

# 玉米田养鹅措施对杂草群落生态特征的影响

张宇阳<sup>1</sup> 沙志鹏<sup>1</sup> 关法春<sup>1,2\*</sup> 王军峰<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (西藏大学农牧学院, 西藏林芝 860000)

<sup>2</sup> (中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101)

**摘要:** 探索如何在利用和控制农田杂草的同时又能维持较高的杂草群落多样性的生产方式, 是当前农业发展的重要方向。作者以“农牧一体化”生产方式下的“玉米(*Zea mays*)田养鹅”处理和常规玉米种植处理为研究对象, 探讨了玉米田养鹅处理放牧前后及同期常规玉米种植处理下杂草生态位、功能群结构和杂草群落生物多样性的变化。结果表明: (1)在玉米田养鹅模式下, 黑麦草(*Lolium multiflorum*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)在放牧前的生态位宽度较大, 但放牧后黑麦草、紫花苜蓿的生态位宽度减小, 而灰绿藜、尼泊尔蓼(*Polygonum nepalense*)、西南草莓(*Fragaria moupinensis*)和老鹳草(*Geranium sibiricum*)等物种的生态位宽度则有不同程度的增大, 放牧后群落内新增加了7种杂草; 对照中, 前期丝叶球柱草(*Bulbostylis densa*)的生态位宽度最大, 而后期鼠麴草(*Gnaphalium affine*)的生态位宽度变为最大, 新增2种杂草。(2)放牧前玉米田养鹅处理下的黑麦草和紫花苜蓿的重叠度最大, 而放牧后黑麦草和西南草莓的重叠度变为最大; 在常规玉米种植模式下, 前期丝叶球柱草和马唐(*Digitaria sanguinalis*)的重叠度最高, 而后期丝叶球柱草和鼠麴草的重叠度最高。(3)两种模式下放牧前后均是一年生双子叶(DA)杂草功能群占据最大优势, 但玉米田养鹅处理模式下放牧后多年生功能类群所占的比例较放牧前增加, 且分配更均匀。(4)放牧前, 玉米田养鹅处理的Shannon-Wiener多样性指数、Margalef物种丰富度指数和Simpson多样性指数均高于对照, 其中Shannon-Wiener多样性指数和Margalef物种丰富度指数差异显著( $P < 0.05$ ,  $n=3$ ), 而Pielou均匀度指数低于对照, 但差异并不显著( $P > 0.05$ ,  $n=3$ ); 放牧后玉米田养鹅处理的Shannon-Wiener多样性指数和Margalef物种丰富度指数仍显著高于对照( $P < 0.05$ ,  $n=3$ ), 而Pielou均匀度指数和Simpson多样性指数则分别显著低于对照 ( $P < 0.05$ ,  $n=3$ )。放牧前后, 玉米田养鹅处理杂草群落的地上总生物量均高于对照, 但差异不显著( $P > 0.05$ ,  $n=3$ )。(5)玉米田养鹅处理的玉米产量与对照相比减产4.0%, 但并未达到显著差异( $P > 0.05$ ,  $n=12$ )。总的来看, 玉米田养鹅生产方式维持了较高的农田生态系统生物多样性, 虽然造成了一定的减产, 但可通过鹅的产出获得更高的经济效益。

**关键词:** 杂草, 农牧一体化, 生态位, 功能群, 生物多样性, 产量

## Effect of raising geese in cornfield on ecological characteristics of weed community

Yuyang Zhang<sup>1</sup>, Zhipeng Sha<sup>1</sup>, Fachun Guan<sup>1,2\*</sup>, Junfeng Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Agriculture and Animal Husbandry College, Tibet University, Linzhi, Tibet 860000

<sup>2</sup> Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

**Abstract:** Weeds have a direct impact on crop quality and yield in agricultural systems. In order to explore a production mode which can control and utilize weeds while maintaining a high weed diversity and a high crop yield, we experimentally compared weeds by raising geese in corn fields (hereinafter referred to as RGICF) and conventionally planting corn fields (CK) in 2013. Weed niche breadth, the structure of community and functional groups and diversity were compared between the periods of BG (before the RGICF treatment was grazed by geese) and AG (after the RGICF treatment was grazed by geese) to observe changes. RGICF is a compound production pattern based on the principle of “Agro-pastoral Integration”, a concept

收稿日期: 2014-01-06; 接受日期: 2014-05-27

基金项目: 中国科学院-西藏创新集群项目“促进农牧民增收的西藏农牧结合技术体系构建与示范”和西藏自治区自然科学基金项目“西藏农牧一体化理论的构建及技术途径”

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: guanfachun@163.com

proposed in 2011, that uses resources like weeds and the bottom leaves of crops in a tillage system to raise poultry. However, questions remain about the system including its effects on biodiversity, weed community structure, and total biomass. Results indicated that *Lolium multiflorum*, *Medicago sativa*, and *Chenopodium glaucum* had the highest niche breadth during BG in RGICF, and the niche breadths of *C. glaucum*, *Polygonum nepalense*, *Fragaria moupinensis* and *Geranium pratense* increased to different extents while those of *L. multiflorum* and *M. sativa* decreased during AG. Additionally, seven weed species were found only during AG. In the CK treatment, *Bulbostylis densa* had the highest niche breadth during BG, while *Gnaphalium affine* had the highest during AG. Here, two new weed species were found only during AG. The niche overlap of *L. perenne* and *M. sativa* was the highest during BG, and *L. perenne* overlapped most with *F. moupinensis* during AG. While in CK, the niche overlap of *Bulbostylis densa* and *Digitaria sanguinalis* was greatest during BG, and the niches of *B. densa* and *Gnaphalium affine* overlapped the most during AG. In the two treatments, the dicotyledonous annuals (DA) was the dominant functional group during both BG and AG, and the distribution proportion of perennials increased with a more balanced distribution during AG in RGICF. During BG, Shannon-Wiener diversity index and Margalef richness index were significantly higher in RGICF than in CK ( $P < 0.05$ ,  $n=3$ ), and these measures increase during AG and remained higher in RGICF. Pielou evenness index did not differ between the treatments ( $P > 0.05$ ,  $n=3$ ). Simpson diversity index of weeds in RGICF was higher than CK during BG but significantly lower than CK ( $P < 0.05$ ,  $n=3$ ) during AG. The biomass of above ground weeds in RGICF was higher than that of CK ( $P > 0.05$ ,  $n=3$ ), during both BG and AG. Compared with CK, the corn yield in RGICF was lower ( $P > 0.05$ ,  $n=3$ ); yields decreased 4%. In summary, although the RGICF production mode reduced corn yields, the practice maintains high biodiversity in agro-ecosystems, and may compensate or even overcompensate yield loss through the production of geese.

**Key words:** weeds, agro-pastoral integration, niche, functional groups, biodiversity, yield

杂草一直是困扰农业发展、阻碍农作物产量和品质提高的重要因素之一(欧巧明等, 2010)。当前杂草防治主要依赖化学除草剂, 但化学除草剂残留所带来的环境污染(Buster, 1990)、食品安全(邓建才等, 2005)和生物多样性下降(Boutin & Jobin, 1998)等问题日益突出。同时, 杂草又是重要的资源植物, 其丰富的养分可作为牲畜的饲草(陈欣等, 2003); 农田杂草生物多样性的保持有利于防止土壤侵蚀, 具有促进养分循环、消除环境污染等功能(陈欣等, 2000), 并可增加害虫天敌数量(Wyss, 1996)。那么, 如何在降低杂草对农作物生长的影响和发挥杂草生态功能之间达到平衡? 这是目前理论和实践研究中的难点。

生态位理论是评价生态系统内种间和种内关系及种群在群落中地位的重要手段(Grinnell, 1917; 赵永华等, 2004)。生态位不仅能体现物种对资源的利用, 还能反映物种之间对资源的竞争等问题(郑方强等, 2008)。在当前的杂草生态位研究中, 生态位理论主要应用在农田杂草的治理、预测及相似性分析上。例如郭水良等(1998)的研究表明长期施用同一类除草剂, 虽然能控制敏感性优势杂草, 但同时也为非优势杂草(对该类除草剂不敏感)的生长和

蔓延创造了生态位空间, 使它们很有可能成为优势杂草; 马丽荣(2006)则认为非敏感性杂草必须与原优势杂草(对除草剂敏感)的生态特性相似, 才能利用敏感性优势杂草所“空缺”下来的生态位成为新的优势杂草。

在大田杂草利用技术途径上, 关法春和王超(2011)提出“农牧一体化”生产方式, 是指“在同一块土地上, 在收获作物籽粒、块茎等植物经济产量的同时, 又利用同一空间内的植物茎叶(包括杂草等)、昆虫等资源, 进行畜禽等动物产品生产的一种复合型的生产方式”, 杂草在系统中作为畜禽饲草来源而被充分利用。但放牧对田间杂草群落动态、功能群结构以及生物多样性的影响目前尚不清楚。

为此, 本研究以“农牧一体化”生产方式下的“玉米(*Zea mays*)田养鹅”模式为研究对象, 对放牧前后杂草生态位、功能群结构和多样性变化进行调查, 旨在阐明以下两个问题: (1)鹅的放牧是否会对杂草群落结构、动态和生物多样性产生影响; (2)如何在控制农田杂草的同时, 又能维持较高的生产收入, 并维持农田生态系统较高的生物多样性, 从而为完善“农牧一体化”理论研究和模式建立提供必要的理论依据。

## 1 实验地区概况

实验地位于西藏林芝地区八一镇(29°33' N, 94°21' E)。该镇地处尼洋河下游河谷, 海拔2,980–3,100 m, 属藏东南温暖半湿润气候区, 全年平均温度为8.6℃, 全年日均温≥10℃的日数为159.2 d, ≥10℃以上的积温为2,225.7℃, 全年无霜期为177 d; 年平均降雨量为634.2 mm, 降水主要集中在6–9月, 占全年降雨量的71.6%; 全年日照时数为1,988.6 h, 日照百分率为46%。实验地原为荒地, 无遮荫。

## 2 方法

### 2.1 实验设计

实验于2013年在八一镇章麦村农田内进行。2013年4月28日进行玉米播种、覆膜, 玉米品种为‘酒单4号’, 每公顷施入复合肥400 kg作为底肥(N: 33%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 17%; K<sub>2</sub>O: 17%; 有机质: 20%)。玉米株行距为25 cm×45 cm, 小区面积为72 m<sup>2</sup>, 3次重复, 每个小区间隔1 m。

进入6月后, 在玉米田内设置两个处理: 玉米田养鹅处理和常规种植管理作为对照(CK)。玉米田养鹅处理的农田一直不除草, 并于6月28日在田间补播黑麦草(*Lolium multiflorum*)和紫花苜蓿(*Medicago sativa*), 播量分别为40 kg/ha和20 kg/ha, 小区四周用半米高尼龙网围封。8月28日放入雏鹅, 共10只, 在3个小区内轮流放牧, 间隔3日。常规种植管理使用除草剂“玉雕”(成分: 莠去津, 化学名: 2-氯-4-二乙氨基-6-异丙氨基-1, 3, 5-三嗪, 纯度: 90%)来进行杂草管理, 施用量为1.65 kg/ha (溶于120 L水), 利用背式喷雾器进行喷施, 喷头处罩上自制罩头避免除草剂飘散, 播种后施用一次, 90 d后再次施用。为便于与养鹅处理进行比较, 以养鹅处理是否放牧为时间节点, 分为前后两个时段。两种处理方式的其他生产措施相同。

### 2.2 数据采集

2013年8月20日对放牧前玉米农田的杂草进行调查。采用随机点采样法进行取样, 每个样方的取样面积均为1 m×1 m, 每小区3次重复, 记录样方内杂草的种类、株数和盖度等, 并将杂草带回实验室105℃杀青30 min, 80℃下烘干至恒重, 计算生物量。2013年10月1日对放牧后玉米田间杂草进行调查, 调查方式和内容与放牧前相同。产量测定于玉

米成熟期进行, 每个小区两头去4 m取中间2行(为防止边界效应), 分别装入尼龙网袋, 晒干脱粒称重, 以含水量14%时的重量作为小区产量。

### 2.3 数据统计与分析

#### 2.3.1 杂草生态位计算

生态位宽度体现了植物种群对环境资源的占有能力。植物种群的生态位宽度值越大, 其对环境适应、对资源占有和利用的能力越强, 在群落中更易占据优势地位。以玉米田养鹅处理的3个小区中的9个样点为单元, 构成资源序列, 以各杂草种的个体数目计算生态位宽度( $B$ )(赵利, 2010):

$$B = -\left(\sum_{i=1}^s C_i \times \ln C_i\right) / \ln s \quad (1)$$

$$C_i = N_i / N$$

$C_i$ 是第*i*个物种在第*i*个资源状态下所占的比例;  $N_i$ 为物种在第*i*个资源状态(9个样方)的数目;  $N$ 为物种在所有资源状态(9个样方)中的数目;  $s$ 为资源状态总数(本研究为9)。生态位重叠是指2个物种所利用资源(食物、营养、空间等)的相同程度, 其值越大, 表明2个物种所利用资源越相似, 在资源不足的情况下, 种间竞争越激烈。生态位重叠指数( $C_{ih}$ )的计算公式如下(赵利, 2010):

$$C_{ih} = 1 - \frac{1}{2} \sum \left| \frac{N_{ij}}{N_i} - \frac{N_{hj}}{N_h} \right| \quad (2)$$

$C_{ih}$ 为*i*种和*h*种之间的生态位重叠指数;  $N_{ij}$ 为*i*种在*j*资源等级中的数值;  $N_i$ 为*i*种在所有资源等级中的数值;  $N_{hj}$ 为*h*种在*j*资源等级中的出现数值;  $N_h$ 为*h*种在所有资源等级中的数值。生态位重叠指数的变化范围从0–1, 0表示完全不重叠, 1表示100%的重叠。

#### 2.3.2 杂草功能群分类

依照杂草类型、生长周期及子叶数量将杂草功能群分为5个功能群, 即单子叶一年生或越年生植物功能群(MA)、单子叶多年生植物功能群(MP)、双子叶一年或越年生植物功能群(DA)、双子叶多年生植物功能群(DP)、蕨类一年生植物功能群(FA)及蕨类多年生植物功能群(FP) (Puricelli & Tuesca, 2005)。

#### 2.3.3 杂草生物多样性

根据样地调查数据, 计算出各样地杂草种类的重要值(陈杰等, 2012), 杂草多样性的分析采用

Berger-Parker 多度 ( $P_i$ )(Berger & Parker, 1970)、Margalef物种丰富度指数( $DMG$ )(Margalef, 1972)、Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )(Shannon & Weaver, 1949)、Pielou均匀度指数( $E$ )(Pielou, 1966)和Simpson优势度指数( $D$ )(Simpson, 1949)来测度。

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

$$P_i = n_i / N \quad (4)$$

$$D_{MG} = (S - 1) \cdot (\ln N)^{-1} \quad (5)$$

$$H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i \quad (6)$$

$$E = H' / \ln S \quad (7)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i / N)^2 \quad (8)$$

$n_i$ 为样地中某种杂草重要值,  $N$ 为样地中杂草的总重要值,  $S$ 为各样地杂草群落中总物种数。

2.3.4 数据处理

利用Excel 2003和SPSS 21.0软件对不同处理的田间杂草数据进行计算, 均值进行 $t$ -检验。

3 结果

3.1 两种处理对杂草生态位的影响

3.1.1 杂草生态位宽度的变化

从表1中可以看出, 放牧前, 玉米田养鹅模式下黑麦草生态位宽度最大, 为0.998, 其次为紫花苜蓿和灰绿藜(*Chenopodium glaucum*), 均在0.900以上, 说明它们占据较大优势且分布均匀; 同期常规种植管理对照中由于除草剂的影响, 杂草种类较少, 其中丝叶球柱草(*Bulbostylis densa*)的生态位宽度值最大, 为0.977。放牧后, 在玉米田养鹅模式下鹅喜欢采食的黑麦草、紫花苜蓿、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、倒提壶(*Cynoglossum amabile*)和藏蓟(*Cirsium lanatum*)的生态位宽度均有所降低, 特别是早熟禾(*Poa annua*)不再出现, 鹅偶尔采食的灰绿藜、牛膝菊(*Galinsoga parviflora*)和鼠麴草(*Gnaphalium affine*)等11种的生态位宽度则有不同

表1 玉米田养鹅和常规种植模式下放牧前、后各杂草种群生态位宽度  
Table 1 Niche breadth of weed populations before and after grazing under treatments of raising geese in corn fields (RGICF)

| 种号<br>No. | 种名<br>Species                       | 放牧前 Before grazing |              | 放牧后 After grazing  |              |
|-----------|-------------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
|           |                                     | 玉米田养鹅种植模式<br>RGICF | 常规种植模式<br>CK | 玉米田养鹅种植模式<br>RGICF | 常规种植模式<br>CK |
| 1         | 黑麦草 <i>Lolium multiflorum</i>       | 0.998              | —            | 0.988              | —            |
| 2         | 紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i>         | 0.993              | —            | 0.961              | —            |
| 3         | 灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>      | 0.920              | —            | 0.925              | 0.500        |
| 4         | 牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>     | 0.814              | 0.460        | 0.859              | —            |
| 5         | 鼠麴草 <i>Gnaphalium affine</i>        | 0.850              | 0.828        | 0.898              | 0.955        |
| 6         | 丝叶球柱草 <i>Bulbostylis densa</i>      | 0.764              | 0.977        | 0.895              | 0.900        |
| 7         | 尼泊尔蓼 <i>Polygonum nepalense</i>     | 0.888              | 0.500        | 0.929              | 0.700        |
| 8         | 早熟禾 <i>Poa annua</i>                | 0.306              | —            | —                  | —            |
| 9         | 平车前 <i>Plantago depressa</i>        | 0.290              | —            | 0.631              | —            |
| 10        | 马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>     | 0.886              | 0.797        | 0.813              | 0.795        |
| 11        | 毛蕊花 <i>Verbascum thapsus</i>        | —                  | —            | 0.793              | —            |
| 12        | 倒提壶 <i>Cynoglossum amabile</i>      | 0.712              | —            | 0.579              | —            |
| 13        | 加拿大白酒草 <i>Conyza Canadensis</i>     | —                  | 0.543        | 0.869              | 0.702        |
| 14        | 大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>    | 0.846              | 0.000        | 0.849              | 0.901        |
| 15        | 川滇香薷 <i>Elsholtzia souliei</i>      | 0.802              | —            | 0.813              | —            |
| 16        | 藏蓟 <i>Cirsium lanatum</i>           | 0.650              | —            | 0.306              | —            |
| 17        | 白草 <i>Pennisetum flaccidum</i>      | 0.609              | —            | 0.728              | —            |
| 18        | 尼泊尔酸模 <i>Rumex nepalensis</i>       | 0.290              | —            | 0.830              | —            |
| 19        | 西南草莓 <i>Fragaria moupinensis</i>    | —                  | —            | 0.949              | —            |
| 20        | 萨嘎苔草 <i>Carex sagaensis</i>         | —                  | —            | 0.710              | —            |
| 21        | 播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i>       | —                  | —            | 0.473              | —            |
| 22        | 蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>        | —                  | —            | 0.000              | —            |
| 23        | 节节草 <i>Hippochaete ramosissimum</i> | 0.000              | —            | 0.362              | 0.529        |
| 24        | 老鹳草 <i>Geranium sibiricum</i>       | —                  | —            | 0.937              | —            |

表2 玉米田养鹅处理样地放牧前杂草的生态位重叠度(表中物种号参照表1)  
Table 2 Niche overlap of weeds before grazing in the treatment of raising geese in corn fields (RGICF). Species number see Table 1

| 种号<br>No. | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 12    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 23    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1         | 1.000 | 0.904 | 0.761 | 0.617 | 0.664 | 0.606 | 0.716 | 0.211 | 0.195 | 0.740 | 0.551 | 0.670 | 0.620 | 0.522 | 0.410 | 0.195 | 0.121 |
| 2         |       | 1.000 | 0.748 | 0.555 | 0.725 | 0.605 | 0.697 | 0.196 | 0.220 | 0.689 | 0.524 | 0.645 | 0.702 | 0.506 | 0.459 | 0.220 | 0.098 |
| 3         |       |       | 1.000 | 0.589 | 0.557 | 0.553 | 0.707 | 0.280 | 0.200 | 0.634 | 0.480 | 0.530 | 0.500 | 0.391 | 0.320 | 0.200 | 0.080 |
| 4         |       |       |       | 1.000 | 0.391 | 0.448 | 0.607 | 0.269 | 0.231 | 0.535 | 0.638 | 0.625 | 0.292 | 0.265 | 0.278 | 0.231 | 0.308 |
| 5         |       |       |       |       | 1.000 | 0.689 | 0.604 | 0.074 | 0.397 | 0.425 | 0.366 | 0.705 | 0.794 | 0.338 | 0.396 | 0.358 | 0.041 |
| 6         |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.380 | 0.216 | 0.549 | 0.546 | 0.510 | 0.686 | 0.727 | 0.418 | 0.483 | 0.490 | 0.000 |
| 7         |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.151 | 0.151 | 0.502 | 0.441 | 0.587 | 0.477 | 0.375 | 0.264 | 0.151 | 0.264 |
| 8         |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.333 | 0.257 | 0.294 | 0.129 | 0.175 | 0.511 | 0.162 | 0.600 | 0.000 |
| 9         |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.114 | 0.412 | 0.452 | 0.400 | 0.222 | 0.351 | 0.667 | 0.000 |
| 10        |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.548 | 0.525 | 0.561 | 0.543 | 0.371 | 0.114 | 0.114 |
| 12        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.634 | 0.343 | 0.222 | 0.280 | 0.412 | 0.177 |
| 14        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.584 | 0.319 | 0.415 | 0.452 | 0.161 |
| 15        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.497 | 0.464 | 0.358 | 0.025 |
| 16        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.556 | 0.222 | 0.000 |
| 17        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.351 | 0.000 |
| 18        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.000 |
| 23        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.000 |

程度的增加,且新增加了7种杂草,这可能是由于鹅对杂草群落的干扰为其他种类杂草的生长提供了一定的生态位空间;同期常规种植管理对照中鼠麴草的生态位宽度值最大,为0.955,除丝叶球柱草和马唐外,其余杂草的生态位宽度均有不同程度的增加,牛膝菊不再出现,新增了灰绿藜和节节草(*Hippochaete ramosissimum*)2种杂草。

3.1.2 不同处理下杂草生态位重叠度的变化

在玉米田养鹅处理下,放牧前黑麦草和紫花苜蓿的重叠度最大(表2),为0.904,说明二者对资源的竞争最激烈,其他杂草种类的生态位重叠度均在0.800以下,说明它们对资源的竞争相对较弱,这主要是由于优势杂草种占据了较多资源,限制了其余杂草对资源的利用。放牧后,黑麦草和紫花苜蓿的重叠度减少了0.086,黑麦草和西南草莓(*Fragaria moupinensis*)的重叠度变为最大,为0.855(表4)。说明鹅的采食削弱了优势种对资源的利用能力或利用率,群落内种群间的竞争格局发生了变化,从而产生了新的生态位空间,生态位重叠发生转移。

在常规种植管理对照中,前期丝叶球柱草和马唐,尼泊尔蓼(*Polygonum nepalense*)和加拿大白酒草(*Conyza canadensis*),鼠麴草和丝叶球柱草的重叠度较大(表3),分别为0.667、0.670和0.660。总体来

表3 常规种植管理模式下对照样地前期杂草生态位重叠度(表中物种号参照表1)

Table 3 Niche overlap of weeds in conventionally planting corn fields (CK) before the RGICF treatment was grazed by geese. The species numbers see Table 1.

| 种号<br>No. | 4     | 5     | 6     | 7     | 10    | 13    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4         | 1.000 | 0.478 | 0.258 | 0.167 | 0.176 | 0.167 |
| 5         |       | 1.000 | 0.660 | 0.348 | 0.436 | 0.403 |
| 6         |       |       | 1.000 | 0.427 | 0.670 | 0.408 |
| 7         |       |       |       | 1.000 | 0.235 | 0.667 |
| 10        |       |       |       |       | 1.000 | 0.382 |
| 13        |       |       |       |       |       | 1.000 |

看种间的重叠度均较小,说明它们对资源的竞争相对较弱。后期丝叶球柱草和鼠麴草的重叠度最大,为0.813(表5),较前期增加了0.153,这可能是由于除草剂的影响减弱,各种群对资源的利用能力提高,种间的竞争加剧。

3.2 不同处理对杂草功能群结构的影响

从图1(a)可看出,放牧前,玉米田养鹅处理下功能群双子叶一年或越年生植物(DA)占据较大优势,相对多度为47%,功能群双子叶一年或越年生植物(MA)和双子叶多年生植物(DP)次之,各占18%,功能群单子叶多年生植物(MP)和蕨类多年生植物(FP)最小,各占5.9%;同期,对照中杂草功能



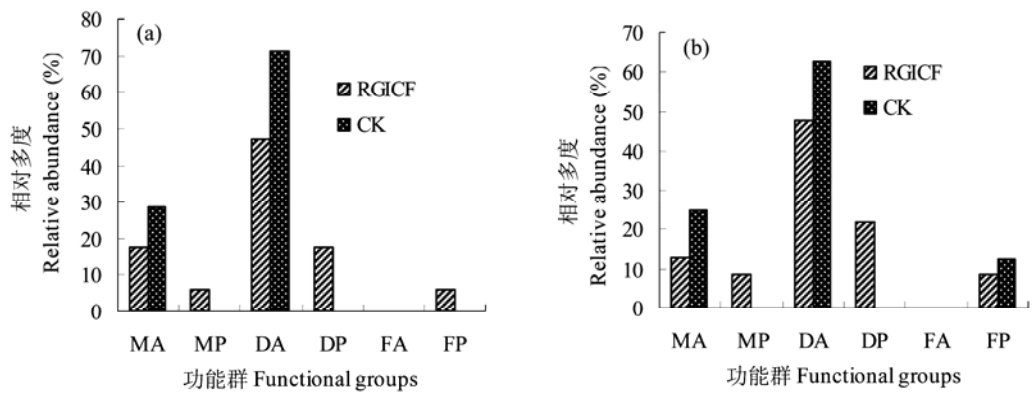


图1 玉米田养鹅(RGICF)和常规(CK)种植模式下放牧前(a)和放牧后(b)各功能群相对多度。MA: 单子叶一年生或越年生植物; MP: 单子叶多年生植物; DA: 双子叶一年或越年生植物; DP: 双子叶多年生植物; FA: 蕨类一年生植物; FP: 蕨类多年生植物。

Fig. 1 Relative abundance of functional groups before grazing (a) and after grazing (b) under the treatment of raising geese in corn fields (RGICF). MA, Monocotyledonous annuals or biennials; MP, Monocotyledonous perennials; DA, Dicotyledonous annuals or biennials; DP, Dicotyledonous perennials; FA, Fern annuals; FP, Fern perennials.

表5 常规种植管理对照样地后期杂草生态位重叠度(表中物种号参照表1)

Table 5 Niche overlap of weeds after grazing in conventionally planting corn fields (CK) after the RGICF treatment was grazed by geese. The species numbers see Table 1.

| 种号<br>No. | 3     | 5     | 6     | 7     | 10    | 13    | 14    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 3         | 1.000 | 0.426 | 0.556 | 0.417 | 0.325 | 0.333 | 0.425 |
| 5         |       | 1.000 | 0.813 | 0.582 | 0.491 | 0.524 | 0.785 |
| 6         |       |       | 1.000 | 0.601 | 0.605 | 0.414 | 0.702 |
| 7         |       |       |       | 1.000 | 0.642 | 0.253 | 0.618 |
| 10        |       |       |       |       | 1.000 | 0.331 | 0.613 |
| 13        |       |       |       |       |       | 1.000 | 0.544 |
| 14        |       |       |       |       |       |       | 1.000 |

群仅有DA和MA两种, 其中DA功能群占据较大优势, 相对多度为71%。放牧后(图1b), 玉米田养鹅处理下, 功能群DA仍占据较大优势, 功能群DA、DP、MP和FP分别有所上升, 而功能群MA下降了4.7%; 同期, 对照中新增加了功能群FP, 功能群DA和MA的分配比例均有所下降, 但功能群DA仍占据最大优势。总体来看, 玉米田养鹅处理在放牧前后其功能群的分配比例与对照相比更加均匀。

**3.3 不同处理对杂草群落多样性和生物量的影响**

放牧前, 玉米田养鹅处理下杂草群落的Shannon-Wiener多样性指数、Margalef物种丰富度指数和Simpson多样性指数分别较对照同期高出0.41、0.76和0.03, 其中Shannon-Wiener多样性指数和

Margalef物种丰富度指数差异达到显著水平( $P<0.05$ ,  $n=3$ ), Pielou均匀度指数低于对照0.1, 差异不显著( $P>0.05$ ,  $n=3$ ) (表6), 杂草群落的地上总生物量是对照的4.56倍, 但差异不显著( $P>0.05$ ,  $n=3$ )。放牧后, 玉米田养鹅处理下杂草群落的Shannon-Wiener多样性指数和Margalef物种丰富度指数分别高出对照0.31和1.72, 差异达到显著水平( $P<0.05$ ,  $n=3$ ), 其中Margalef物种丰富度指数处理间差异极显著( $P<0.01$ ,  $n=3$ ), Pielou均匀度指数和Simpson多样性指数分别低于对照0.20和0.07, 差异达到显著水平( $P<0.05$ ,  $n=3$ ), 杂草群落的地上总生物量是对照的2.91倍, 差异不显著( $P>0.05$ ,  $n=3$ )。

3.4 不同处理对玉米产量的影响

产量是衡量农田经济产出的重要标准。玉米田养鹅处理下玉米产量为10555.70 kg/ha, 与对照(产量为10,996.00 kg/ha)相比减产4.0%(图2), 但差异不显著( $P>0.05$ ,  $n=3$ )。

4 讨论

4.1 放牧前后杂草生态位变化

生态位描述了物种与生态因子间的关系, 通常情况下一个物种的生态位宽度取决于该物种对资源的利用和对环境的适应能力(刘加珍等, 2004)。马丽荣(2006)指出, 生态位宽度可以用以测度杂草对农田环境资源利用的能力, 反映不同杂草在农田中

表6 玉米田养鹅和常规种植模式下杂草群落生物多样性指数和地上生物量  
Table 6 Biodiversity indices and above biomass of weed community under different treatments of raising geese in corn fields (RGICF) and conventionally planting corn fields (CK)

|  | 放牧前 Before grazing        |                          |    | 放牧后 After grazing         |                          |    |
|--|---------------------------|--------------------------|----|---------------------------|--------------------------|----|
|  | RGICF                     | CK                       | df | RGICF                     | CK                       | df |
| Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index ( $H'$ )     | 1.67 ± 0.08 <sup>a</sup>  | 1.26 ± 0.01 <sup>b</sup> | 2  | 2.05 ± 0.05 <sup>a</sup>  | 1.74 ± 0.06 <sup>b</sup> | 2  |
| Pielou均匀度指数 Pielou evenness index ( $E$ )          | 0.63 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 0.73 ± 0.05 <sup>a</sup> | 2  | 0.67 ± 0.00 <sup>a</sup>  | 0.87 ± 0.05 <sup>b</sup> | 2  |
| Margalef丰富度指数 Margalef richness index ( $D_{MG}$ ) | 2.10 ± 0.31 <sup>a</sup>  | 1.34 ± 0.22 <sup>b</sup> | 2  | 3.27 ± 0.23 <sup>A</sup>  | 1.55 ± 0.05 <sup>B</sup> | 2  |
| Simpson多样性指数 Simpson diversity index ( $D$ )       | 0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 0.61 ± 0.04 <sup>a</sup> | 2  | 0.72 ± 0.01 <sup>a</sup>  | 0.79 ± 0.02 <sup>b</sup> | 2  |
| 地上生物量 Above-ground biomass (g)                     | 14.24 ± 7.09 <sup>a</sup> | 3.12 ± 0.26 <sup>a</sup> | 2  | 15.98 ± 6.80 <sup>a</sup> | 5.49 ± 1.72 <sup>a</sup> | 2  |

不同小写字母表示在0.05水平上差异显著, 不同大写字母表示在0.01水平上差异显著。  
Different lowercase letters in each column indicate a difference between treatments at the 0.05 significance level, and different uppercase letters indicate a difference between treatments at the 0.01 significance level.

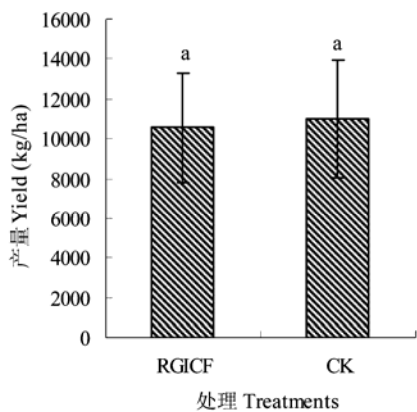


图2 玉米田养鹅处理(RGICF)和对照(CK)的玉米产量。不同字母表示在0.05水平上差异显著。  
Fig. 2 Corn yield under the treatments of raising geese in the corn fields (RGICF) and conventionally planting corn fields (CK). The bars represent the standard error of the mean. Letters above the bars indicate a difference between treatments at the 0.05 significance level.

的生态适应幅度。在玉米田养鹅, 由于鹅的选择性采食导致一些物种的生态位宽度收缩, 而生成新的生态位空间, 从而为新物种的萌发生长提供了有利条件, 导致总物种数和非优势杂草种的数量增加。而在对照中, 由于除草剂的影响, 杂草种类和数量减少, 一些非除草剂耐受物种的生态位宽度较小, 使得除草剂耐受杂草成为优势种, 占据较大的生态位空间。然而, 除草剂并不能很好地控制后萌发的杂草, 原有的空白生态位空间会被取代, 杂草群落对资源的利用量增大。

生态位的重叠指数可反映不同杂草种对资源利用的相似程度及种间竞争关系的强弱。玉米田养鹅处理下, 放牧前后种间竞争格局发生了改变, 种间生态位重叠度最大的物种组合由黑麦草-紫花苜

蓿转变为黑麦草-西南草莓。究其原因主要有两个方面: 一是鹅采食改变了原有生境, 而各杂草物种对新生境的适应性存在差异(Crawley, 1988); 二是紫花苜蓿在播种当年生长势较弱, 放牧后进一步限制了其对资源的利用, 而西南草莓为原生境物种, 放牧削弱了优势种对资源的竞争能力, 为其萌发和生长创造了生态位空间。但是, 紫花苜蓿和西南草莓均是多年生草本植物, 当前的生态位分布格局是否能维持, 其最终的演替方向仍需要长时间的定位研究。在对照中, 杂草的生长受到抑制, 各杂草种群对资源的利用能力也受到限制, 故种间生态位重叠较小, 而随后萌发杂草的种类和数量增加, 种间生态位重叠增大。

4.2 不同处理下杂草功能群结构变化

在放牧前后的玉米田养鹅处理和对照中, 田间杂草功能群双子叶一年或越年生植物(DA)均占据最大优势, 且在玉米田养鹅处理下其多度分配有一定提升。这主要是因为一年生杂草群体基本来自土壤种子库, 耕作活动打破了其休眠而使之萌发(Goldberg & Miller, 1990; 魏守辉等, 2005)。此外, 鹅的采食干扰使得优势杂草种的生活史对策发生了变化, 为其他杂草种类的萌发提供了有利条件。功能群单子叶多年生植物(MP)、双子叶多年生植物(DP)和蕨类多年生植物(FP)在放牧后所占比例增加, 它们均为多年生功能群, 但当前的比例格局可能只是暂时的。在放牧前期, 对照中由于除草剂的使用, 多年生功能类群的分配比例较少, 但随着后萌发杂草的加入, 一年生功能类群如DA和单子叶一年生或越年生植物(MA)的比例下降, 多年生功能类群如FP增加。



### 4.3 不同处理下杂草群落多样性和生物量变化

玉米田养鹅处理放牧前杂草群落的Shannon-Wiener多样性指数和Margalef丰富度指数较高,这主要是由于杂草物种数较多、密度较大所造成的。对照的丰富度和多样性相对较低,也与其杂草群落特征有关,即物种较少、密度较低、优势种单一,这与Puricelli和Tuesca(2005)的研究结果一致。放牧后,玉米田养鹅处理下群落的多样性和丰富度均有所提高,因为鹅的采食和踩踏改变了原有的群落内物种竞争格局,生成了新的生态位空间,从而提高了群落物种数、丰富度和多样性(Rohde, 2008)。

在对照中由于后萌发杂草数量和种类的增加,Shannon-Wiener多样性指数和Margalef丰富度指数也较除草剂施用后(放牧前)有所提高。Simpson多样性指数描述的是物种的集中优势度,与群落物种均匀度关系密切(许晴等, 2011)。放牧前,玉米田养鹅处理中补播的黑麦草和苜蓿的优势度大,从而Simpson多样性指数较小,均匀度较低;而在对照中除草剂的使用会增加除草剂耐受物种的优势度,Simpson多样性指数相对也较小。放牧后,玉米田养鹅处理下鹅的采食降低了优势种优势度,为其他杂草种类提供了潜在生态位空间,而新物种的加入改变了原有格局,提高了群落物种的均匀度和Simpson多样性指数;在对照中,后萌发杂草的发生发展改变了原有单一优势种的群落结构,提高了群落物种的均匀度和Simpson多样性指数。放牧后,杂草群落的地上生物量提高,主要是因为放牧维持了较高的生物多样性,进而可以维持较高的植物群落生产力,并增加群落稳定性(Tilman & Downing, 1994; 王明君等, 2010)。

### 4.4 不同处理下玉米产量的变化

在玉米田养鹅处理下,造成减产的原因主要有两方面:一是鹅对玉米叶片的采食,影响了作物的光合作用面积;二是杂草与作物发生了拮抗作用。但鹅在田间所采食的玉米叶片均以光合能力较低的下部叶片为主(郑强, 2008),因而对玉米植株的光合能力影响较小。另外,由于鹅对杂草地上部分的采食,杂草地上部分的生长受到限制,对资源的竞争能力也相对减弱,也会相应减轻杂草所带来的减产效应。总的来看,玉米田养鹅处理下玉米产量有所降低,但这种损失可由鹅的产出得以补偿,从而获得更高的经济效益。

### 参考文献

- Berger WH, Parker FL (1970) Diversity of planktonic foraminifera in deep-sea sediments. *Science*, **168**, 1345–1347.
- Boutin C, Jobin B (1998) Intensity of agricultural practices and effects on adjacent habitats. *Ecological Applications*, **8**, 544–557.
- Buster HR (1990) Atrazine and other s-triazine herbicides in lakes and in rains in Switzerland. *Environmental Science and Technology*, **24**, 1049–1058.
- Chen J (陈杰), Guo YL (郭屹立), Lu XL (卢训令), Ding SY (丁圣彦), Su S (苏思), Guo JJ (郭静静), Li QX (李乾玺) (2012) Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **32**, 3021–3030. (in Chinese with English abstract)
- Chen X (陈欣), Tang JJ (唐建军), Zhao HM (赵惠明), Shimizuk (志水胜好) (2003) Sustainable utilization of weed diversity resources in agroecosystem. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), **18**, 340–346. (in Chinese with English abstract)
- Chen X (陈欣), Wang ZQ (王兆骞), Tang JZ (唐建军) (2000) The ecological functions of weed biodiversity in agroecosystem. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **19**(4), 50–52. (in Chinese with English abstract)
- Crawley MJ (1988) Herbivores and plant population dynamics. In: *Plant Population Ecology* (eds Edwards PJ, Gray AJ), pp. 367–392. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Deng JC (邓建才), Jiang X (蒋新), Wang DZ (王代长), Lu X (卢信), Hao HJ (皓红建), Wang F (王芳) (2005) Research advance of environmental fate of herbicide atrazine and model fitting in farmland ecosystem. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **25**, 3359–3367. (in Chinese with English abstract)
- Goldberg DE, Miller TE (1990) Effects of different resource additions of species diversity in an annual plant community. *Ecology*, **71**, 213–225.
- Grinnell J (1917) The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk*, **34**, 427–433.
- Guan FC (关法春), Wang C (王超) (2011) The theory and technology approach of agro-pastoral integration principle. *Journal of Tibet Agriculture and Animal Husbandry College* (西藏农牧学院学报), **1**, 42–45. (in Chinese with English abstract)
- Guo SL (郭水良), Li YH (李扬汉), Zhao TQ (赵铁桥) (1998) Weed species niche in wheat fields in Jinhua, Zhejiang Province. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **22**, 76–84. (in Chinese with English abstract)
- Liu JZ (刘加珍), Chen YN (陈亚宁), Zhang YM (张元明) (2004) Niche characteristics of plants on four environmental gradients in middle reaches of Tarim River. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**, 549–555. (in Chinese with English abstract)
- Margalef R (1972) Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Con-*

- necticut Academy of Arts Sciences*, **44**, 211–235.
- Ma LR (马丽荣) (2006) Development of niche theory and the application research on weeds in farmland. *Gansu Agricultural Science and Technology* (甘肃农业科技), (4), 23–26. (in Chinese with English abstract)
- Ou QM (欧巧明), Chen YL (陈玉梁), Ma LR (马丽荣), Zhang XC (张绪成), Luo JJ (罗俊杰) (2010) A study on crop-weed allelopathy and its relationships based on niche theory. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), **19**(2), 235–240. (in Chinese with English abstract)
- Pielou EC (1966) Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, **10**, 370–383.
- Puricelli EC, Tuesca DH (2005) Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences. *Crop Protection*, **24**, 533–542.
- Rohde K (2008) Vacant niches and the possible operation of natural laws in ecosystems. *Rivista di Biologia-Biology Forum*, **101**, 13–28.
- Shannon CE, Weaver W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature*, **163**, 688.
- Tilman D, Downing JA (1994) Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, **367**, 363–365.
- Wang MJ (王明君), Han GD (韩国栋), Cui GW (崔国文), Zhao ML (赵萌莉) (2010) Effect of grazing intensity on the biodiversity and productivity of meadow steppe. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **29**, 862–868. (in Chinese with English abstract)
- Wei SH (魏守辉), Qiang S (强胜), Ma B (马波), Wei JQ (韦继光) (2005) Effects of different crop rotation system on the characteristics of soil seedbank. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **24**, 385–389. (in Chinese with English abstract)
- Wyss E (1996) The effects of artificial weed strips on diversity and abundance of the arthropod fauna in a Swiss experimental apple orchard. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, **60**, 47–59.
- Xu Q (许晴), Zhang F (张放), Xu ZQ (许中旗), Jia YL (贾彦龙), You JM (尤建民) (2011) Some characteristics of Simpson index and the Shannon-Wiener index and their dilution effect. *Pratacultural Science* (草业科学), **28**, 527–531. (in Chinese with English abstract)
- Zhao L (赵利), Hu GF (胡冠芳), Wang LM (王利民), Dang Z (党照), Zhao W (赵玮), Zhang JP (张建平) (2010) A study on weed population dynamics and niches in a flax field in the Lanzhou area. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), **19**(6), 18–24. (in Chinese with English abstract)
- Zhao YH (赵永华), Lei RD (雷瑞德), He YX (何兴元), Jia X (贾夏) (2004) Niche characteristics of plant populations in *Quercus aliena* var. *acuteserrata* stands in Qinling Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**, 913–918. (in Chinese with English abstract)
- Zheng FQ (郑方强), Zhang XH (张晓华), Mo TL (墨铁路), Shi AJ (时爱菊), Zheng JQ (郑建强), Wu JB (吴举彬) (2008) Ecological niches and guilds of main insect pests and their natural enemies on apple trees. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **28**, 4830–4840. (in Chinese with English abstract)
- Zheng Q (郑强), Wang ZM (王志敏), Cai YW (蔡永旺), Su D (苏达), Duan JJ (段俊杰) (2008) Study on spatial-temporal distribution of chlorophyll content and its correlation to plant n content in summer maize. *Journal of Maize Sciences* (玉米科学), **16**, 75–78. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 强胜 责任编辑: 周玉荣)