

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22573

黑土禾本科杂草生长特征及其对长期施肥的响应

郝小雨¹, 王 宇², 马星竹¹, 孙 磊³, 陈 磊³, 周宝库¹

(1. 黑龙江省黑土保护利用研究院 / 农业农村部黑土地保护与利用重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院植物保护研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要: 农田杂草防控是保证作物稳产高产的重要举措。利用始于 1979 年的黑土肥力长期定位试验, 分析长期不同施肥措施下麦田禾本科杂草生长特征及其对土壤养分的响应, 探讨利用合理施肥防控杂草的可行性。结果表明: 黑土长期不同施肥处理下禾本科优势杂草为马唐和金色狗尾草, 狗尾草和稗分布较少。均衡施肥对禾本科杂草抑制效果最佳, 杂草密度较偏施肥处理(氮磷、氮钾、磷钾)分别减少 94.4%、96.6%、98.0%。长期施氮肥(均衡施肥和偏施氮肥)可显著降低黑土农田禾本科杂草群落密度, 降幅在 41.5% ~ 98.0% 之间; 也可显著降低黑土农田禾本科杂草生物量。禾本科杂草干重与小麦产量显著负相关, 较低的禾本科杂草生物量能够反映黑土小麦的高产。优势杂草马唐、金色狗尾草密度与土壤全氮、碱解氮显著负相关, 与土壤 pH 显著正相关。总之, 长期平衡施用化肥可增加小麦产量并抑制禾本科杂草生长, 对于黑土麦田防控杂草具有积极作用, 但应注重调节土壤 pH 及氮素供应之间的平衡关系。

关键词: 禾本科杂草; 密度; 生长特征; 长期施肥; 小麦产量; 土壤化学性质

杂草作为农业生态系统的重要组成部分, 维持一定数量的杂草对保护农田生物多样性具有积极意义, 但杂草往往与作物竞争养分、水分、光照和空间等自然资源, 导致作物产量和品质下降^[1-2]。据统计, 我国有杂草 1400 余种, 其中危害严重的恶性杂草有 130 余种, 在田间杂草防治年投入费用高达 235 亿元的情况下, 作物产量仍因杂草而减少 5000 万 t, 直接经济损失近千亿元^[3]。目前, 我国农田杂草防治主要依靠人工、机械除草和化学除草剂, 杂草防治过程中不仅消耗了大量的资源和成本, 而且化学除草剂的大量使用还增加了杂草抗药性、土壤生物多样性下降、除草剂残留及迁移引起环境风险^[4-5]。因此, 确定合理的农田杂草防控策略, 能够有效保障粮食安全和维护生态环境安全。

肥料是影响农作物生长和土壤养分状况的关键因素, 持续合理施肥不仅保持了作物高产优质所需

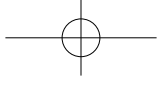
的高土壤肥力, 而且深刻影响了农田杂草种群^[6]。在太湖地区稻麦两熟制条件下, 稻季长期施磷肥后莎草科杂草密度减少甚至消失, 鸭舌草密度则增加, 耳叶水苋和水蕨则以不施肥处理生长最好, 氮磷肥配施减少杂草群落丰富度但能增加群落的均匀度^[7]; 麦季长期施用氮肥和有机肥能显著降低杂草密度, 有机肥的施用对杂草密度的控制效果最为显著^[8]。Major 等^[9]指出, 施用鸡粪降低了农田部分杂草的优势, 使不同杂草种的分布更加均匀。尹力初等^[10]发现, 长期不同施肥措施导致玉米田杂草种群发生变化, 芦苇、止血马唐、刺儿菜最能适应土壤磷素养分较低的条件, 香附子最能忍受低氮的土壤环境, 铁苋菜、马齿苋则喜欢在氮磷和有机肥处理下出现, 而地锦、狗尾草则适宜在氮磷钾和半量有机肥处理下生长。可见, 施肥是一种有效的农田杂草管理措施, 可通过改变土壤养分状况来影响作物与杂草之间的竞争关系。因此, 利用施肥提高作物自身生长优势, 提升作物对杂草的竞争能力, 最终降低杂草危害, 是农田杂草综合防治技术有效手段^[4]。

作为我国重要的商品粮生产基地, 黑龙江省的粮食生产关系到国家的粮食安全, 而杂草危害一直是影响黑龙江省作物产量的主要因素之一^[11]。黑

收稿日期: 2022-09-16; 录用日期: 2023-05-13

基金项目: 科技基础资源调查专项(2021FY100404-1); 省级黑土地保护利用项目(2022-22-2); 农业科技创新跨越工程专项(HNK2019CX1310); 国家大豆产业技术体系(CARS-04)。

作者简介: 郝小雨(1981-), 副研究员, 博士, 从事农田养分循环研究。E-mail: xiaoyuhao1981@sina.com。



龙江省旱田的主要杂草有 41 种, 危害较重的有稗、藜、反枝苋、苣荬菜、绿狗尾草、苍耳、本氏蓼、鸭跖草、问荆、香薷、铁苋菜等^[12]。使用除草剂是黑龙江省主要的杂草防治方式, 而随着除草剂应用面积和应用范围的不断扩大, 农田杂草抗药性增强和敏感作物耐药性降低, 土壤受长残效除草剂污染已经成为影响种植业结构调整、粮食产量提高的限制因素^[13]。因此, 如何安全有效地防控农田杂草并避免除草剂药害的发生, 已成为亟须解决的重要课题。本研究利用 1979 年开始的黑土肥力长期定位试验, 分析长期不同施肥处理下麦田禾本科杂草生长特征及其对土壤养分的响应, 探讨利用合理施肥防控杂草的可行性, 为黑土区农田杂草科学防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

哈尔滨黑土肥力长期定位试验位于黑龙江省农业科学院黑龙江现代农业示范区 (126° 51' E, 45° 50' N), 试验地海拔 151 m, 地处中温带, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 年均降水量 533 mm, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 平均有效积温 2700 $^{\circ}\text{C}$, 年均日照时数 2600 ~ 2800 h, 无霜期约 135 d。试验地土壤类型为旱地黑土, 成土母质为洪积黄土状黏土。长期定位试验于 1979 年建立, 1980 年开始按小麦 - 大豆 - 玉米顺序轮作。初始耕层 (1979 年, 0 ~ 20 cm) 土壤基本性质为有机质 26.6 g/kg、全氮 (N) 1.47 g/kg、全磷 (P) 0.467 g/kg、全钾 (K) 25.16 g/kg、碱解氮 151.0 mg/kg、有效磷 51.0 mg/kg、速效钾 200.0 mg/kg、pH 7.2。由于城市化进程不利于试验进行, 2010 年 12 月黑土长期定位试验进行了冻土搬迁 (搬迁深度 1.1 m), 距旧址 (126° 35' E, 45° 40' N) 约 40 km, 气候、土壤等与旧址基本一致。

1.2 试验设计

黑土长期定位试验共设 24 个处理, 本研究选取其中的 5 个典型处理: (1) 对照, 不施肥 (CK); (2) 施氮磷肥 (NP); (3) 施氮钾肥 (NK); (4) 施磷钾肥 (PK); (5) 均衡施肥 (NPK)。每个处理 3 次重复, 小区面积为 36 m² (4 m × 9 m), 随机排列, 区与区之间用水泥板分割 (深度 1.1 m)。小麦季氮 (N)、磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 肥分别施用 150、75、75 kg/hm², 均为上一季的 10 月下旬一次性施肥 (秋施肥), 之后旋耕。化学肥料为尿

素 (N 46%)、重过磷酸钙 (P₂O₅ 46%)、磷酸二铵 (N 18%, P₂O₅ 46%)、硫酸钾 (K₂O 50%)。试验区无灌溉措施, 每年种植一季。2022 年小麦季于 4 月中旬播种, 7 月下旬收获。小麦地上部全部离田, 根茬还田。长期定位试验不使用除草剂等化学农药, 定期人工除草。

1.3 样品采集和测定

于 2022 年 8 月 17 日采集田间杂草, 此时杂草处于生长旺盛期。在每个小区按照 “S” 形划分 3 个 0.25 m² (0.5 m × 0.5 m) 的采样区, 保证采样区能涵盖整个小区内所有物种, 采集样区内的全部杂草, 立即带回实验室鉴别, 主要有 4 种禾本科杂草 (表 1), 之后清洗干净晾干水分, 测量杂草株高, 再按杂草种类分别称鲜重, 65 $^{\circ}\text{C}$ 烘干后称干重。小麦产量测定: 于收获期将小区划分 10 m² 采样区, 采样区小麦全部收获, 人工脱粒, 风干后称重并测定含水率, 计算小麦产量; 测产的同时在小区内随机选取 20 株小麦测定株高、谷草比。采集杂草同时取土壤样品, 小区耕层 (0 ~ 20 cm) 按 “S” 形采集 5 个点, 混合为 1 个样品, 风干、去除杂质后, 采用常规方法测定土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾和 pH^[14]。

表 1 黑土禾本科杂草种类

属	种	生活史策略
狗尾草属	金色狗尾草 <i>Setaria glauca</i> (L.) Beauv.	一年生
马唐属	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	一年生
狗尾草属	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	一年生
稗属	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) Beauv.	一年生

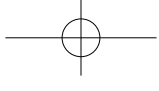
1.4 数据处理

利用 Excel 2016 处理数据, 采用 SPSS 19.0 进行方差分析、多重比较 (LSD 法) 和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 长期施肥下黑土禾本科杂草发生和生长特征

比较禾本科不同杂草种类密度 (图 1), CK 和 NP 处理均为马唐密度最大, 其次为金色狗尾草, 而狗尾草和稗未见分布; NK 处理马唐密度最大, 其次为稗, 之后为狗尾草, 金色狗尾草最低; PK 处理为马唐密度最大, 其次为金色狗尾草, 之后为



狗尾草, 稗未见分布; NPK 处理稗密度最大, 其次为金色狗尾草, 而马唐和狗尾草未见分布。总体来看, 黑土长期不同施肥处理下优势杂草为马唐, 其次为金色狗尾草, 狗尾草和稗处于劣势。

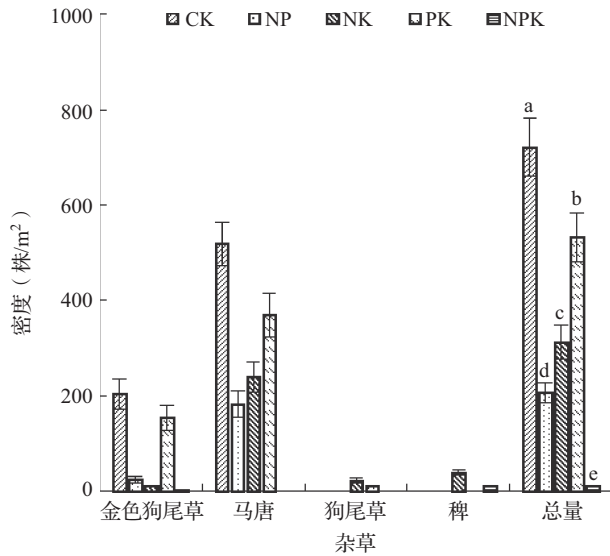


图1 长期施肥处理下禾本科杂草密度

注: 柱状图上不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$), 下同。

长期不同施肥处理下, 黑土禾本科杂草密度差异明显: CK 处理禾本科杂草密度总量为 721.4 株/m^2 , 显著高于施肥处理 ($P<0.05$), 说明即使长期不施肥, 禾本科杂草也有较强的适应性及生存能力。施用化肥则抑制了禾本科杂草生长, 抑制效果为均衡施肥 (NPK) > 不施钾肥 (NP) > 不施磷肥 (NK) > 不施氮肥 (PK), 即均衡施肥抑制效果最强, NPK 处理禾本科杂草密度仅为 10.7 株/m^2 , 较 NP、NK 和 PK 处理分别减少 94.4%、96.6% 和 98.0%。从上述结果还可看出, 施用氮肥的 3 个处理 NP、NK 和 NPK 处理杂草抑制效果明显强于 PK 处理, 降幅在 41.5% ~ 98.0% 之间, 表明长期施氮肥可显著降低黑土农田禾本科杂草群落密度。

由图 2 可知, 长期不同施肥处理下黑土禾本科杂草鲜重和干重均表现为 $\text{PK} > \text{CK} > \text{NK} > \text{NP} > \text{NPK}$, 其中 PK 与 CK 处理间差异不显著 ($P>0.05$), 原因是施用磷、钾肥增加了禾本科杂草的生物量, 但 PK 处理显著高于其他施氮肥处理 ($P<0.05$), 较 NK、NP、NPK 处理分别增加 119.9%、27.1%、490.9% 和 124.1%、29.1%、300.7%。可见, 长期施氮肥可显著降低黑土农田禾本科杂草生物量。

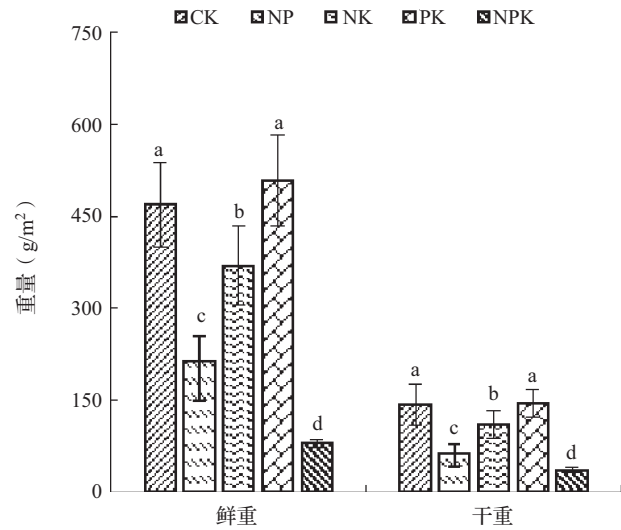


图2 长期施肥处理下禾本科杂草生物量

2.2 长期施肥对黑土小麦产量和土壤化学性质的影响

观察长期不同施肥处理下小麦产量变化 (图 3), 长期不施肥土壤养分亏缺导致小麦产量较低; 长期施肥均可以提高小麦产量, 但不同施肥处理的增产效应不同, 表现为 $\text{NPK} > \text{NP} > \text{NK} > \text{PK}$, 即均衡施肥较偏施肥能增加小麦产量; 与 CK 处理相比, NPK、NP、NK、PK 处理增产率分别为 287.9%、243.4%、97.0%、45.5%。与 NP、NK、PK 处理相比, NPK 处理增产率分别为 12.9%、96.9%、166.7%, 即黑土小麦的养分对产量的贡献率为氮 > 磷 > 钾。

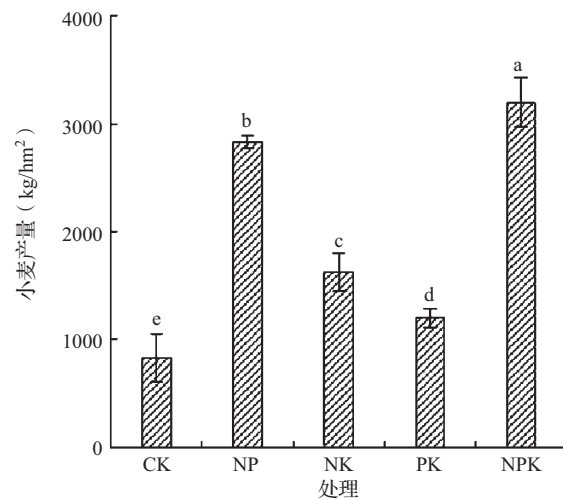


图3 长期施肥对小麦产量的影响

长期施肥对土壤化学性质的影响见表 2。与不施肥 CK 处理相比, 施化肥的 4 个处理均未显

表 2 长期施肥对土壤化学性质的影响

处理	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH
CK	27.7 ± 0.4a	1.45 ± 0.03bc	0.37 ± 0.02c	22.3 ± 1.1a	126.6 ± 4.6c	10.6 ± 3.0c	140.7 ± 2.9c	6.8 ± 0.0a
NP	26.8 ± 1.2a	1.49 ± 0.04abc	0.60 ± 0.05b	21.0 ± 0.8a	156.9 ± 1.7b	62.3 ± 7.6b	121.0 ± 2.6d	6.0 ± 0.0b
NK	28.4 ± 1.7a	1.54 ± 0.06ab	0.38 ± 0.02c	21.4 ± 0.5a	161.4 ± 5.0a	10.2 ± 0.6c	161.7 ± 7.2b	5.9 ± 0.2b
PK	26.6 ± 1.3a	1.40 ± 0.06c	0.74 ± 0.02a	22.4 ± 0.2a	128.3 ± 1.3c	106.2 ± 3.2a	185.0 ± 3.5a	6.7 ± 0.1a
NPK	29.5 ± 3.4a	1.57 ± 0.09a	0.71 ± 0.04ab	22.5 ± 0.4a	157.2 ± 1.7ab	99.3 ± 3.5a	144.0 ± 6.6c	5.9 ± 0.1b

注：同列不同字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

著增加土壤有机质含量（ $P>0.05$ ），原因是这些处理缺乏大量有机物料的投入来提升土壤有机质含量。施用氮肥显著提高了土壤氮素含量，施用氮肥的 NPK、NP、NK 处理，土壤全氮和碱解氮含量均显著高于 CK 和 PK 处理（ $P<0.05$ ），增幅分别在 2.5% ~ 12.4% 和 22.5% ~ 27.5% 之间。施用磷肥显著提高了土壤磷素含量，施用磷肥的 NPK、NP、PK 处理，土壤全磷和有效磷含量均显著高于 CK 和 NK 处理（ $P<0.05$ ），增幅分别在 56.5% ~ 99.1% 和 487.7% ~ 944.6% 之间。施用钾肥并未显著提高土壤全钾含量（ $P>0.05$ ），可能与施入土壤的一部分钾肥被土壤水云母或蒙脱石矿物固定有关^[15]；施用钾肥显著提高了土壤速效钾含量（ $P<0.05$ ），较 NP 处理增加了 19.0% ~ 52.9%。长期施用氮肥显著降低了土壤 pH（ $P<0.05$ ），土壤出现酸化趋势，施用氮肥的 NP、NK、NPK 处理土壤 pH 较 CK 和 PK 处理下降了 0.8 ~ 0.9 个单位，较试验开始前（pH 7.2）下降了 1.2 ~ 1.3 个单位。

2.3 禾本科杂草生物量对小麦产量的响应

禾本科杂草干重与小麦产量特征参数的直线拟合关系见图 4，拟合方程为 $y=-19.671x+3898$ ，拟合直线决定系数为 0.8842，直线斜率为负，表明在黑土长期施肥条件下，禾本科杂草干重与小麦产量有显著的负相关性（ $P<0.05$ ），即较低的禾本科杂草生物量能够反映黑土小麦的高产。

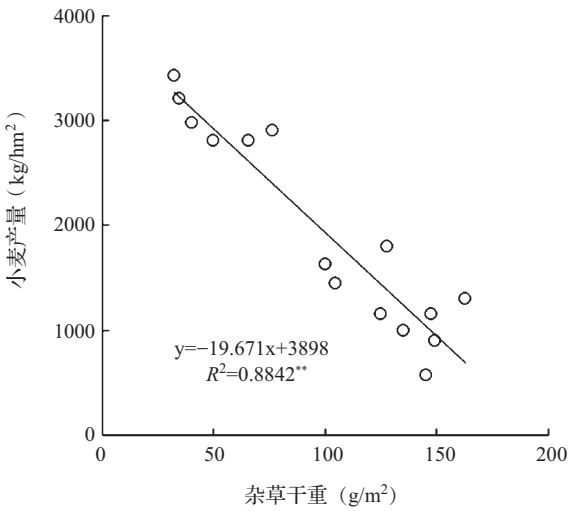


图 4 禾本科杂草干重与小麦产量的关系

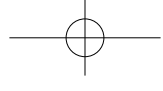
2.4 长期施肥下禾本科杂草密度对土壤化学性质的响应

由表 3 可以看出，金色狗尾草、马唐密度与土壤全氮、碱解氮呈显著的负相关关系（ $P<0.05$ ），与土壤 pH 呈显著的正相关关系（ $P<0.05$ ），与土壤有机质、全磷、全钾、有效磷、速效钾无显著性相关（ $P>0.05$ ）。狗尾草密度与土壤速效钾呈显著的正相关关系（ $P<0.05$ ），与其他指标无显著性相关（ $P>0.05$ ）。稗的密度与土壤碱解氮呈显著的正相关关系（ $P<0.05$ ），与其他指标无显著性相关（ $P>0.05$ ）。

表 3 禾本科杂草密度与土壤化学性质的关系

杂草	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾	pH
金色狗尾草	-0.337	-0.662**	-0.22	0.35	-0.944**	-0.198	0.333	0.953**
马唐	-0.34	-0.581*	-0.509	0.156	-0.793**	-0.499	0.269	0.841**
狗尾草	0.027	0.146	-0.38	-0.267	0.294	-0.391	0.569*	-0.142
稗	0.188	0.404	-0.485	-0.357	0.680**	-0.513	0.256	-0.423

注：* 表示在 5% 水平显著性相关，** 表示在 1% 水平显著性相关。



3 讨论

长期不同施肥措施改变了土壤养分状况,可提高土壤中相应营养元素的含量,通过影响农作物土壤养分吸收和生长来抑制绝大部分杂草的发生,因此通过施肥提升作物竞争优势和培育农田生境来综合治理杂草的方法是最有效直接的措施^[8, 16]。相关研究结果显示,施肥在增加作物产量的同时能有效减少杂草密度。俄罗斯 95 年的定位试验显示,长期均衡施肥(NPK)减少了春大麦分蘖期和成熟期的杂草密度^[17]。Nie 等^[18]发现,在湖南红壤均衡施用氮、磷、钾肥促进晚稻生长,降低杂草生长所需的光照强度,从而减少稻田杂草种类和密度。程传鹏等^[19]指出,长期施肥下土壤有效养分的显著增加提高了早稻产量,使早稻获得了更强的竞争力,降低了田间杂草获得的光照,使其生长受到抑制。孙改格等^[20]在湖南早稻田亦发现,平衡施用化肥促进了早稻的繁茂生长,光照透过率低,限制了稻田杂草对土壤水、肥及光照的利用,进而抑制杂草的生长,显著降低了田间杂草的密度,使其发生危害程度得到有效抑制。本研究也证实,均衡施肥(NPK)可显著提高小麦产量,但与此同时,禾本科杂草群落密度和生物量显著下降。此外,本研究连续 43 年不施肥,CK 处理小麦长势稀疏且透光性强,促进杂草的光合作用而导致禾本科杂草密度和生物量增加,说明禾本科杂草在贫瘠土壤上适应性较强,利用光照强度和光照时间来抵消养分供应的缺乏。但也有研究指出,杂草密度^[21]或杂草生物量^[22]与作物产量有正相关性,农田杂草的发生在一定程度上表征了作物的高产,可能是长期施肥改变了土壤营养生境,其作用较杂草抑制作物生长更为强烈^[21]。

Moss 等^[23]在英国洛桑实验站 broadbalk 小麦长期定位实验田发现,土壤无机氮水平对杂草出现频率影响十分明显。Huang 等^[24]指出,施氮降低了双季稻田休闲期杂草多样性和均匀度。本研究结果也显示,长期施氮肥可显著降低黑土农田禾本科杂草群落密度和生物量,优势杂草马唐、金色狗尾草密度与土壤全氮、碱解氮呈显著的负相关关系。本研究还发现,长期施用氮肥导致黑土 pH 较试验开始前(pH 7.2)下降了 1.2 ~ 1.3 个单位,土壤酸化趋势明显,但施氮处理小麦产量依然较高,这与黑土缓冲能力较强有关^[25-26]。此外,优势杂

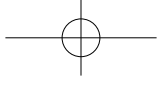
草马唐、金色狗尾草与土壤 pH 呈显著的正相关关系,说明较高的 pH 有利于马唐、金色狗尾草的生长。研究证实,土壤不同 pH 条件下农田杂草具有较强的适应性。Gentili 等^[27]对豚草(*Ambrosia artemisiifolia* L.)的研究显示,土壤低 pH(5.0)促进其生长发育,而在土壤中 pH 条件下表现为限制效应。在黑龙江垦区的研究表明,土壤酸化(pH 5.0 ~ 6.0)条件下导致旱田中的问荆数量急剧增加,春季在大豆、玉米出苗前已经长到 5 cm 以上,与作物争夺养分和水分,严重影响作物产量^[28]。因此,在农业生产中,采用合理的施肥措施(如有机替代、秸秆还田)维持土壤适宜 pH 及氮素供应,有效控制杂草的发生,使杂草与作物达到一个有益的平衡,为黑土农田杂草的综合防控技术提供新的思路和方法^[29-32]。

4 结论

黑土长期平衡施用化肥促进了小麦生长,限制了禾本科杂草对土壤水、肥、光、热的利用,进而抑制其生长,对于麦田防控杂草具有积极作用。优势杂草马唐、金色狗尾草对土壤碱解氮反应敏感,长期施用氮肥可显著降低黑土农田禾本科杂草群落密度和生物量,但长期施用氮肥导致土壤酸化,未来采取合理的施肥措施(如有机替代、秸秆还田)维持土壤适宜 pH 及氮素供应平衡,实现作物稳产高产和控制杂草的双重目标。

参考文献:

- [1] Yin L, Cai Z, Zhong W. Changes in weed composition of winter wheat crops due to long-term fertilization [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 107 (2-3): 181-186.
- [2] 牛新胜, 刘美菊, 张宏彦, 等. 不同耕作、秸秆及氮素管理措施对冬小麦-夏玉米轮作田杂草生物量影响的研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2011 (6): 49-53.
- [3] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略 [J]. *植物保护*, 2010, 36 (4): 1-5.
- [4] 马小艳, 马艳, 马亚杰, 等. 关于将氮肥运筹技术纳入农田杂草综合防除体系的思考 [J]. *杂草学报*, 2018, 36 (4): 1-5.
- [5] Ouni A, Rabaaoui N, Mechi L, et al. Removal of pesticide chlorobenzene by anodic degradation: variable effects and mechanism [J]. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2021, 25 (10): 101326.
- [6] Pan J F, Zhang L G, Wang L, et al. Effects of long-term fertilization treatments on the weed seed bank in a wheat-soybean rotation system [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020,

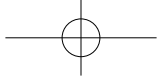


- 21: e00870.
- [7] 蒋敏, 沈明星. 长期不同施肥方式对稻田杂草群落的影响[J]. 生态学报, 2014, 33(7): 1748-1756.
- [8] 蒋敏, 沈明星, 沈新平, 等. 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(7): 1746-1756.
- [9] Major J, Steiner C, Ditommaso A, et al. Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: compost, fertilizer, manure and charcoal applications[J]. Weed Biology and Management, 2005, 5(2): 69-76.
- [10] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田间杂草种群组成的影响[J]. 土壤, 2005, 37(1): 56-60.
- [11] 王宇, 黄春艳, 黄元炬, 等. 不同杂草群落对黑龙江春大豆产量损失的影响[J]. 中国植保导刊, 2014, 34(6): 10-12, 9.
- [12] 黄春艳. 黑龙江省农田草害发生防治现状、问题和建议[J]. 黑龙江农业科学, 2009(3): 71-73.
- [13] 李玉梅, 刘忠堂, 王根林, 等. 生物炭对土壤残留异噁草松的生物有害性影响研究[J]. 作物杂志, 2013(3): 111-116.
- [14] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [15] 张会民. 长期施肥土壤钾素演变[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [16] Blackshaw R E. Application method of nitrogen fertilizer affects weed growth and competition with winter wheat[J]. Weed Biology and Management, 2004, 4(2): 103-113.
- [17] Chamanabad H R M, Ghorbani A, Asghari A, et al. Long-term effects of crop rotation and fertilizers on weed community in spring barley[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2009, 33(4): 315-323.
- [18] Nie J, Yin L C, Liao Y L, et al. Weed community composition after 26 years of fertilization of late rice[J]. Weed Science, 2009, 57(3): 256-260.
- [19] 程传鹏, 崔佰慧, 汤雷雷, 等. 长期不同施肥模式对杂草群落及早稻产量的影响[J]. 生态学报, 2013, 32(11): 2944-2952.
- [20] 孙改格, 谢桂先, 廖育林, 等. 长期不同施肥对早稻田杂草生物多样性的影响[J]. 湖南农业科学, 2014(8): 28-31.
- [21] 黄兴成, 李渝, 叶照春, 等. 黄壤性稻田稗草发生特征及其对长期不同施肥的响应[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4029-4036.
- [22] 董春华, 曾希柏, 文石林, 等. 长期施肥对早稻产量和杂草群落的影响[J]. 生态学报, 2015, 34(11): 3079-3085.
- [23] Moss S R, Storkey J, Cussans J W, et al. The broadbalk long-term experiment at Rothamsted: what has it told us about weeds?[J]. Weed Science, 2004, 52(5): 864-873.
- [24] Huang S, Pan X, Sun Y, et al. Effects of long-term fertilization on the weed growth and community composition in a double-rice ecosystem during the fallow period[J]. Weed Biology and Management, 2013, 13(1): 10-18.
- [25] 孟红旗, 刘景, 徐明岗, 等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的pH演变[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1109-1116.
- [26] 赵旋彤, 王鸿斌, 赵兰坡, 等. 吉林省三种典型农耕土壤酸碱性缓冲性能及影响因素[J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(2): 163-171.
- [27] Gentili R, Ambrosini R, Montagnani C, et al. Effect of soil pH on the growth, reproductive investment and pollen allergenicity of *Ambrosia artemisiifolia* L. [J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 1335.
- [28] 于文. 土壤pH值下降对土壤养分及农田杂草群落的影响[J]. 北京农业, 2015(17): 108.
- [29] 李儒海, 强胜, 邱多云, 等. 长期不同施肥方式对稻油轮作制水稻田杂草群落的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3236-3243.
- [30] Smith R G, Mortensen D A, Ryan M R. A new hypothesis for the functional role of diversity in mediating resource pools and weed-crop competition in agroecosystems[J]. Weed Research, 2009, 50: 37-48.
- [31] 董春华, 曾闹华, 高菊生, 等. 长期有机无机肥配施对稻田杂草生长动态的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(24): 7329-7337.
- [32] 桂浩然, 王建, 董雄德, 等. 不同秸秆还田对冬闲期农田杂草多样性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(4): 746-754.

Growth characteristics of gramineous weeds and their response to long-term fertilization in black soil

HAO Xiao-yu¹, WANG Yu², MA Xing-zhu¹, SUN Lei³, CHEN Lei³, ZHOU Bao-ku¹ (1. Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization/Key Laboratory of Black Soil Protection and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin Heilongjiang 150086; 2. Plant Protection Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin Heilongjiang 150086; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin Heilongjiang 150086)

Abstract: Weed control in farmland is an important measure to ensure stable and high crop yield. The long-term location experiment of black soil fertility started in 1979 was used to analyze the growth characteristics of gramineous weeds and their response to soil nutrients in wheat fields under different long-term fertilization measures, and to explore the feasibility of using reasonable fertilization to control weeds. The results showed that the dominant weeds of gramineae under long-term different fertilization treatments in black soil were *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. and *Setaria glauca* (L.) Beauv.,



while *Setaria viridis* (L.) Beauv. and *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. were less distributed. The balanced fertilization had the best inhibitory effect on gramineous weeds, and the weed density decreased by 94.4%, 96.6%, 98.0% compared with the partial fertilization (nitrogen phosphorus, nitrogen potassium, phosphorus potassium), respectively. Long-term application of nitrogen fertilizer (balanced and partial application of nitrogen fertilizer) in black soil significantly reduced the density of gramineous weeds community by 41.5%–98.0% and it could reduce the biomass of gramineous weeds. Dry weight of gramineous weed was negatively correlated with wheat yield, and lower gramineous weed biomass could reflect the high yield of wheat in black soil. The density of *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. and *Setaria glauca* (L.) Beauv. was negatively correlated with soil total nitrogen and alkali-hydrolyzed nitrogen, and positively correlated with soil pH. In conclusion, long-term balanced application of chemical fertilizers could increase wheat yield and inhibit the growth of grass weeds, which had a positive effect on weed control in black soil, but attention should be paid to regulating the balance between soil pH and nitrogen supply.

Key words: gramineous weeds; density; growth characteristics; long-term fertilization; wheat yield; soil chemical property