

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

曹舰艇^{1,2} 关法春^{2,3*} 仝淑萍^{1,2} 沙志鹏⁴ 边步云^{1,2} 程犇^{1,2}

(1. 西藏农牧学院 西藏高原生态研究所, 西藏 林芝 860000;

2. “农牧一体化”农业生态试验站(林芝), 西藏 林芝 860000;

3. 吉林省农业科学院 农村能源与生态研究所, 吉林 130033;

4. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘要 为探究“玉米田养鹅”对农田生态系统杂草多样性、土壤理化性质及玉米生长状况的影响,以林芝市八一镇章麦村试验田为研究对象,运用对比方法,研究玉米田养鹅(Raising geese in cornfield, RGC)和对照(Control, CK)土壤理化性质、杂草多样性及玉米生长的异同,旨在通过田间状态的描述和中间状态的研究,为以后优化玉米田调控措施提供依据。结果表明:1)RGC处理有19种杂草,其中以菊科植物最多,对照组仅有9种。不同功能群杂草密度相差很大,双子叶一年生或越年生被子植物功能群杂草密度远远高于其他5种功能群;RGC处理提高了杂草群落Shannon-Wiener和Simpson多样性指数,但降低了Pielou均匀度指数和Margalef物种丰富度指数;2)RGC处理土壤含水率较对照高1.27%,与对照相比差异不显著($P>0.05$);3)随着土层加深,RGC和对照土壤紧实度均呈逐渐增加趋势,且RGC对紧实度影响显著;4)对照土壤碱解氮含量为86.48 mg/kg,略高于RGC处理2.67 mg/kg($P>0.05$),速效钾含量为161.07 mg/kg,略高于RGC处理28.66 mg/kg($P<0.05$),而RGC的土壤中速效磷含量为120.98 mg/kg,是对照(106.25 mg/kg)的1.14倍($P>0.05$)。结论:RGC处理增加了农田系统杂草数量、种类和生物量,提高了生物多样性,使土壤紧实度明显减小、土壤含水率增加及土壤养分含量出现差异,且玉米各项农艺性状低于对照。

关键词 鹅; 玉米田; 杂草; 生物多样性; 土壤养分; 玉米基本性状

中图分类号 S181

文章编号 1007-4333(2018)02-0020-09

文献标志码 A

Effects of raising geese in cornfield on soil physical and chemical properties, weed diversity and maize growth

CAO Jianting^{1,2}, GUAN Fachun^{2,3*}, TONG Shuping^{1,2},

SHA Zhipeng⁴, BIAN Buyun^{1,2}, CHENG Ben^{1,2}

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

2. Linzhi Station of Agro-Ecology Research on Agro-Pastoral Integration, Linzhi 860000, China;

3. Institute of Rural Energy and Ecology, Jinlin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China;

4. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract In order to explore the effects of raising geese in cornfield on weed diversity, soil physical and chemical properties and maize growth status in farmland ecosystem. An experimental plot, which was located in Zhangmai Village, Bayi Town, Linzhi County, was taking as study object to investigate the similarities and differences between raising geese in cornfield (RGC) and control on the biodiversity of weeds in farmland ecosystem, physical and chemical properties of soil and growth of maize. The results showed that: 1) RGC had 19 species of weeds, which were mainly

收稿日期: 2017-02-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660552); 西藏特色农牧资源研发协同创新中心高原生态研究平台; 西藏大学农牧学院青年拔尖人才支持计划项目(2015D0601)

第一作者: 曹舰艇, 硕士研究生, E-mail: caojiantingcy@163.com

通讯作者: 关法春, 副教授, 博士, 主要从事“农牧一体化”研究, E-mail: gfc1940@163.com

composite, while CK had only 9 species. The total weed density of API was 15.42 times as much as that in CK, showing a significant difference ($P>0.05$). In RGC, the distribution of the dominant weed was considerably large. The number of dicotyledonous angiosperm and annual/biennial was much higher than other five functional groups. 2) The soil moisture content of RGC was 1.27% higher than that of the control, which was not significantly different from that of the control ($P>0.05$); 3) With the deepening of soil, the compactness of RGC and CK soil gradually increased, and RGC had a significant effect on soil compactness; 4) The content of available nitrogen and K of CK were 86.48 and 161.07 mg/kg, 2.67, 28.66 mg/kg higher than RGC ($P>0.05$), but the content of available K in RGC was 120.98 mg/kg, 1.14 times as much as CK which was 106.25 mg/kg ($P<0.05$), the content of available phosphorus in RGC was 120.98 mg/kg, which was 1.14 times of the control ($P>0.05$). In conclusion, the RGC treatment increased the number, species and biomass of weeds in farmland system, improved biodiversity, reduced soil compaction, increased soil water content and soil nutrient content, and however affected maize plant growth.

Keywords geese; corn fields; weeds; biodiversity; soil nutrients; basic characters of maize

农田生态系统具有重要社会和生态服务功能,在维持区域生态安全价值方面发挥着重要作用^[1]。在玉米(*Zea mays* Linn.)生产中,由于杂草与玉米之间存在强烈的竞争作用,传播病虫害^[2],从而影响玉米产量及品质,因此玉米生产上一般采用除草剂来抑灭杂草。然而,杂草的抑灭明显降低了玉米田生态系统的多样性,对农田系统的稳定性及可持续性产生严重威胁,容易导致农田生态系统物种单一、生物多样性及抗病虫害能力降低等一系列问题^[3]。

生态系统在维持其自身稳定平衡方面都遵循固有机制,丰富的生物多样性是维持该系统稳定平衡及可持续发展的基础^[4]。杂草在农田生态系统中的存在具有一定的合理性,并具有某些潜在价值。修娜等^[5]对陕西秦岭山区野生苔草属植物的研究发现,硬果苔草(*Carex sclerocarpa*)、青绿苔草(*C. breviculmis*)等具有较高的坪用价值;侯新村等^[6]对纤维素类能源草的研究发现,某些能源草不仅是重要的能源植物与良好的生物质资源,且能降低大气 CO₂ 浓度,同时在促进土壤碳的积累等方面具有积极的作用。因此,为了探明农田杂草多样性的提高对农田生态系统土壤及系统内作物的影响,如何将杂草作为可利用资源,有必要探索一种有效利用杂草资源来获取较高经济效益的生产模式。

“农牧一体化”(Agro-pastoral integration, API)^[7]下的“玉米田养鹅”(Raising geese in cornfield, RGC)模式,既是一种保留田间杂草并实现高效利用资源的一种农业生产模式,也可通过在玉米田间放养一定数量的鹅来控制杂草的生长与繁衍,从而在基本不影响玉米产量及品质的同时,充分利用田间杂草获得较高的养鹅收入。该生产方式保

留了田间生长的部分杂草,对维持玉米田系统生物多样性及可持续发展发挥作用。虽然已有研究分析了 RGC 生产模式下的能值^[8]和田间生物多样性以及经济效益^[9]等,然而,RGC 模式下田间杂草多样性对玉米植株的生长及土壤性状的影响尚不清楚。因此,本研究拟通过对比试验,研究 RGC 处理下的系统多样性特征、土壤理化性质和玉米植株生长情况的影响,旨在明确玉米田养鹅农田系统的前期田间状态和中间运行过程,为今后玉米田田间管理和玉米植株生长管理提供科学依据,从而进一步优化玉米田养鹅管理技术,丰富“农牧一体化”理论。

1 材料与方法

1.1 试验区

试验区位于西藏林芝市八一镇(N: 29°33', E: 94°21'),具体气象及土壤状况参见文献^[10]。试验田土壤为沙壤土,土壤平均容重为 1.80 g/m³,平均总孔隙度为 32.89%,平均田间持水量为 23.75%。

1.2 试验设计

RGC 田间试验研究自 2013 年起开始进行。每年 4 月末或 5 月初进行耕地、播种和覆膜,玉米品种为“酒单 4 号”,玉米植株行距为 25 cm×45 cm,并设置保护行。以复合肥 400 kg/hm² 作为主要农田底肥,其主要成分及含量包括: N 132 kg/hm²、SOM 80 kg/hm²、P₂O₅ 68 kg/hm²、K₂O 68 kg/hm²。在玉米农田内设置养鹅处理(Raise geese in corn fields, RGC)和常规处理(即对照,CK),3 次重复,总面积 120 m²,随机排列,且小区之间间隔 1.0 m。养鹅处理的农田不除草,该处理小区四周用 50 cm

高尼龙网围封,8月初进行RGC,每小区放养10只鹅,连续放养3d,同种处理小区内轮流放牧,于每天早上放入,晚上收回;CK组使用“玉雕”除草剂(成分:莠去津,化学名称:2-氯-4-二乙氨基-6-异丙氨基-1,3,5-三嗪,比例:90%(V/V))抑灭杂草,667 m²施用量1.65 kg(溶于120 L水中),使用背式喷雾器喷施(用自制罩头罩住喷头避免除草剂逸散),于播种后施用1次。

本次试验于2016年4月21日播种,试验数据采集于7月6日—7月11日进行。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 杂草群落特征

在各小区内随机选取3个样方调查杂草群落特征,样方面积均为50 cm×50 cm,记录样方内杂草种类、盖度、密度及高度等指标,并将杂草地上部分收获,带回实验室,在105℃温度条件下杀青30 min,然后在80℃温度条件下烘干直至重量恒定,称重并记录数据。

依照本样区杂草种类、生长周期及子叶类型将杂草分为6大功能类群(表1)。

表1 杂草功能群分类^[10]

Table 1 Classification of weed functional groups^[10]

功能群 Functional group	描述 Description
MA	单子叶一年生或越年生被子植物 Monocotyledonous angiosperm and annual & biennial
MP	单子叶多年生被子植物 Monocotyledonous angiosperm and perennial
DA	双子叶一年生或越年生被子植物 Dicotyledonous angiosperm and annual & biennial
DP	双子叶多年生被子植物 Dicotyledonous angiosperm and perennial
FA	蕨类一年生或越年生植物 Fern and annual & biennial
FP	蕨类多年生植物 Fern and perennial

根据调查数据及公式“相对重要值(IV)=(相对高度+相对密度+相对盖度+相对频度+相对生物量)/5”计算各样地杂草的相对重要值。杂草多样性分析包括 Berger-Parker 多度(P_i), Margalef 物种丰富度指数(DMG), Shannon-Wiener 多样性指数(H'), Pielou 均匀度指数(E)和 Simpson 多样性指数(D)。计算方式如下:

Berger-Parker 多度(P_i)为

$$P_i = n_i/N \quad (1)$$

Margalef 物种丰富度指数(DMG)为

$$DMG = (S - 1) * (\ln N)^{-1} \quad (2)$$

Shannon-Wiener 多样性指数(H')为

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

Pielou 均匀度指数(E)为

$$E = H'/\ln S \quad (4)$$

Simpson 多样性指数(D)为

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i/N)^2 \quad (5)$$

式中: n_i 代表某种杂草在样地中的重要值; N 代表某样地杂草总重要值; S 代表所有样地杂草群落总物种数。

1.3.2 土壤理化性质

同时期,在两种处理各样方内随机选取3个点,

采用紧实度仪(SC900)测量各样点0~35 cm土壤层次的紧实度,同时,取5~15 cm层次土样,一部分立即测定其含水率(烘干法)。其余土样风干待测,碱解氮含量采用1.0 mol/L NaOH 碱解-扩散法测量;速效磷含量采用0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗吸光光度法测量;速效钾含量采用1.0 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测量。

1.3.3 玉米性状

每小区随机选取3株生长正常、长势一致的玉米植株(每种处理共计9株),用钢尺(分度值0.1 cm)测量其株高(H_{ij})、叶片长度(L_{ij})和最大叶宽(B_{ij}),用游标卡尺测量其径粗(D_{ij}),功能叶叶片的叶绿素(S_{ij})含量用手持式叶绿素测定仪(型号:SPAD-502)进行测定,并将植株从地面第一个茎节基处砍下,然后在105℃温度条件下杀青30 min,并在80℃温度条件下烘干直至恒重,称量并记录(D_{ij}),即为干物质量。

玉米植株叶面积(A)计算公式为

$$A = 0.75 \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (L_{ij} \times B_{ij})}{m}$$

式中: n 为第 j 株玉米总叶片数; i 为第 j 株玉米某

一片叶； m 为测定株数。

利用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 统计软件进行数据分析并作图，采用 t -检验法进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 杂草群落特征

2.1.1 玉米田杂草种类、密度、功能群

玉米田杂草种类、密度、功能群调查结果显示：

RGC 中有 19 种杂草，包括菊科 5 种，占杂草总数的 26.32%，禾本科 3 种，占杂草总数的 15.79%，木贼科、天南星科、蓼科各 2 种，各占杂草总数的 10.53%，其他藜科、莎草科、唇形科、十字花科、茜草科各为 1 种，分别占杂草总数的 5.26%；对照有 9 种杂草，比 RGC 少 10 种，是 RGC 的 47.37%，其中菊科、木贼科和禾本科均有 2 种，莎草科、蓼科、天南星科各有 1 种(表 2)。

表 2 不同处理下杂草种类及密度

Tab. 2 Weed species and density under different treatments

杂草种类 Weed species and functional group	植株密度/(株/m ²) Density	
	玉米田养鹅 Raising geese in cornfield	对照 Control
单子叶一年生或越年生被子植物(MA) Monocotyledonous angiosperm and annual & biennial		
马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	66.22±16.71**	1.78±0.38
野燕麦 <i>Avena fatua</i> L.	2.22±0.96	—
单子叶多年生被子植物(MP) Monocotyledonous angiosperm and perennial		
半夏 <i>Pinellias ternate</i>	17.33±5.29*	7.11±1.35
萨嘎苔草 <i>Carex sagaensis</i>	0.44±0.19	3.11±1.35*
白草 <i>Pennisetum centrasiaticum</i>	1.33±0.33	5.33±1.53*
天南星 <i>Arisaema heterophyllum</i> Blume	2.22±0.96	—
双子叶一年生或越年生被子植物(DA) Dicotyledonous angiosperm and annual & biennial		
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	5.77±0.84	—
灰绿藜 <i>Chenopodium glaucum</i>	275.56±30.36	—
牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	216.44±38.95**	0.44±0.19
加拿大白酒草 <i>Conyza Canadensis</i>	1.33±0.33	5.78±1.17*
芥菜 <i>Capsella bursa-pastoris</i>	6.67±1.67	—
鼠麴草 <i>Gnaphalium affine</i>	0.44±0.19	—
宝盖草 <i>Lamium amplexicaule</i> L.	1.33±0.33	—
猪殃殃 <i>Galium aparine</i> L. var. <i>tenerum</i> Gren. et (Godr.) Rebb.	0.44±0.19	—
尼泊尔蓼 <i>Polygonum nepalense</i>	72.00±10.81**	0.89±0.19
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.	0.89±0.38	—
双子叶多年生被子植物(DP) Dicotyledonous angiosperm and perennial		
蓟 <i>Cirsium japonicum</i>	0.89±0.19	—
蕨类一年生功能群(FA) Ferny and annual		
—	—	—
蕨类多年生功能群(FP) Ferny and perennial		
节节草 <i>Hippochaete ramosissimum</i>	5.33±1.45	7.11±1.35
散生木贼 <i>Equisetum diffusum</i>	8.44±0.19	12.89±2.78
合计	685.33±77.50**	44.44±3.64

注：RGC：玉米田养鹅；—表示杂草在该区域未出现。*表示在 $P<0.05$ 水平差异有统计学意义，**表示在 $P<0.01$ 水平差异有统计学意义，下同。

Note: RGC, raising geese in cornfield; — indicates that this weed species does not appear in this area; * indicates significant at the 0.05 probability level; **, indicates significant at the 0.01 probability level. The same below.

RGC 杂草群落总密度为 685.33 株/m², 是对照 (44.44 株/m²) 的 15.42 倍, 处理间差异极显著 ($P < 0.01; n = 9$)。

RGC 中, 牛膝菊、尼泊尔蓼和马唐密度分别是对照的 487 倍、81 倍和 37.25 倍, 不同处理间差异极显著 ($P < 0.01; n = 9$); 而对照的白草、加拿大白酒草、散生

木贼、节节草、萨嘎苔草均高于 RGC, 处理间总密度差异不显著 ($P > 0.05; n = 9$); 半夏密度为 17.33 株/m², 高于对照 10.22 株/m² 处理间差异显著 ($P > 0.05; n = 9$); 其他杂草仅在 RGC 中出现; 从不同处理功能群杂草密度来看 (图 1), 不同功能群杂草的密度相差很大, RGC 的 DA 功能群杂草密度远远高于其他 5 种功能群。

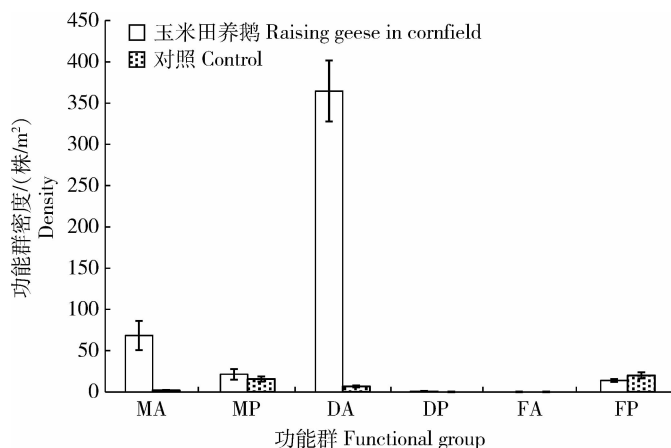


图 1 不同处理功能群杂草密度

Fig. 1 Weed density of functional groups under different treatments

2.1.2 杂草多样性及地上生物量

由表 3 可知, RGC 杂草群落 Shannon-Wiener 及 Simpson 多样性指数为 1.76 和 0.77, 分别是对照的 1.01 和 1.06 倍, RGC 和对照间差异未达显著水平 ($P > 0.05; n = 9$); 而对照的 Pielou 均匀度指数

和 Margalef 物种丰富度指数高于 RGC, 分别是 RGC 的 1.16 和 1.17 倍, 处理间差异不显著 ($P > 0.05; n = 9$); RGC 杂草地上生物量是对照的 68.12 倍, 处理间差异达极显著水平 ($P < 0.01; n = 9$), 而地上生物量将直接影响后期牧鹅饲草的供给力。

表 3 在不同处理下杂草群落地上生物量和多样性指数

Table 3 Aboveground biomass and biodiversity indices of weed community under different treatments

多样性指数 Biodiversity index	玉米田养鹅 Raising geese in cornfield	对照 Control
Shannon-Wiener 多样性指数 H'	1.76 ± 0.18	1.67 ± 0.20
Pielou 均匀度指数 E	0.69 ± 0.05	0.80 ± 0.07
Margalef 物种丰富度指数 DMG	2.41 ± 0.53	2.82 ± 0.78
Simpson 多样性指数 D	0.77 ± 0.04	0.76 ± 0.05
地上生物量/g Aboveground biomass	386.30 ± 14.47**	5.67 ± 0.80

杂草种类多样性的提高及杂草密度的增加, 会导致地表环境因素的变化, 如地表生境、水分、光照、温度等, 从而引起土壤养分的改变, 进而引起在该生境生长的玉米植株生长状况的变化。

2.2 土壤性质

2.2.1 土壤含水率

由图 2 可知, RGC 及对照之间土壤含水率存在一定差异, RGC 为 16.14%, 高于对照 1.27%, 不同

处理间差异不显著($P>0.05$; $n=15$)。

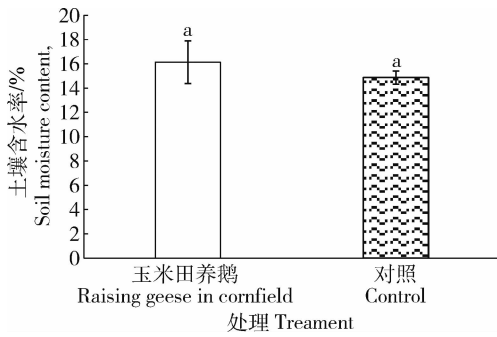


图 2 不同处理下的土壤含水率

Fig. 2 Soil moisture content under different treatments

2.2.2 土壤紧实度

除 5 cm 处土层外,在 0、10、15、20、25、30 及 35 cm 土层处,RGC 土壤紧实度均小于对照(图 3),且在 15~35 cm 层次,不同处理之间的差异达极显著水平($P<0.01$; $n=9$);随着土层加深至 35 cm, RGC 及对照土壤紧实度之间差距逐渐减小, RGC 和对照土壤紧实度差异显著($P<0.05$; $n=9$)。从总体趋势看, RGC 使得耕层土壤紧实度减小,耕层土壤的疏松程度增加。

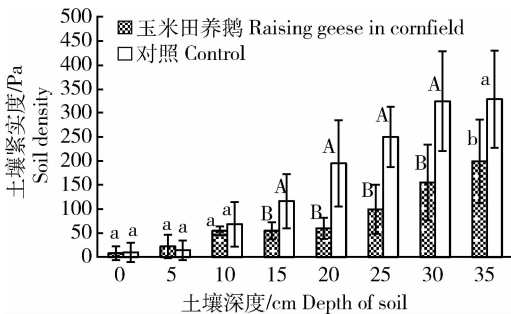


图 3 不同处理、不同层次下的土壤紧实度

Fig. 3 Soil density under different treatments and levels

2.2.3 土壤养分状况

土壤常规速效养分含量在一定范围内受 RGC 的影响(图 4)。对照土壤碱解氮含量为 86.48 mg/kg,略高于 RGC 2.67 mg/kg,而 RGC 土壤速效磷含量为 120.98 mg/kg,高于对照(106.25 mg/kg)14.73 mg/kg,不同处理土壤碱解氮及速效磷含量差异均不显著($P>0.05$; $n=15$);对照土壤速效钾含量为 161.07 mg/kg,高出 RGC 28.66 mg/kg,处理间差异显著($P<0.05$; $n=15$)。

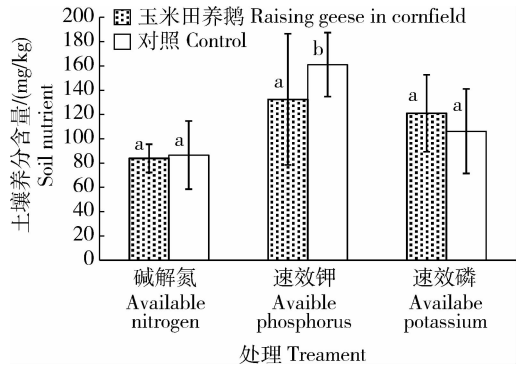


图 4 不同处理下土壤养分指标

Fig. 4 Soil nutrient under different treatments

2.3 玉米植株农艺性状

通过测定玉米植株的农艺性状可知, RGC 玉米植株各项指标均比对照低。玉米植株株高、叶宽、叶长、茎粗、叶面积、叶绿素含量及植株含水率分别为 102.44 cm、6.89 cm、63.43 cm、19.768 cm、329.24 cm²、50.43 和 86.55%,分别低于对照 4.36%、12.45%、3.89%、16.45%、15.9%、14.35% 和 1.37%,其中 RGC 株高、叶长、叶面积和叶绿素含量与对照相比差异均不显著($P>0.05$; $n=9$),但 RGC 玉米植株叶宽、茎粗、干物质量差异显著低于对照($P<0.05$; $n=9$)(表 4),由此说明 RGC 模式会影响玉米植株的农艺指标。

表 4 两种不同处理方式下玉米植株农艺性状

Table 4 Agronomic traits of maize under two different treatments

性状 Characteristic	玉米田养鹅 Raising geese in cornfield	对照 Control
株高/cm Plant height	102.44±10.08	107.11±5.84
叶宽/cm Leaf width	6.89±0.63	7.87±0.75*
叶长/cm Leaf length	63.43±4.50	66.00±6.42
茎粗/cm Stem diameter	19.77±2.28	23.66±2.70*
叶面积/cm ² Leaf area	329.24±67.93	391.51±86.28
叶绿素值 SPAD value	50.43±6.14	58.88±5.54
干物质量/g Plant moisture	38.16±9.14	51.26±11.65*

3 讨论

3.1 RGC 系统杂草多样性的形成原因

RGC 是在不施用除草剂的条件下以鹅的采食来控制田间杂草的生产模式,具有提高农田生态系统杂草多样性的作用^[11]。本研究表明,RGC 能够明显提高田间杂草的种类及数量,从而使 RGC 系统保持较高的生物多样性。这与沙志鹏等^[9]和全淑萍等^[12]的研究结果相符。除草剂的施用将会抑制杂草光合作用,进而降低杂草生产力及多样性^[13]。莠去津会影响光合体系 II (PS II) 的运行,从而抑制光合产物的形成,导致植物养分供应不足,造成植物生长缓慢及多样性下降^[14]。本研究发现,除草剂的施用明显降低了田间杂草的种类及数量,从而对田间杂草多样性产生不利影响,导致生物多样性下降。

3.2 土壤理化性质对杂草群落多样性的响应

地表植被层能在一定程度上阻碍土壤水分的蒸发^[15],从而使其具有保持土壤水分的作用^[16-17],因此,植被层能够显著影响土壤水分的变化特征^[18-19]。本研究发现,在雨季期间,RGC 处理下土壤含水率明显高于对照,同时 RGC 处理与对照相比具有较多数量和种类的杂草,因此,这将会使 RGC 下的地表保护层较对照完善,从而可在一定程度上减小土壤水分蒸发,使得 RGC 含水率高于对照;土壤含水率的提高将会在一定程度上促进土层疏松^[20]。本研究中 RGC 各层次的土壤紧实度总体低于对照,这可能是由于鹅粪直接还田以及杂草自由生长的环境,会为土壤微生物及动物提供足够的营养物质,导致其数量和种类的增加,而生物的活动会使紧实度降低,从而提高含水率,表明杂草多样性可间接影响土壤含水率的变化。

经过连续 4 年的 RGC 模式,玉米田杂草种类及数量均高于对照:一方面是由于往年牧鹅时会在处理区内留下鹅粪,带来一部分肥料;另一方面,玉米植株和杂草的生长虽会消耗掉一部分肥料,但是杂草被鹅取食最终又以粪便的形式还田,同时杂草枯萎后被微生物分解还田。RGC 处理农田土壤 N、K 亏缺程度显著低于对照,同时在对照 P 出现亏缺的情况下,RGC 处理的 P 素出现了少量盈余,这很可能是鹅粪的摄入补充了土壤中营养元素的消耗,从而使得土壤 RGC 处理下土壤营养元素较对照高,与已有研究结果一致^[21]。另外,RGC 处理农田土壤养分明显优于对照,土壤养分状况的差异必然

会导致系统内杂草种类和数量的改变,从而影响农田土壤的理化性质。

3.3 玉米植株性状对杂草群落多样性的响应

生物间的营养竞争,对其生长、繁殖产生重要影响^[22]。“农牧一体化”模式下杂草与玉米植株生长之间同样存在竞争现象^[23]。RGC 处理下杂草种类和密度的增加必然会排斥玉米植株的生长,杂草除了对地上光照、热能等方面在时间和空间上的互补竞争作用外,在地下对土壤养分同样也存在竞争作用和促进作用,且作物吸收养分的情况是由两者共同决定的^[24]。RGC 处理下杂草多样性的增加会加剧土壤中养分的竞争,使得玉米植株所能利用的养分含量减少,从而影响玉米植株的生长状况及产量和品质,且杂草地下根系的增加也会对玉米植株的生长产生阻碍作用^[25],从而影响其生长,使其各项性状低于对照。

4 结论

RGC 处理杂草保留其自然生长力,使得杂草种类多,密度大、优势种突出,双子叶一年生或越年生被子植物功能群占据最大优势,多样性和地上生物量较高,但其物种丰富度和均匀度较低;而对照杂草种类少,仅有 9 种,密度小,杂草群落多样性较低,而丰富度和均匀度较高,地上生物量显著低于 RGC ($P < 0.01; n = 9$)。

RGC 对土壤含水率影响不显著,仅比对照高出 8.54%,但能显著降低土壤的紧实度,RGC 杂草密度较高,对土壤养分的利用也较多。RGC 处理对玉米植株株高、叶长、叶面积、叶绿素含量影响较小,但对叶宽、茎粗、植株干物质质量影响较大。

玉米田养鹅措施明显增加了系统杂草的数量、种类和生物量,提高了系统的生物多样性,但杂草对玉米生长的抑制作用在前期即体现,今后应采取措施调控玉米的前期生长状态。

参考文献 References

- [1] Wood S A, Karp D S, Declercq F, Kremen C, Naeem S, Palm C A. Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2015, 30(9): 531-539
- [2] 崔亮亮, 刘勇, 杨士玲, 王明群. 山东省麦红吸浆虫发生动态及传播方式研究[C]//粮食安全与植保科技创新, 武汉: 中国植物保护学会, 2009: 247-251

- Cui L L, Liu Y, Yang S L, Wang M Q. A research on mode of transmission and occurrence dynamics of *Sitodiplosis mosellana* Gehin in Shandong Province[C]. In: Food Safety and the Technology Innovation of Plant Protection. Wuhan: China Society of Plant Protection, 2009: 247-251 (in Chinese)
- [3] 黄顶成, 尤民生, 侯有明, 李志胜. 化学除草剂对农田生物群落的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1451-1458
Huang D C, You M S, Hou Y P, Li Z S. Effects of chemical herbicides on bio-communities in agroecosystems [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1451-1458 (in Chinese)
- [4] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands [J]. *Nature*, 1994, 367(27): 363-365
- [5] 修娜, 吉文丽, 张杨. 秦岭野生苔草植物资源及坪用价值[J]. 草业科学, 2011, 28(7): 1253-1258
Xiu N, Ji W L, Zhang Y. Wild resource of *Carex* genus in the Qinling areas and their turf characteristic [J]. *Pratacultural Science*, 2011, 28(7): 1253-1258 (in Chinese)
- [6] 侯新村, 范希峰, 武菊英, 左海涛. 纤维素类能源草在京郊地区的经济效益与生态价值评价[J]. 草业学报, 2011, 20(6): 12-17
Hou X C, Fan X F, Wu J Y, Zuo H T. Evaluation of economic benefits and ecological values of cellulosic bioenergy grasses in Beijing suburban areas [J]. *Acta Pratacultural Sinica*, 2011, 20(6): 12-17 (in Chinese)
- [7] 关法春, 王超. “农牧一体化”理论的原理[J]. 西藏农牧学院学报, 2011(1): 42-45
Guan F C, Wang C. The theory and technology approach of agro-pastoral integration principle [J]. *Journal of Tibet Agriculture and Animal Husbandry College*, 2011(1): 42-45 (in Chinese)
- [8] 沙志鹏, 关法春, 王军峰, 田飞鹏. 玉米田养鹅生产模式的能值评估[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2013, 39(6): 655-662
Sha Z P, Guan F C, Wang J F, Tian F P. Emergy evaluation on production pattern of raising geese in corn field [J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Science*, 2013, 39(6): 655-662 (in Chinese)
- [9] 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. The agro-pastoral compound ecosystem of southeast Tibet—analyses of biodiversity and economic benefits of raising geese in cornfields [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22(1): 213-216 (in Chinese)
- [10] Puricelli E C, Tuesca D H. Weed density and diversity under glyphosate-resistant crop sequences [J]. *Crop Protection*, 2005, 24(6): 533-542
- [11] 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: 农业与生命科学版, 2014, 40(6): 638-646
Zhang Y Y, Wang J F, Sha Z P, Guan F C, Duan J. Weeds biodiversity and maize growth in agro-pastoral integration system [J]. *Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Science*, 2014, 40(6): 638-646 (in Chinese)
- [12] 全淑萍, 关法春, 曹舰艇, 张宇阳, 边步云, 程舜. “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): 60-67
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): 60-67 (in Chinese)
- [13] 王正贵, 于倩倩, 周立云, 郭文善, 朱新开, 李春燕, 封超年. 几种除草剂对小麦籽粒产量及生理特性的影响 [J]. 核农学报, 2011, 25(4): 791-795
Wang Z G, Yu Q Q, Zhou L Y, Guo W S, Zhu X K, Li C Y, Feng C N. Effects of herbicides on grain yield and physiological characteristics of wheat [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2011, 25(4): 791-795 (in Chinese)
- [14] McMurry J, Simanek E. 有机化学基础 [M]. 任丽君, 向玉联译. 6版. 北京: 清华大学出版社, 2008: 231-232
McMurry J, Simanek E. *Fundamentals of Organic Chemistry* [M]. Ren L J, Xiang Y L translated. 6th Edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 231-232 (in Chinese)
- [15] 赵锦梅, 徐长林, 马亚萍, 李瑞. 祁连山东段高寒灌丛地被物与土壤的水文特征 [J]. 林业科学, 2014, 50(10): 146-151
Zhao J M, Xu C L, Ma Y P, Li R. Surface cover and soil hydrological characteristics of alpine shrub in eastern Qilian Mountains [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(10): 146-151 (in Chinese)
- [16] 韩惠芳, 宁堂原, 李增嘉, 田慎重, 王瑜, 仲惟磊, 田欣欣. 保护性耕作和杂草管理对冬小麦农田土壤水分及有机碳的影响 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 1183-1188
Han H F, Ning T Y, Li Z J, Tian S Z, Wang Y, Zhong W L, Tian X X. Effects of conservation tillage and weed control on soil water and organic carbon contents in winter wheat field [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(5): 1183-1188 (in Chinese)
- [17] 王根绪, 沈永平, 钱鞠, 王军德. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究 [J]. 冰川冻土, 2003, 25(6): 653-659
Wang G X, Shen Y P, Qian J, Wang J D. Study on the influence of vegetation change on soil moisture cycle in alpine meadow [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(6): 653-659 (in Chinese)
- [18] 刘洪来, 张卫华, 王堃, 赵娜. 华北农牧交错带农田-草地界面土壤水分影响域分析 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 659-664

- Liu H L, Zhang W H, Wang K, Zhao N. Edge influence of soil moisture at farm land-grassland boundary in agriculture-pasturage eco-tone of Northern China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 659-664 (in Chinese)
- [19] Zhang X, Zhao W W, Liu Y X, Fang X N, Feng Q. The relationships between grasslands and soil moisture on the Loess Plateau of China: A review[J]. *Catena*, 2016, 145: 56-57
- [20] Hamza M A, Anderson W K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions [J]. *Soil and Tillage Research*, 2005, 82(2): 121- 145
- [21] 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): 524-532
- Sha Z P, Zhang Y Y, Wang C, Quan H, Guan F C. Nutrient absorption and nutrient balance in an agro-pastoral compound production pattern of “Raising geese in corn fields” in Tibet [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, 53(2): 524-532 (in Chinese)
- [22] 申时才, 徐高峰, 张付斗, 金桂梅, 李天林, 张玉华. 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(18): 5523-5530
- Shen S C, Xu G F, Zhang F D, Jin G M, Li T L, Zhang Y H. Competitive effect of *Pistia stratiotes* to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5523-5530 (in Chinese)
- [23] Bastiaans L, Kropff M J. Weed competition[J]. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 2003, 3: 1494-1500
- [24] 李隆, 李晓林, 张福锁. 小麦大豆间作条件下作物养分吸收利用对间作优势的贡献[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(2): 140-146
- Li L, Li X L, Zhang F S. Uptake and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium as related to yield advantage in wheat/soybean intercropping [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(2): 140-146 (in Chinese)
- [25] Shahzad M, Farooq M, Jabran K, Hussain M. Impact of different crop rotations and tillage systems on weed infestation and productivity of bread wheat[J]. *Crop Protection*, 2016, 89: 161-169

责任编辑: 杨爱东