

# 农牧一体化下杂草生物多样性及玉米生产效益研究

边步云<sup>1</sup> 关法春<sup>2</sup> 张永锋<sup>2\*</sup> 程犇<sup>1</sup> 仝淑萍<sup>1</sup>

(1. 西藏农牧学院 高原生态研究所, 西藏 林芝 860000;

2. 吉林省农业科学院 农村能源与生态研究所, 长春 130033)

**摘要** 为研究农牧一体化对杂草生物多样性的影响,通过延军农场农牧一体化长期定位试验,采用田间对比试验方法,对放牧前后田间杂草种类、密度、盖度和地上生物量以及玉米产量进行调查,分析农牧一体化生产方式对杂草生物多样性及玉米生产效益的影响。结果表明:放牧前,农牧一体化(API)理杂草总密度是对照(CK)的1.41倍,且杂草优势种单一且相对多度分配不均匀;API杂草地上生物量比CK高出18.12 kg/hm<sup>2</sup>;API杂草群落的Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Pielou均匀度指数( $E$ )、Simpson优势度指数( $D$ )和Margalef丰富度指数(DMG)分别是CK的1.09、0.92、1.05和1.08倍。放牧后,API和CK杂草总密度分别减少77.00%和23.10%,杂草群落地上生物量依次分别下降94.18%和78.17%,故田间放养鹅可将田间16.01%杂草资源化,提高杂草生产力;API玉米产量是CK的0.92倍,减产所带来的经济损失达2443.51元/hm<sup>2</sup>,鹅肉产品输出对经济总收入的贡献率高达48.74%,折合为25922.80元/hm<sup>2</sup>;API的产投比(2.87)是CK(2.49)的1.15倍,API能够提高生产效益。因此,API处理使用鹅来控制杂草并将杂草资源化,提高生产力和生物多样性,可实现较高经济效益。

**关键词** 农牧一体化; 玉米田养鹅; 生物多样性; 生产效益

中图分类号 S513

文章编号 1007-4333(2018)09-0139-09

文献标志码 A

## Effects of agro-pastoral integration on weed biodiversity in field and maize production

BIAN Buyun<sup>1</sup>, GUAN Fachun<sup>2</sup>, ZHANG Yongfeng<sup>2\*</sup>, CHENG Ben<sup>1</sup>, TONG Shuping<sup>1</sup>

(1. Institute of Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi 860000, China;

2. Rural Energy and Ecology Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

**Abstract** Through the long-term positioning experiment of "Agro-pastoral integration (API)" on Yanjun Farm. Comparative field experiments were conducted to analyze the impact of agro-pastoral integration production methods on weed biodiversity and corn production efficiency. The weed species, density, coverage, aboveground biomass, and corn yield in the field pre-grazing and post-grazing were investigated. The results showed that: The total weed density API treatment was 1.41 times of that of control (CK) pre-grazing, and the weed dominant species were unitary and its relative abundance was not evenly distributed; The weeds aboveground-biomass of API was 18.12 kg/hm<sup>2</sup> higher than that of CK; The Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ), Pielou evenness index ( $E$ ), Simpson dominance index ( $D$ ) and Margalef richness index(DMG)of API weed communities were 1.09, 0.92, 1.05 and 1.08 times of CK, respectively; The total densities of API post-grazing and CK were reduced by 77.00% and 23.10%, respectively. The aboveground-biomass of weed community decreased by 94.18% and 78.17%. Therefore, geese transformed the 16.01% weeds in the field into resources and improve weed productivity. The corn yield in API field was 0.92 times of

收稿日期: 2017-12-01

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD14B05);吉林省农业科技创新工程项目;西藏特色农牧资源研发协同创新中心高原生态研究平台资助

第一作者: 边步云, 硕士研究生, E-mail: 1324897410@qq.com

通讯作者: 张永锋, 研究员, 主要从事生物质资源综合利用研究, E-mail: nkyzhyf@126.com

CK, and the economic loss caused by the reduction of production amounted was up to 2 443.51 yuan/hm<sup>2</sup>; Goose product output converted to 25 922.80 yuan/hm<sup>2</sup>, it contributed to the total economic income as high as 48.74%; API investment ratio (2.87) is 1.15 times of that of CK (2.49). In conclusion, API system by raising geese in corn fields to control weeds in API system, converted weeds into resources, improved the productivity and biodiversity, and achieved high economic efficiency.

**Keywords** agro-pastoral integration; raising geese in corn fields; biodiversity; production benefit

农业杂草与作物之间存在水分、养分和空间等方面的种间竞争关系,同时杂草生长也可传播病虫害<sup>[1]</sup>,进而影响作物的产量和质量<sup>[2]</sup>,农田杂草防除始终是农业生产中的重要课题。杂草生物多样性对维持生态系统稳定性极其重要,并能提升杂草群落的服务功能<sup>[3]</sup>,农田杂草的存在具有其一定合理性<sup>[4]</sup>。已有研究表明田间杂草多样性可防止水土流失,保持土壤肥力、促进养分循环、增加害虫天敌以及消除环境污染的作用<sup>[5-6]</sup>;农田系统抗旱能力随着田间植物种类的减少而下降<sup>[7]</sup>,保护生物多样性对作物生产具有积极效应<sup>[8-10]</sup>;探索杂草资源化的农业生产模式,维持生态系统稳定性同时提升经济效益,对农业发展具有重要优势和指导价值。

“农牧一体化”生产方式将杂草视为经济资源之一,其能够借助放牧鹅在控制杂草的同时而高效利用田间杂草资源<sup>[11]</sup>。以往研究表明,“农牧一体化”理论指导下的玉米田养鹅生产模式可以改善土壤温湿度<sup>[12-13]</sup>、促进土壤养分循环利用<sup>[14-15]</sup>、维持较高生物多样性<sup>[16]</sup>,并获得较高的经济效益。为此,本研究拟以黑龙江高寒地区农牧一体化下的“玉米田养鹅”模式为研究对象,运用对比方法研究田间杂草密度、种类、群落特征及动态变化、生产力和生物多样性,以期进一步揭示该模式对杂草生物多样性及玉米生产效益的影响,为今后充分利用田间杂草资源,发展高效农牧一体化生产奠定理论基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

试验区位于黑龙江省农垦总局延军农场(130°51'E、47°43'N)。延军农场地势西高东低,海拔为131~400 m,属寒温带大陆性季风气候区域,年平均气温1.57℃,无霜期128 d,年降水量为729 mm,7—9月份降雨分布较为集中,降雨量占全年的80%以上。年总日照时长约为2 127 h,全年太阳辐射为4 350 MJ/m<sup>2</sup>。本试验区原为玉米种植田,黑土,长期种植“阳光1号”玉米作为青储饲料。主要杂草植

被种类如下:水稗草(*Echinochloa crusgalli* L.)、马唐(*Digitaria sanguinalis* L.)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus* L.)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)、鸭跖草(*Commelina communis*)、狗尾草(*Setaria viridis* L.)和芦苇(*Phragmites australias* Trin.)等。

### 1.2 试验设计

试验以“玉米田养鹅”农田为研究对象,2016年开展农牧一体化(简写API)和对照(CK)田间试验,处理间3次重复,每小区占地面积500 m<sup>2</sup>,且不同处理的小区相互交错。根据当地农作物的种植制度,5月初进行耙地、播种,玉米4-5叶期采取起垄(垄宽65 cm)、追肥(尿素 $w(N) \geq 46.4\%$ ,施肥量150 kg/hm<sup>2</sup>)。玉米品种为“德美亚1号”,其属于杂交玉米种子(Hybrid maize seeds),发芽率85%,水分16%,25~30 kg/hm<sup>2</sup>,适宜播种在大于10℃活动积温2 200℃以上地区。玉米植株行距为20 cm×65 cm,并设保护行。以史丹利复合肥375 kg/hm<sup>2</sup>作为农田底肥,主要成分含量: $w(N) = 15\%$ ;  $w(P_2O_5) = 15\%$ ;  $w(K_2O) = 15\%$ 。农牧一体化处理农田不除草,小区四周采用120 cm高尼龙网围封,进行放养幼鹅(体重接近1.5 kg/只);依据延军农场玉米种植制度,对照于苗期喷洒阔叶除草剂(乙草胺:莠去津=1:1体积混合,采用25 L携带自制喷罩的背式喷雾器摇匀喷洒,剂量1.25 L/hm<sup>2</sup>)。8月初放鹅,考虑到田间杂草的地上生物量、生产力和生物多样性、鹅对玉米作物产生的干扰程度以及鹅饲料外界经济投入,玉米田养鹅生产方式鹅适宜放牧量为300~375只/hm<sup>2</sup>,该试验区放养量为54只,采取3个小区轮流放养的措施,放养周期为3 d(即每小区放牧期为1 d)。早晨6点放入鹅,白天用6个5 L饮水壶补充足够水;傍晚6点赶回鹅,投喂复合饲料(玉米面:育成鹅浓缩饲料为7:3,其中浓缩饲料产品成分及分析值:粗蛋白 $\geq 36.0\%$ ,粗纤维 $\leq 10.0\%$ ,粗灰分 $\leq 26.0\%$ ,总磷 $\geq 0.6$ ,钙1.5%~4.5%,赖氨酸 $\geq 1.0\%$ ,氯化钠0.8%~3.0%),饲喂量100 g/只,9月底结束放牧。

### 1.3 数据采集

7月下旬或8月初玉米吐丝期,对不同处理田间杂草进行放牧前调查,采用“W”型五点取样法,样方面积 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ ,采集与记录杂草的种类、株数(以根为基准)、高度和盖度,根部剪取杂草并分类装入标记档案袋,带回实验室利用恒温烘箱调至 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温杀青 $30\text{ min}$ ,之后于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重,称得杂草地上生物量(电子天平JM-A型,精确到 $0.01\text{ g}$ )。9月末玉米成熟期,除放牧后杂草调查外,并测定玉米籽粒产量。每小区随机选取30株玉米植株(除保护行外),剥去苞叶和穗须将玉米棒装入带标签尼龙网袋中,自然风干,脱粒置于 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重,称取总粒重,并按14%标准含水量换算成玉米单产。采用TCS-150型电子台秤(永康市华鹰衡器有限公司制造)称取混合饲料投入量和鹅的体重(精确到 $0.05\text{ kg}$ )。

### 1.4 数据统计与分析

根据样地放牧前后杂草调查数据,计算出各样地小区杂草种类的重要值(IV),公式为:IV=(相对密度+相对盖度+相对频度+相对高度+相对生物量)/5。杂草多样性评价指标<sup>[17]</sup>:Berger-Parker多样性( $P_i$ ),Pielou均匀度指数( $E$ ),Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ ),Margalef物种丰富度指数(DMG)和Simpson优势度指数( $D$ )。公式如下:

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

$$E = \frac{H}{\ln S}$$

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \times \ln p_i$$

$$\text{DMG} = (S - 1) \times (\ln N)^{-1}$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s \left( \frac{N_i}{N} \right)^2$$

式中: $N_i$ 为样地某种杂草的重要值; $N$ 为样地杂草的总重要值; $S$ 为各样地杂草群落总物种数。

物种多度分布采用等级—多度图(Rank-abundance)分析方法<sup>[18]</sup>,X轴代表杂草物种按照重要值逐级递减的顺序排列,Y轴表示物种多度以10底的对数。

利用Excel 2003统计处理田间杂草种类、密度、盖度及地上生物量的相关数据,得杂草多样性评估指标;采用Origin 9.0科学作图;SPSS 17.0单因素方差分析判断差异显著性,置信水平95%。

## 2 结果与分析

### 2.1 农田杂草的种类与密度

农牧一体化处理和对照试验田间杂草种类、密度调查结果(表1)。由表1可以看出:放牧前,农牧一体化(API)处理杂草种类达15种,杂草主要分布在禾本科、菊科、鸭跖草科、苋科以及石竹科,其中菊科和禾本科杂草占到杂草群落总物种数的53.33%,且菊科都为多年生杂草,禾本科以一年生杂草为主;对照(CK)杂草种类也有15种,禾本科占33.33%,菊科中有多年生、一年或越年生杂草。资源空间竞争激烈。放牧后,API杂草种类接近10种,相对于其放牧前杂草种类减少了5种,其中禾本科、菊科、莎草科、木贼科杂草依次减少3、1、1、1种,说明鹅对以上科类杂草取食选择性较高;CK维持在12种,就放牧前CK而言,莎草科和木贼科杂草趋于灭绝,可能归因于阔叶除草剂的选择性及其残留效应,也可能是资源、空间的竞争所致,而禾本科和菊科杂草呈此消彼长态势。

放牧前,API杂草总密度接近 $5.39 \times 10^5$ 株/ $\text{hm}^2$ ,是CK( $3.81 \times 10^5$ 株/ $\text{hm}^2$ )的1.41倍,处理间杂草总密度差异不显著( $P > 0.05$ ),其中水稗草、马唐、繁缕和反枝苋密度较大,分别占杂草总密度的26.73%、13.87%、11.38%和10.90%,总杂草密度贡献率高达51.98%。API马唐杂草密度是CK的14.09倍,处理间差异显著( $P < 0.05$ ),而水稗草、繁缕和反枝苋分别是CK的1.29、1.53和2.45倍,处理间差异不显著( $P > 0.05$ )。放牧后,CK杂草总密度为 $2.93 \times 10^5$ 株/ $\text{hm}^2$ ,是API( $1.24 \times 10^5$ 株/ $\text{hm}^2$ )的2.36倍,处理间差异显著( $P < 0.05$ )。API杂草总密度降低了76.91%,主要归因于鹅部分采食和践踏禾本科杂草(水稗草、马唐、芦苇草等),CK杂草与玉米植株间争夺空间和营养致使优势种生长受限而减少杂草密度,水稗草密度下降接近68.25%。

放牧前,CK牛筋草、香薷密度分别是API的1.54和4.93倍,处理间差异不显著( $P > 0.05$ ),小飞蓬、曲麻菜和三叶草仅在CK中出现,API中其他大部分杂草均高于CK,披散木贼、灰绿藜、鸭跖草、狗尾草、芦苇密度分别是CK的5.00、1.17、1.13、1.22和1.17倍,处理间差异不显著( $P > 0.05$ )。放牧后,API中狗尾草未出现,只有艾蒿密度增加了1.24倍,马齿苋仅在CK中出现,CK中其他杂草密度均高于API。

表1 不同处理下杂草种类、密度的调查

Table 1 Investigation on species and density of weeds under different treatments

杂草种类 Weed species	科 Subject	生活史 Life-history	密度/(株/m <sup>2</sup> )Density			
			放牧前 Pre-grazing		放牧后 Post-grazing	
			CK	API	CK	API
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i> L.	菊科	一/越年生	0.80±0.8	—	1.33±1.33	0.44±0.44
艾蒿 <i>Artemisia argyi</i> H.	菊科	多年生	1.33±0.53	1.33±1.33	1.78±0.44	4.00±2.67
曲麻菜 <i>Sonchus arvensis</i> Linn.	菊科	多年生	0.53±0.53	—	—	—
刺儿菜 <i>Cirsium setosum</i> Willd.	菊科	多年生	—	1.07±0.27	—	—
水蒿 <i>Artemisia selengensis</i> Turcz.	菊科	多年生	—	1.87±1.87	—	—
水稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i> L.	禾本科	一年生	11.20±5.60	14.40±9.60	3.56±3.11*	0.44±0.44
狗尾草 <i>Setaria viridis</i> L.	禾本科	一年生	2.40±0.8	2.93±2.13	2.22±0.44	—
牛筋草 <i>Eleusine indica</i> L.	禾本科	一年生	5.33±2.67	3.47±0.27	2.67±2.67	0.89±0.89
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> L.	禾本科	一年生	0.53±0.53	7.47±2.13*	—	—
芦苇 <i>Phragmites australis</i> Trin.	禾本科	多年水生	1.60±1.60	1.87±1.06	—	—
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i> L.	马齿苋科	一年生	—	—	0.44±0.44	—
卷茎蓼 <i>Fallopia convolvulus</i>	蓼科	一年生	—	—	0.44±0.44	0.44±0.44
鸭跖草 <i>Commelina communis</i>	鸭跖草科	一年生	4.27±3.47	4.80±2.40	5.78±4.89	1.33±0.44
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i> L.	藜科	一年生	1.60±1.60	1.87±0.27	1.78±0.44	0.89±0.44
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i> L.	苋科	一年生	2.40±2.40	5.87±3.47	4.89±3.55	1.33±1.33
繁缕 <i>Stellaria media</i> L.	石竹科	一/二年生	4.00±1.60	6.13±5.07	4.00±4.00	3.11±0.44
香薷 <i>Elsholtzia ciliata</i> Hyland.	唇形科	一年生	1.33±1.07	0.27±0.27	1.33±1.33	0.89±0.44
三叶草 <i>Trifolium repens</i> L.	豆科	多年生	0.53±0.53	—	—	—
披散木贼 <i>Equisetum diffusum</i> D.	木贼科	一/多年生	0.27±0.27	1.33±1.33	—	—
苔草 <i>Carex</i> spp.	莎草科	多年生	—	0.27±0.27	—	—
总计 Total/(10 <sup>5</sup> 株/hm <sup>2</sup> )			3.81±1.01	5.39±1.15	2.93±0.67	1.24±0.49*

注：“—”代表试验调查区域未出现杂草。“\*”表示处理间在  $P < 0.05$  置信水平差异具有统计学意义。下同。

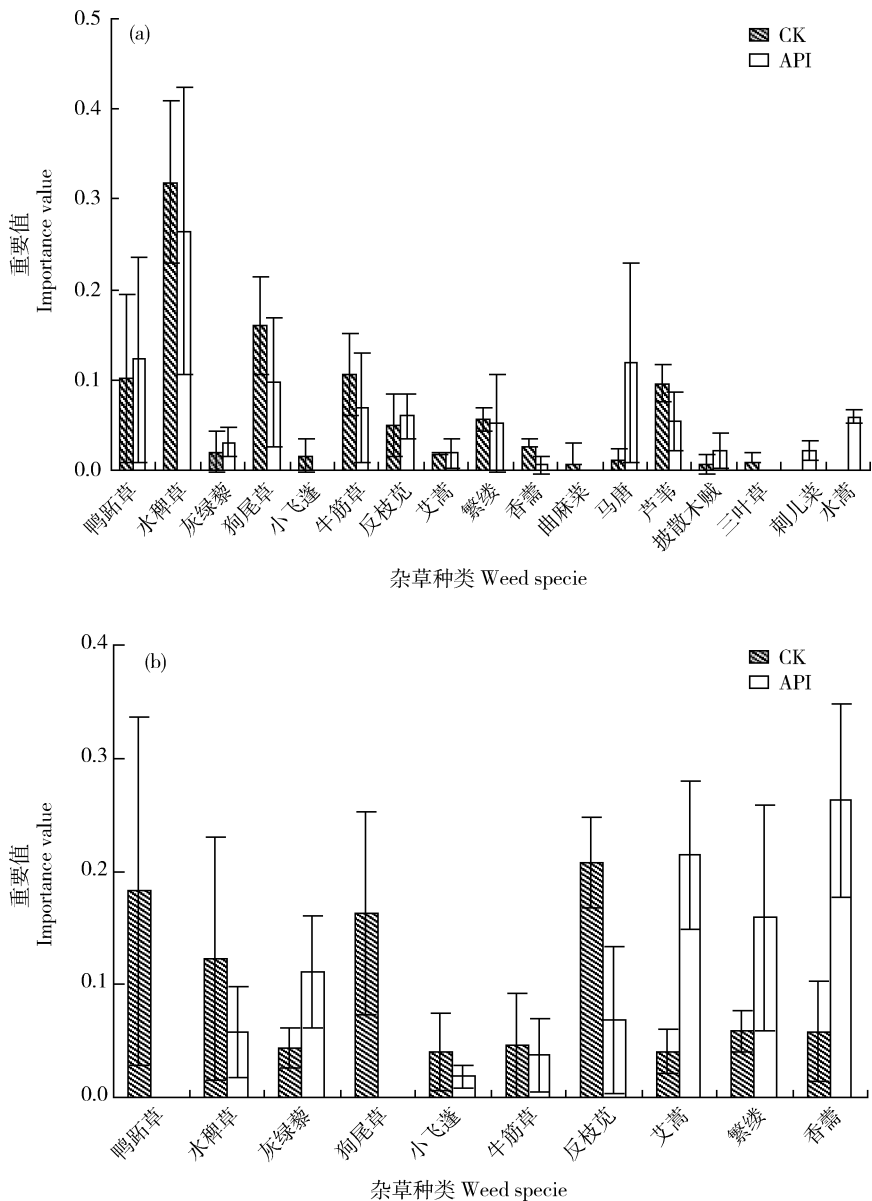
Note: —, no weed appeared. \*, statistically significant difference at  $P < 0.05$ . The same below.

## 2.2 农田杂草的群落结构特征与动态分布

重要值以杂草(密度、高度、盖度、频度、地上生物量)的综合数值来描述杂草物种在群落中相对重要性,田间杂草管理方式不同必然导致杂草生境、群落结构存在差异。API和CK放牧前、放牧后的杂草重要值(图1)。

为了明确杂草物种优劣态势的动态分布,以相对多度作为衡量杂草群落的关键性指标,不同处理下杂草种群的等级—多度分布状况(图2)。由图1(a)、图2可以看出,放牧前,API杂草优势种达3种,主要分布在水稗草、鸭跖草,马唐,其相对多度所占分配比依次为26.43%、12.25%和11.91%,使趋

势线下降呈先快后慢,相对多度在1%~10%的常见种和<1%的偶见种分布较多,趋势线呈“阶梯型”下降态势。CK杂草优势种较API少,优势种较为单一且相对多度分配比例悬殊较大,趋势线下降较快,但相对多度在1%~10%的常见种和<1%的偶见种分配比呈“等差序列”,趋势线平缓下降。由图1(b)、图2可知,放牧后,API鹅取食田间优势种杂草,改变杂草种间竞争格局和能力,致使优势种多度分配比下降,这为其他杂草发生、发展提供潜在的生态位空间,使趋势线呈线性急促下降,相对多度分布在1%~100%的杂草种群的多度分布格局不均匀。CK杂草受除草剂残留效应和养分、空间、资源供



杂草的拉丁名见表 1。

Please see Table 1 for the Latin names of weeds.

图 1 不同处理下放牧前(a)和放牧后(b)杂草的重要值

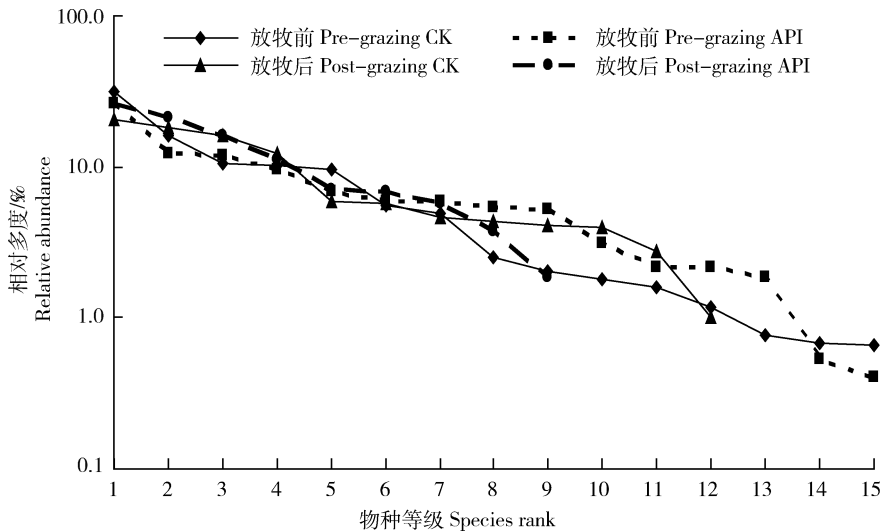
Fig. 1 Important values of weed in pre-grazing (a) and post-grazing (b) under different treatments

应失衡限制,使得相对多度分布在 10%~100% 的杂草及分配比如下:反枝苋(20.74%)、鸭跖草(18.24%)、狗尾草(16.30%)、水稗草(12.29%),其综合累积贡献率高达 67.57%,曲线下降趋势为快—慢—快,故杂草种群相对多度分布在 1%~10% 的杂草分配较为均匀。

### 2.3 农田杂草群落生产力

API 处理田间杂草地上生物量直接反映杂草群落的生产力水平,牵制着鹅补饲带来的外界经

济投入的比重。不同处理下放牧前、放牧后田间新鲜杂草地上干物质(地上生物量)如图 3 所示。由图 3 可知,放牧前,API 杂草群落地上生物量(897.31 kg/hm<sup>2</sup>)是 CK(534.75 kg/hm<sup>2</sup>)的 1.68 倍,处理间差异不显著( $P>0.05$ )。放牧后,CK 杂草群落地上生物量(116.67 kg/hm<sup>2</sup>)是 API(52.22 kg/hm<sup>2</sup>)的 2.23 倍,处理间差异不显著( $P>0.05$ )。随着放牧期的推移,不同处理的杂草群落地上生物量均呈下降趋势,API 和 CK 分别下降



$x$  表示杂草重要值。

$x$  indicates the importance value of weeds.

图2 不同处理下放牧前、放牧后杂草的等级及多度分布

Fig. 2 Rank and abundance of weeds in pre-grazing and post-grazing under different treatments

94.18%、78.18%，同一处理 API ( $P=0.04$ ), CK ( $P=0.31$ ) 均小于  $P=0.05$  存在差异显著性。API 主要归因于鹅对优势种杂草的取食和践踏，而 CK 玉米苗期喷施阔叶除草剂的残留效应一定程度上可能抑制某些杂草的萌发和生长，也可能归于杂草在光照空间、养分资源上的种间竞争。二者均可能存在新杂草物种的更新与演替，但该类杂草具有密度小、株高矮及盖度低等特点，对增加杂草地上生物量的贡献忽略不计。进一步揭示，借助鹅的放牧至少可将 16.01% 杂草资源饲料化，实现田间杂草群落生产力的转化，提高了农牧一体化生产方式的经济效益。

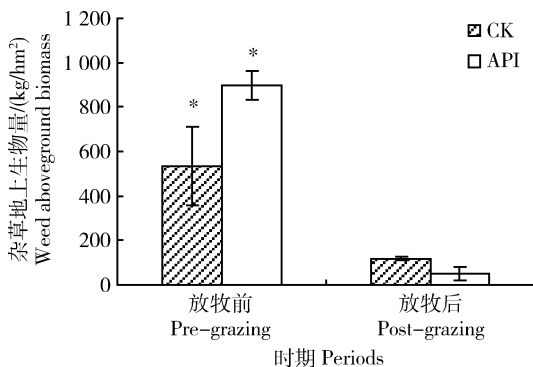


图3 不同处理下杂草群落的地上生物量

Fig. 3 Aboveground biomass of weed communities under different treatments

## 2.4 农田杂草生物多样性指数

田间杂草控制措施改变了杂草群落的物种结构和密度，必然影响田间杂草群落的生物多样性。由表 2 可知：放牧前，API 杂草群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数和 Margalef 丰富度指数分别是 CK 的 1.09、1.05 和 1.08 倍，处理间差异不显著 ( $P>0.05$ )。而 CK Pielou 均匀度指数是 API 的 1.09 倍，处理间差异显著 ( $P<0.05$ )，这主要由于 CK 杂草竞争极为激烈，重新分配杂草种群空间格局，进而提高了杂草群落的物种均匀度。放牧后，API 杂草群落的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数分别是 CK 的 1.13 和 1.16 倍，处理间差异显著 ( $P<0.05$ )，而 Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数分别是 CK 的 1.06 和 1.05 倍，处理间差异不显著 ( $P>0.05$ )。显然，农牧一体化生产方式下放牧鹅采食践踏杂草优势种杂草而重新分配空间占据格局，有利于增加杂草群落均匀度指数，同时，也能维持较高的杂草生物多样性，进而具有提升农田生态系统稳定性的潜能。

## 2.5 生产经济效益分析

为了明确农业生产经济活动中投入消耗和产出结果，不同处理下投入和产出具体指标(表 3)。由表 3 可知，API 玉米产量达 14 347.52 kg/hm<sup>2</sup>，相对 CK 减产了 8.23%，表明农牧一体化管理方式一定

表2 不同处理下杂草群落的多样性指数

Table 2 Diversity index of weed communities under different treatments

多样性指数 Biodiversity index	放牧前 Pre-grazing		放牧后 Post-grazing	
	CK	API	CK	API
Shannon-Wiener 多样性指数 $H'$	2.13±0.08	2.32±0.06	1.95±0.09	2.20±0.07*
Pielou 均匀度指数 $E$	0.86±0.03	0.79±0.02*	0.83±0.01	0.88±0.02
Simpson 优势度指数 $D$	0.83±0.02	0.87±0.03	0.82±0.02	0.86±0.01
Margalef 物种丰富度指数 $DMG$	2.75±0.01	2.98±0.09	1.76±0.04	2.04±0.05*

程度上控制杂草长势,但田间杂草与作物间存在种间竞争态势,导致玉米减产。API可输出鹅肉产品,对经济总收入的贡献率高达48.74%,其经济总收入是CK的1.79倍,由此可见,API减产损失将由鹅肉输出得以补偿,依据鹅从杂草中获取的净收益=鹅总收入-幼鹅投入-鹅饲料投入,进一步可知

鹅将杂草资源化的经济效益为17322.80元/hm<sup>2</sup>,对总净收益的贡献率接近44.38%。产投比作为一种衡量经济收益的静态指标,结果显示,API产投比(2.87)>CK(2.49),表明API处理投入比例对经济效益贡献较大,进而说明农牧一体化生产方式在提高经济效益方面具有明显的优势。

表3 不同处理下农田生态系统的经济效益分析

Table 3 Economic benefit analysis of farmland ecosystem under different treatments

处理 Treatment	田间投入/ (元/hm <sup>2</sup> ) Field investment	养鹅投入/ (元/hm <sup>2</sup> ) Raise geese investment	玉米产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Maize yield	鹅肉产量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Goose production	总收入/ (元/hm <sup>2</sup> ) Total revenue	总净收益/ (元/hm <sup>2</sup> ) Total net income	产投比 Production investment ratio
CK	8500	—	15633.58± 2576.37	—	29703.80± 4895.10	21203.80± 3735.74	2.49±0.49
API	5000	8600	14347.52± 2364.18	1296.14± 213.72	53183.09± 8766.34	39033.10± 4383.17	2.87±0.32

注:投入产出均以货币人民币(元)衡量,单位转换系数以黑龙江省物价为准,玉米单价1.90元/kg,鹅肉20元/kg,产投比计算中的产出采用净收益为养鹅投入=幼鹅价格+鹅饲料总价。

Note: Input and output are measured in currencies RMB (yuan). Unit conversion coefficients is according to the price of Heilongjiang Province prevail, which are 1.90 yuan/kg for maize, 20 yuan/kg for goose. The calculation of production and investment ratio adopts net income. Raise geese investment = Young goose price + Total feed investment.

### 3 讨论

杂草是影响农作物生长和导致农作物产量和质量下降的重要因素之一<sup>[2]</sup>。作物产量损失在很大程度上通过杂草的生物量、密度和种类来影响<sup>[19-20]</sup>。生产方式的差异会引起田间杂草的种类、密度、高度、盖度等均发生变化,致使杂草的群落结构、生产力和生物多样性存在差异,追究其原因可能归因于不同杂草管理方式导致杂草生境发生改变,特别是农牧一体化处理,鹅的采食、践踏及粪便还田对样地小环境的改变,如:土壤肥力<sup>[21]</sup>、土壤理化性

质<sup>[22]</sup>、二氧化碳浓度<sup>[23]</sup>等,这些外部条件的变化会直接或间接地影响杂草的生长<sup>[24-25]</sup>。

农牧一体化处理(API)下,放牧前的杂草群落的杂草种类及密度、地上生物量、生物多样性均较大,但杂草种群多度分布不均匀;放牧后,杂草种类、密度、地上生物量、生物多样性(除Pielou均匀度指数 $E$ )均呈现下降态势,由于削弱杂草竞争力而改变生态位空间格局,使得各杂草种群的多度分配呈均匀分布。由此可见,鹅采食践踏杂草在生产中扮演重要角色,本研究通过玉米田小区轮流放牧鹅干扰田间杂草群落,适度放牧(限制数量、控制放牧时

间),最终提升了田间杂草群落的生物多样性,与徐广平等<sup>[26]</sup>和杨利民等<sup>[27]</sup>的研究结果类似。同时,也增加了系统内食物链的复杂程度,维持了系统内较高的生物多样性,借助鹅将杂草资源化,提高杂草群落生产力和经济效益,实现了生态农业可持续发展的要求。

## 4 结 论

不同的杂草管理方式导致杂草群落结构特征和生物多样性的差异,进而影响杂草生产力和玉米产量。放牧前,农牧一体化(API)处理和对照(CK)下杂草种类均为15种,杂草的总密度分别是 $5.39 \times 10^5$ 株/hm<sup>2</sup>和 $3.81 \times 10^5$ 株/hm<sup>2</sup>;而放牧后,杂草总密度分别下降76.91%和23.08%。API生产方式以鹅作为杂草的生物抑制剂,通过严格把控放牧期、放牧量实现有效地抑制杂草的生长,同时保持一个较高的杂草生产力和生物多样性。放牧前,API和CK的杂草地上生物量分别为897.31和534.75 kg/hm<sup>2</sup>;放牧后,杂草地上生物量依次减少94.18%和78.18%,因此鹅至少将16.01%杂草地上生物量资源化而提高杂草生产力。在杂草群落生物多样性指标分析中,API较CK而言,其维持了较高的杂草生物多样性,但随放牧期推移,杂草生物多样性指标总体呈下降趋势(除API的Pielou均匀度指数增加了11.39%外)。鹅肉作为经济产品输出可以弥补玉米减产(相对CK减产1286.06 kg/hm<sup>2</sup>)所带来的经济损失(约为2443.51元/hm<sup>2</sup>)。API产投比(2.87)是CK(2.49)的1.15倍,API净收益高于CK17829.30元/hm<sup>2</sup>。因此,从农田生态系统可持续发展、物质循环利用和经济效益出发,本研究初步认为农牧一体化生产模式将来可作为一种生态农业杂草管理策略。

## 参考文献 References

[1] 李淑顺,张连举,强胜. 江苏中部轻型栽培稻田杂草群落特征及草害综合评价[J]. 中国水稻科学,2009,23(2):207-214  
Li S S, Zhang L J, Qiang S. Weed community characteristics and comprehensive evaluation on weeds in paddy fields under labour-saving cultivations in middle Jiangsu [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2009, 23(2): 207-214 (in Chinese)

[2] Kropff M J, Spitters C J T. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds[J]. *Weed Research*, 1991, 31(2): 97-105

[3] 侯向阳. 农业生态系统的稳定机制[J]. 生态学杂志, 1990, 9(6): 40-42  
Hou X Y. Stabilization mechanism of agroecosystem [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1990, 9(6): 40-42 (in Chinese)

[4] Wortman S E, Lindquist J L, Haar M J, Francis C A. Increased weed diversity, density and above-ground biomass in long-term organic crop rotations[J]. *Renewable Agriculture & Food Systems*, 2010, 25(4): 281-295

[5] 韩惠芳,宁堂原,田慎重,王瑜,王丙文,仲惟磊,李增嘉,田欣欣. 土壤耕作及秸秆还田对夏玉米田杂草生物多样性的影响[J]. 生态学报,2010,30(5):1140-1147  
Han H F, Ning T Y, Tian S Z, Wang Y, Wang B W, Zhong W L, Li Z J, Tian X X. Effects of soil tillage and straw returning on weed biodiversity in summer maize field[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(5): 1140-1147 (in Chinese)

[6] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands[J]. *Nature*, 1994, 367(6461): 363-365

[7] 陈欣,王兆鸾,唐建军. 农业生态系统杂草多样性保持的生态学功能[J]. 生态学杂志,2000,19(4):50-52  
Chen X, Wang Z Q, Tang J J. Ecological functions of weed diversity in agroecosystem[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(4): 50-52 (in Chinese)

[8] Menalled F D, Gross K L, Hammond M. Weed aboveground and seedbank community responses to agricultural management systems [J]. *Ecological Applications*, 2001, 11(6): 1586-1601

[9] Legere A, Stevenson F C. Residual effects of crop rotation and weed management on a wheat test crop and weeds[J]. *Weed Science*, 2002, 50(1): 101-111

[10] Rydgerg N T, Milberg P. A survey of weeds in organic farming in Sweden [J]. *Biological Agriculture & Horticulture*, 2000, 18(2): 175-185

[11] 沙志鹏,王军峰,关法春. 西藏东南缘农牧复合系统:玉米田放牧鹅的生物多样性和经济效益分析[J]. 草地学报,2014, 22(1): 213-216  
Sha Z P, Wang J F, Guan F C. Analysis of biodiversity and economic benefit of raising geese in corn fields [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22(1): 213-216 (in Chinese)

[12] 全淑萍,关法春,曹舰艇,张宇阳,边步云,程犇. “玉米田养鹅”农田生态系统下的土壤温度影响机制[J]. 中国农业大学学报,2017,22(9):64-71  
Tong S P, Guan F C, Cao J T, Zhang Y Y, Bian B Y, Cheng B. Influence mechanism of the farmland ecosystem of “Raising geese in corn field” on soil temperature[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(9): 64-71 (in Chinese)

[13] 曹舰艇,关法春,全淑萍,沙志鹏,边步云,程犇. 玉米田养鹅对土壤理化性状、杂草多样性及玉米生长的影响[J]. 中国农业大学学报,2018,23(2):20-28  
Cao J T, Guan F C, Tong S P, Sha Z P, Bian B Y, Cheng B. Effects of raising geese in cornfield on soil physical and chemical properties, weed diversity and maize growth[J].



- Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(2): 20-28 (in Chinese)
- [14] Guan F C, Sha Z P, Zhang Y Y, Wang J F, Wang C. Emergy assessment of three home courtyard agriculture production systems in Tibet autonomous region, China[J]. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 2016, 17(8): 628-639
- [15] 沙志鹏, 张宇阳, 王超, 权红, 关法春. 西藏“玉米田养鹅”模式下养分吸收与养分平衡特征[J]. *土壤学报*, 2016, 53(2): 523-532
- Sha Z P, Zhang Y Y, Wang C, Quan H, Guan F C. Characteristics of nutrient absorption and nutrient balance in “Raising geese in corn field” model in Tibet[J]. *Journal of Soil Science*, 2016, 53(2): 523-532 (in Chinese)
- [16] Zhang Y Y, Sha Z P, Guan F C, Wang C, Li Y J. Impacts of geese on weed communities in corn production systems and associated economic benefits[J]. *Biological Control*, 2016, 99(1): 47-52
- [17] Puricelli E, Tuesca D. Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences [J]. *Crop Protection*, 2005, 24(6): 533-542
- [18] Steege H T. Measuring biological diversity [J]. *Environmental & Ecological Statistics*, 2004, 1(2): 95-103
- [19] 张宇阳, 王军峰, 沙志鹏, 关法春, 段晶. “农牧一体化”下玉米田杂草多样性及玉米生长状况[J]. *浙江大学学报*, 2014, 40(6): 638-646
- Zhang Y Y, Wang J F, Sha Z P, Guan F C, Duan J. Weed diversity and maize growth in maize field under “Ago-pastoral integration” [J]. *Journal of Zhejiang University*, 2014, 40(6): 638-646 (in Chinese)
- [20] Blackshaw R E, Lemerle D, Mailer R, Young K R. Influence of wild radish on yield and quality of canola [J]. *Weed Science*, 2002, 50(3): 334-349
- [21] Nardi S, Morari F, Berti A, Tosoni M, Giardini L. Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers [J]. *European Journal of Agronomy*, 2004, 21(3): 357-367
- [22] Johnston A E. Soil organic matter, effects on soils and crops [J]. *Soil Use & Management*, 1986, 2(3): 97-105
- [23] 张宇阳. “玉米田养鹅”生产模式碳平衡关键过程研究[D]. 林芝: 西藏农牧学院, 2016
- Zhang Y Y. Study on key processes of carbon balance in production pattern of “Raising geese in corn field” [D]. Linzhi: Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, 2016 (in Chinese)
- [24] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田间杂草生物多样性的影响[J]. *土壤通报*, 2005, 36(2): 220-222
- Yin L C, Cai Z C. Effects of long-term fertilization on weed biodiversity in corn fields [J]. *Soil Bulletin*, 2005, 36(2): 220-222 (in Chinese)
- [25] 汤雷雷, 万开元, 陈防. 养分管理与农田杂草生物多样性和遗传进化的关系研究进展[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(7): 1744-1749
- Tang L L, Wan K Y, Chen F. Research progress on relationship between nutrient management and weed biodiversity and genetic evolution [J]. *Acta Ecology and Environment*, 2010, 19(7): 1744-1749 (in Chinese)
- [26] 徐广平, 张德罡, 徐长林, 蒲小鹏, 刘晓静, 柳小妮, 陈建纲. 放牧干扰对东祁连山高寒草地植物群落物种多样性的影响[J]. *甘肃农业大学学报*, 2005, 40(6): 789-796
- Xu G P, Zhang D, Xu C L, Pu X P, Liu X J, Liu X N, Chen J G. Effects of grazing disturbance on species diversity of alpine grassland plant communities in east Qilian mountains [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2005, 40(6): 789-796 (in Chinese)
- [27] 杨利民, 李建东, 杨允菲. 草地群落放牧干扰梯度  $\beta$  多样性研究[J]. *应用生态学报*, 1999, 10(4): 442-446
- Yang L M, Li J D, Yang Y F. Study on grazing disturbance gradient beta diversity in grassland communities [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 442-446 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东