, 杂草群落的物种丰富度、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数较高, 然后随红薯覆盖度增加而显著降低, 说明中低等红薯覆盖度有利于提高物种多样性。在红薯单独种植形成单一的作物群落中, 较高的红薯覆盖度降低杂草多样性; 在中低等覆盖度群落中, 适当降低优势杂草的密度, 并使一些本地杂草的密度增加, 从而有利于提高物种多样性; 而没有红薯出现的群落一些优势杂草尤其

是入侵物种形成单一群落, 排挤和限制其他的常见植物, 导致杂草群落的物种多样性也较低。

总之, 本研究表明红薯种植降低了农田主要优势杂草的密度和重要值, 改变了杂草群落结构。在中低等覆盖度下提高杂草物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数, 从而可能促进农业生态系统的恢复。关于红薯不同种植时间和不同品种对农田杂草群落和物种多样性的影响以及红薯对杂草的化感作用等, 有待于进一步深入研究, 以便为红薯进行大面积的田间杂草替代利用和管理提供更加全面和深入的理论基础。

**致谢:** 感谢加拿大 Trinity Western University 生物学系 David Roy Clements 博士对英文摘要的润色。

## 参考文献

- Ball DA (1992) Weed seedbank response to tillage, herbicides, and crop rotation sequence. *Weed Science*, **40**, 654–659.
- Chauhan BS, Johnson DE (2011) Row spacing and weed control timing affect yield of aerobic rice. *Field Crops Research*, **121**, 226–231.
- Chen X (陈欣), Tang JJ (唐建军), Wang ZQ (王兆骞) (1999) The impacts of agricultural activities on biodiversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **7**, 234–239. (in Chinese with English abstract)
- Chen X (陈欣), Wang ZQ (王兆骞), Tang JJ (唐建军) (2000) The ecological functions of weed biodiversity in agroecosystem. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **19**, 50–52. (in Chinese with English abstract)
- Davis AS, Renner KA, Gross KL (2005) Weed seedbank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. *Weed Science*, **53**, 296–306.
- Fuhrer J (2003) Agroecosystem responses to combinations of elevated CO<sub>2</sub>, ozone and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **97**, 1–20.
- Gao H (高慧), Peng XW (彭筱葳), Li B (李博), Wu QH (吴千红), Dong HQ (董慧琴) (2006) Effects of the invasive plant *Spartina alterniflora* on insect diversity in Jiuduansha wetlands in the Yangtze River Estuary. *Biodiversity Science* (生物多样性), **14**, 400–409. (in Chinese with English abstract)
- Guo SL (郭水良), Zhao TQ (赵铁桥) (1997) Influences of herbicide application on weed microevolution and diversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **5**, 301–306. (in Chinese with English abstract)
- Han HF (韩惠芳), Ning TY (宁堂原), Tian SZ (田慎重), Wang Y (王瑜), Wang BW (王丙文), Zhong WL (仲惟磊), Li ZJ (李增嘉), Tian XX (田欣欣) (2010) Effects of soil tillage and straw returning on weed biodiversity in summer maize (*Zea mays*) field. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报),

- 30, 1140–1147. (in Chinese with English abstract)
- Huston M (1979) A general hypothesis of species diversity. *The American Naturalist*, **113**, 81–101.
- Li RH (李儒海), Qiang S (强胜), Qiu DS (邱多生), Chu QH (储秋华), Pan GX (潘根兴) (2008) Effects of long-term different fertilization regimes on the diversity of weed communities in oilseed rape fields under rice–oilseed rape cropping system. *Biodiversity Science* (生物多样性), **16**, 118–125. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平), Liu YM (刘玉明) (1994) Measurement of biotic community diversity. I.  $\alpha$  diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**, 231–239. (in Chinese)
- Qiang S (强胜), Shen JM (沈俊明), Zhang CQ (张成群), Shao GY (邵耕耘), Hu JL (胡金良), Wang FL (王凤良) (2003) The influence of cropping systems on weed communities in the cotton fields of Jiangsu Province. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **27**, 278–282. (in Chinese with English abstract)
- Sakonnakhon SPN, Cadisch G, Toomsan B, Vityakon P, Lim-pinuntana V, Jogloy S, Patanothai A (2006) Weeds—friend or foe? The role of weed composition on stover nutrient recycling efficiency. *Field Crops Research*, **97**, 238–247.
- Shen SC (申时才), David M, Qian J (钱洁), Zhang FD (张付斗) (2010) Relationships of *Rumex nepalensis* distribution and plant species diversity of alpine rangeland in northwestern Yunnan Province. *Pratacultural Science* (草业科学), **27**, 29–33. (in Chinese with English abstract)
- Shen SC (申时才), Xu GF (徐高峰), Zhang FD (张付斗), Jin GM (金桂梅), Li TL (李天林), Zhang YH (张玉华) (2013) Competitive effect of *Pistia stratiotes* to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **33**, 5523–5530. (in Chinese with English abstract)
- Shen SC (申时才), Xu GF (徐高峰), Zhang FD (张付斗), Li TL (李天林), Zhang YH (张玉华) (2012a) Competitive effect of *Ipomoea batatas* to *Mikania micrantha*. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **31**, 850–855. (in Chinese with English abstract)
- Shen SC (申时才), Zhang FD (张付斗), Xu GF (徐高峰), Li TL (李天林), Wu D (吴迪), Zhang YH (张玉华) (2012b) Occurrence and infestation of invasive weed in crop field in Yunnan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* (西南农业学报), **25**, 554–561. (in Chinese with English abstract)
- Shi LL (施林林), Shen MX (沈明星), Jiang M (蒋敏), Lu CY (陆长婴), Wang HH (王海侯), Wu TD (吴彤东), Zhou XW (周新伟), Shen XP (沈新平) (2013) Effect of long-term different fertilization management on weed community in rice-wheat rotation field. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), **46**, 310–316. (in Chinese with English abstract)
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.
- Singh JS (2002) The biodiversity crisis: a multifaceted review. *Current Science*, **82**, 638–647.
- Tian XX (田欣欣), Bo CY (薄存瑶), Li L (李丽), Xu DD (徐东东), Ning TY (宁堂原), Han HF (韩惠芳), Tian SZ (田慎重), Li ZJ (李增嘉) (2011) Effects of different soil tillage systems on weed biodiversity and wheat yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) field. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **31**, 2768–2775. (in Chinese with English abstract)
- Wan FH (万方浩), Guo JY (郭建英), Wang DH (王德辉) (2002) Alien invasive species in China: their damages and management strategies. *Biodiversity Science* (生物多样性), **10**, 119–125. (in Chinese with English abstract)
- Wang CT (王长庭), Long RJ (龙瑞军), Wang QL (王启兰), Cao GM (曹广民), Shi JJ (施建军), Du YG (杜岩功) (2008) Response of plant diversity and productivity to soil resources changing under grazing disturbance on an alpine meadow. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **28**, 4144–4152. (in Chinese with English abstract)
- Wei SH (魏守辉), Zhang CX (张朝贤), Zhai GY (翟国英), Li XJ (李香菊), Wang RW (王睿文) (2006) Species composition and characterization of weed community in maize fields in Hebei Province. *Acta Phytocologica Sinica* (植物保护学报), **33**, 212–218. (in Chinese with English abstract)
- Yang JY (杨健源), Yang XZ (杨贤智) (1998) Research and applied advances of weed science in China. *Guangdong Agricultural Sciences* (广东农业科学), **10**, 26–29. (in Chinese)
- Yang RY, Tang JJ, Chen X, Hu SJ (2007) Effects of coexisting plant species on soil microbes and soil enzymes in metal lead contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, **37**, 240–246.
- Zhang Y (张勇), Liu Z (刘震), Lu XT (路兴涛), Zhang CL (张成玲), Zhang TT (张田田), Ma SZ (马士仲) (2012) Investigation of weeds in sweet potato field of Tai'an, Shandong Province. *Weed Science* (杂草科学), **30**, 43–45. (in Chinese with English abstract)
- Zhang D (张丹), Min QW (闵庆文), Cheng SK (成升魁), Yang HL (杨海龙), He L (何露), Jiao WJ (焦雯珺), Liu S (刘珊) (2010) Effects of different rice farming systems on paddy field weed community. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **21**, 1603–1608. (in Chinese with English abstract)
- Zhao X (赵欣), Lin CW (林超文), Xu MQ (徐明桥), Huang JJ (黄晶晶), Chen YB (陈一兵), Li CR (李传仁), Cai QN (蔡青年) (2009) Effect of film-mulched treatment on weed diversity in rice field. *Biodiversity Science* (生物多样性), **17**, 195–200. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 强胜 责任编辑: 周玉荣)