

DOI: 10.5846/stxb201404140722

陈国奇,冯莉,田兴山.不同控草措施对高温季节华南地区蔬菜田杂草群落的影响.生态学报,2015,35(22): - .

Chen G Q, Feng L, Tian X S. Influences of different weed control practices on hot-season vegetable-field weed communities in South China. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(22): - .

不同控草措施对高温季节华南地区蔬菜田杂草群落的影响

陈国奇,冯 莉,田兴山*

广东省农业科学院植物保护研究所/广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640

摘要:华南地区高温季节从 6 月持续到 10 月,田间杂草危害严重,当前高温季节田间杂草群落发生格局相关的研究资料积累不足。因此,本文在广州高温季节于标准化菜田通过田间杂草调查、小区控草试验和室内土壤培养,研究了杂草群落发生规律和菜田不同清园和土壤处理控草措施对田间杂草群落短期防效和后续影响。结果表明,试验田休耕 50 d 后,田间杂草群落中禾草类杂草种类较少但发生量明显占优,阔叶类杂草种类较多而危害总体较轻,莎草类杂草种类较少,发生量与阔叶草相当;牛筋草(*Eleusine indica*)呈现明显的单优势,光头稗(*Echinochloa colona*)、千金子(*Leptochloa chinensis*)、碎米莎草(*Cyperus iria*)、草龙(*Ludwigia hyssopifolia*)等的盖度也较高。休耕后取田间土壤在不同温度条件下培养的结果亦表明,高温促进禾草类杂草的出苗和幼苗生长(尤其是 40 °C / 35 °C),而 15 °C 恒温培养 14 d 几乎仅有阔叶类杂草出苗。不同控草措施处理的田间试验结果表明,百草枯处理(900 g a.i./hm²)后阔叶类杂草总盖度上升的趋势被扭转为禾草类杂草持续占优势;喷施百草枯并铲草处理 30 d 后杂草盖度即恢复至 60% 以上,而配合喷施丁草胺(1350 g a.i. /hm²)、乙草胺(750 g a.i. /hm²)、精异丙甲草胺(750 g a.i. /hm²)或二甲戊灵(600 g a.i. /hm²)进行土壤处理 30 d 后可使杂草盖度与仅喷施百草枯处理分别下降 72.9%、84.6%、83.9% 和 77.5%;土壤处理前配合浅翻耕可明显提升控草效果。典范对应分析(CCA)结果表明,控草处理 70 天后,百草枯、铲草和翻耕处理均对试验田间杂草群落结构具有显著影响($P < 0.01$),田间各主要杂草在 CCA 排序图中明显分为两个类群:1) 光头稗、牛筋草、千金子、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、水虱草(*Fimbristylis miliacea*)和三头水蜈蚣(*Kyllinga triceps*); 2) 草龙、胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)、鳢肠(*Eclipta prostrata*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)等阔叶类杂草和碎米莎草。

关键词:华南,高温,杂草群落,百草枯,翻耕,铲草,芽前除草剂

Influences of different weed control practices on hot-season vegetable-field weed communities in South China

CHEN Guoqi, FENG Li, TIAN Xingshan*

Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, China

Abstract: In South China during the hot season, which commonly lasts from June to October, weeds infest arable lands. The shifts in farming practices and climate change have brought new challenges to cropland weed management. Therefore, further research is needed to elucidate patterns of weed community occurrence during the hot season. To investigate weed community occurrence patterns and the effectiveness and subsequent influence of different weed control practices on weed occurrence, we conducted a series of field surveys and weed-control field experiments during the hot season on standard vegetable farms, as well as soil incubation studies in growth chambers under different temperature regimes. The experiments

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD19B02);广东省农业科技研究团队项目(2012A020100009)

收稿日期:2014-04-14; **网络出版日期:**2015-04-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xstian@tom.com

were conducted in Guangzhou city (located in South China) from June 10 to October 10, 2013. After a 50-day fallow period beginning on June 10, the weed community of the studied field was dominated by a few species of grass, with broadleaf weeds exhibiting high species diversity but lower coverage, and sedges having lower species diversity and coverage. *Eleusine indica* was mono-dominant among the 31 weed species observed in the experimental vegetable field. *Echinochloa colona*, *Leptochloa chinensis*, *Cyperus iria*, and *Ludwigia hyssopifolia* also showed high coverage. With respect to soil collected from the experimental field immediately after the fallow period, seedlings of grasses and sedges emerged and grew better under high temperature conditions, especially at 40 °C / 35 °C, but were all strongly inhibited at 15 °C. Seedlings of broadleaf weeds emerged and grew well at 15 °C, while their growth was constrained at 40 °C / 35 °C. After treatment with paraquat (900 g a.i./hm²), the trend of increasing dominance of broadleaf weeds in the experimental field was transformed into continuous mono-dominance of grasses. After application of paraquat followed by hoeing, weeds re-covered >60% of the soil surface after 30 days. In contrast, weed coverage was decreased by 72.9%, 84.6%, 83.9%, or 77.5% when followed by an application of the pre-emergence herbicides butachlor (1350 g a.i./hm²), acetochlor (750 g a.i./hm²), metolachlor (750 g a.i./hm²), or pendimethalin (600 g a.i./hm²), respectively. Furthermore, tillage to 15 cm after hoeing and before the application of pre-emergence herbicide greatly improved weed control effectiveness. Canonical correspondence analysis (CCA) suggested that the application of paraquat, hoeing, and tillage all showed significant ($P < 0.01$) influences on the weed community structure of the studied vegetable field 70 days after weed control treatments. After 70 days, paraquat application had strongly negative effects on the occurrence of *Echinochloa colona* and *Leptochloa chinensis* and strongly positive influences on the occurrence of *Mimosa pudica*, *Corchorus aestuans*, *Ageratum conyzoides*, and *Portulaca oleracea*. Hoeing and tillage had strongly negative influences on the occurrence of *Eleusine indica*, *Echinochloa colona*, *Leptochloa chinensis*, *Digitaria sanguinalis*, *Fimbristylis miliacea*, and *Kyllinga triceps* and strongly positive effects on the occurrence of broadleaf weeds. Common weed species in the experimental fields formed two clear groups in the CCA biplot with respect to the first two axes, namely (1) grass species plus two sedges, *F. miliacea* and *K. triceps*, and (2) broadleaf weed species plus *Cyperus iria*.

Key Words: South China, hot season, weed community, paraquat, tillage, hoeing, pre-emergence herbicide

田间杂草群落通常由功能类群不同的杂草依据各自的生态位和生活史特性嵌合而成^[1],进而在不同的环境因素和人工干扰下呈现不同的发生趋势和格局^[2,3],因此依赖单一的杂草防控策略难以持续^[4],田间杂草综合管理势在必行。另一方面,随着生产力水平和劳动力成本不断上升,轻简化、规模化和集约化农业耕作模式逐步兴起带来了一系列新的农田控草难题。例如轻型栽培省工、省时、节水成为水稻播种的重要发展方向,然而稻田杂草危害趋于严重,进而限制了轻型栽培模式的推广^[5,6];再如,免耕和少耕会对田间杂草群落发生规律产生明显影响,草害发生趋于加重^[7,8]。此外,气候变化也为农田草害治理带来了新的巨大挑战^[9,10]。因此,农田草害治理策略亟需进行相应的调整和优化。

华南属亚热带季风气候,高温季节通常从6月持续到10月且降水充沛^[11],当地的蔬菜田、甜玉米田、短期休耕地和果园中牛筋草(*Eleusine indica*)、光头稗(*Echinochloa colona*)等杂草普遍大量发生,种子库持续积累、规模庞大进而加剧其恶性暴发,防控困难。农户和规模化作物生产基地通常采用灭生性除草剂进行茬口清园和果园除草,并常配合铲草和翻耕在作物播种前施用芽前除草剂。百草枯常用于香蕉园以及菜田茬口清园,并且在春季常替代草甘膦用于荔枝、柑橘等果园除草,而常用的芽前除草剂主要包括丁草胺、乙草胺、精异丙甲草胺和二甲戊灵等^[12]。然而,简单依赖化学除草剂,“有草即打药”的模式不仅成本较高、效果有限,并且容易引发作物药害等负面影响^[13]。因此,明确各常用控草措施对高温季节杂草群落综合防效和后续发生格局影响,进而采取综合防控策略势在必行。然而,针对华南地区农田杂草群落及其综合防控的研究较少,亟待拓展。因此,本文在广州标准化菜田展开一系列试验,在高温季节休耕50 d后进行了杂草群落调查并采

集田间土壤比较了不同温度条件下杂草出苗和幼苗生长,此外,还研究了各常见控草措施处理 30 d、50 d、70 d 后的田间杂草群落结构和发生特点。

1 材料与方法

1.1 试验田概况和小区设置

田间试验在广州白云区国家农业科技园区($N 23.39^{\circ}$, $E 113.42^{\circ}$)内的标准化菜田($52\text{ m} \times 45\text{ m}$)开展,试验田土壤质地疏松(砂土:壤土:粘土=23:40:37,土壤 pH 值=6.1),长期用于蔬菜种植。试验从 2013 年 6 月 10 日开始至 10 月 10 日结束,期间处于当地高温季节(图 1),平均每天最高气温为 31.6°C ,最低气温 24.7°C ,降水量 3.1 mm 。

1.2 杂草群落调查和土壤出苗试验

试验田种植了一茬番茄后,2013 年 6 月 10 日开始休耕至 8 月 1 日(共 50 d)。休耕结束后,在田间均匀设置 94 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方,通过调查每个样方中各种杂草的盖度研究了试验田间杂草群落结构^[14]。一些样方中杂草分层重叠覆盖土表导致杂草盖度总和超过 100%,例如草龙(*Ludwigia hyssopifolia*) 在试验田间高 80—100 cm 位于杂草群落上层;牛筋草、碎米莎草(*Cyperus iria*) 等高 40 cm 左右位于中层;母草(*Lindernia crustacea*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*) 以及杂草幼苗高度低于 10 cm 位于最下层;另有藤本杂草鱼黄草(*Merremia hederacea*) 攀爬于其他杂草上。

同时在田间以内径 20 mm 的土壤取样器取 300 个土表 0—10 cm 的土样,带回实验室后将土样中的枯枝落叶等杂物挑除,混合均匀后分为 2 份,1 份置于 -20°C 保存备用,另 1 份用于研究不同控制温度条件下的土壤种子萌发和出苗情况,将其平均分为 27 份,分别装入到 $8\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的塑料花盆内(土壤堆积的高度约 3 cm)。

将装有上述土壤的花盆分别置于 $32\text{ cm} \times 42\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 的托盘中,分别移入 15°C 恒温、 $28^{\circ}\text{C} / 25^{\circ}\text{C}$ 、 $40^{\circ}\text{C} / 35^{\circ}\text{C}$ 等 3 个温度处理的光照培养箱中,培养箱设置光照/黑暗各 12 h(光照强度约为 8000 Lux),每个处理重复 9 次。在托盘中加水以便花盆从底部吸水而保持土壤湿润,每天观察每个花盆中的出苗情况。14 d 后完成出苗试验,分别统计每个花盆中禾草类、阔叶类和莎草类杂草幼苗株数和鲜重。

1.3 不同控草措施处理试验

2013 年 8 月 2 日,我们将试验田均分为两半,一半采用小型犁地机对土壤表层 15 cm 进行浅耕,另一半不翻耕,然后在两边各建立 30 个 $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 的小区,共 60 个小区分别用于 12 个试验组(见表 1),每个试验组重复 5 次,相邻小区之间间隔 30 cm,各个试验组在翻耕和不翻耕区内分别随机排列。处理后 30 d、50 d 和 70 d 分别调查各小区内各种杂草的盖度,试验结束时(处理后 70 d)在每个小区的中部设置 1 个 $50\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ 的样框,统计样框中各种杂草的鲜重。所用百草枯为广西农大生物科技有限公司生产 200 g/L 水剂,其推荐的最高剂量为 900 g a.i./hm^2 ;丁草胺为广州市广农化工有限公司生产的 50% 乳油,其推荐的最高剂量为 1350 g a.i./hm^2 ;乙草胺为江苏健谷化工有限公司生产的 50% 乳油,其推荐的最高剂量为 750 g a.i./hm^2 ;精异丙甲草胺为先正达(苏州)作物保护有限公司生产的 96% 乳油,其推荐的最高剂量为 2160 g a.i./hm^2 ;二甲戊灵为江苏东宝农药化工有限公司生产的 330 g/L 乳油,其推荐的最高剂量为 1500 g a.i./hm^2 。丁草胺施用量采用推荐最高剂量,其它除草剂施用量参照当地规模化菜场中的常用剂量标准。

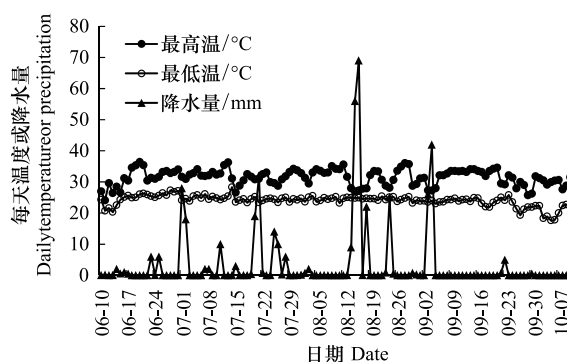


图 1 田间试验开展期间每天的最高温(TH)、最低温(TL)和降水量(Pr)。注:6-10 日开始休耕,8-2 日进行小区控草试验

Fig. 1 Daily maximum temperatures (TH), minimum temperatures (TL) and precipitation (Pr) during field experiments. Note: fallow were started on 6-1, treatments were conducted on 8-2

表 1 各试验组编号及处理方式

Table 1 Weed control practices of 12 treatments in the experimental fields

处理组 *	百草枯	铲草	翻耕	土壤处理剂
Treatment	Paraquat (g a.i./hm ²)	Hoeing	Tillage	Pre-emergence herbicide
CK1	×	×	×	×
CK2	900	×	×	×
NT	900	✓	×	×
T	900	✓	✓	×
BU-NT	900	✓	×	丁草胺 Butachlor, 1350 g a.i. /hm ²
BU-T	900	✓	✓	丁草胺 Butachlor, 1350 g a.i. /hm ²
AC-NT	900	✓	×	乙草胺 Acetochlor, 750 g a.i. /hm ²
AC-T	900	✓	✓	乙草胺 Acetochlor, 750 g a.i. /hm ²
ME-NT	900	✓	×	精异丙甲草胺 Metolachlor, 750 g a.i. /hm ²
ME-T	900	✓	✓	精异丙甲草胺 Metolachlor, 750 g a.i. /hm ²
PE-NT	900	✓	×	二甲戊灵 Pendimethalin, 600 g a.i. /hm ²
PE-T	900	✓	✓	二甲戊灵 Pendimethalin, 600 g a.i. /hm ²

注:“✓”:执行 (Treated),“×”:未执行 (not treated), CK: 对照 (control), NT: 不翻耕 (non-tillage), T: 翻耕处理 (Tillage), BU: 丁草胺 (Butachlor), AC: 乙草胺 (Acetochlor), ME: 精异丙甲草胺 (Metolachlor), PE: 二甲戊灵 (Pendimethalin)。

1.4 数据统计分析

基于 SPSS18.0 软件采用单因素方差分析比较不同处理组之间相应数值的差异性,各处理组之间方差整齐时采用 LSD 方法,方差不齐时通过两次开平方根进行数据转换至方差整齐后再采用 LSD 方法分析。

采用典范对应分析来进一步研究各控草措施对田间各种主要杂草发生和杂草群落结构的影响。主要杂草的确定标准为其至少在 1 个试验组中的平均盖度超过 5%。分别建立“试验组-杂草盖度”和“试验组-控草措施”数据矩阵,然后采用 R 软件“Vegan”程序包中“cca”函数进行典范对应分析,采用“anova”函数对排序分析模型进行检验,并采用“enfit”函数检验各控草措施对杂草群落影响的显著性^[15]。

2 结果与分析

2.1 处理前杂草调查

试验处理前的杂草调查总共记录到 31 种田间杂草,其中禾草类 4 种、阔叶草 22 种、莎草类 5 种。在全部的 94 个样方中出现的频度超过 10% 的杂草有 17 种 (表 2),牛筋草的频度达到 100%,其次是草龙 (85.1%)、碎米莎草 (75.5%) 和胜红蓟 (*Ageratum conyzoides*, 67.0%); 平均盖度最高的为牛筋草 (51.6%), 然后是光头稗 (17.5%)、千金子 (*Echinochloa colonum*, 6.5%)、碎米莎草 (6.0%)、草龙 (3.8%) 等。

试验处理 70 天后的杂草调查总共记录到 39 种杂草,其中禾草类 5 种,莎草类 5 种,阔叶草 29 种。

2.2 温度对土壤杂草种子出苗的影响

高温 (40 °C / 35 °C) 处理下试验进行的第 2 天即有种子萌发,而到第 3 天平均每个花盆中的出苗数达 12.3 株; 14 d 后,禾草类幼苗数最多,而阔叶草幼苗数显著最低 (图 2), 幼苗鲜重与出苗数一致,禾草类杂草幼苗鲜重显著最高 ($P < 0.05$), 其次是莎草类,阔叶草幼苗鲜重远低于前两者。28 °C / 25 °C 处理下第 3 天开始出苗,平均每个花盆的出苗数为 2,显著低于 40 °C / 35 °C 处理下 ($P < 0.05$); 处理 14 天后其出苗数与高温处理下无显著差异,然而其幼苗鲜重略低于高温处理,并且该处理下阔叶草出苗数和鲜重均显著高于高温处理下的相应数值 ($P < 0.05$)。低温 (15 °C) 处理下到试验的第 5 天才观察到有种子出苗,试验进行 14 天后,15 °C 处理下杂草总出苗数和总鲜重显著最低,并且阔叶类杂草分别占出苗数和幼苗总鲜重的 91.6% 和 98.0%。

2.3 不同控草措施对杂草群落发生的影响

试验进行期间,无控草措施对照组中杂草总盖度逐步上升 (图 3), 尤其是阔叶类杂草; 莎草类杂草总盖度也持续上升,然而到处理 70 d 时莎草类的主要杂草碎米莎草大量结实后枯亡,因而总盖度明显下降; 禾草类

杂草总盖度总体而言波动较小,处理后 50 d 时马唐(*Digitaria sanguinalis*)、千金子大量结实后枯亡,同时土壤中禾草类持续出苗。

表 2 试验田间出现频度高于 10% 的杂草及其在处理前所调查 94 个样方中的频度和盖度.

Table 2 Franquency and mean coverage across the 94 quadrats for the 17 weed species with frequency higher than 10% surveyed before treatment in the experimental field			
编号 Code	杂草 Weed species	频度 Frequency /%	平均盖度 Mean coverage /%
1	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	100.0	51.6
2	光头稗 <i>Echinochloa colona</i>	56.4	17.5
3	千金子 <i>Leptochloa chinensis</i>	52.1	6.5
4	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	21.3	1.7
5	草龙 <i>Ludwigia hyssopifolia</i>	85.1	3.8
6	胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	67.0	0.8
7	鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	45.7	0.7
8	伞房花耳草 <i>Hedyotis corymbosa</i>	37.2	0.6
9	母草 <i>Lindernia crustacea</i>	20.2	0.4
10	马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	18.1	0.7
11	叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	17.0	0.4
12	鱼黄草 <i>Merremia hederacea</i>	16.0	0.7
13	泥花草 <i>Lindernia antipoda</i>	12.8	0.2
14	凹头苋 <i>Amaranthus lividus</i>	11.7	0.5
15	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	75.5	6.0
16	水虱草 <i>Fimbristylis miliacea</i>	42.6	1.5
17	扁穗莎草 <i>Cyperus compressus</i>	10.6	0.6

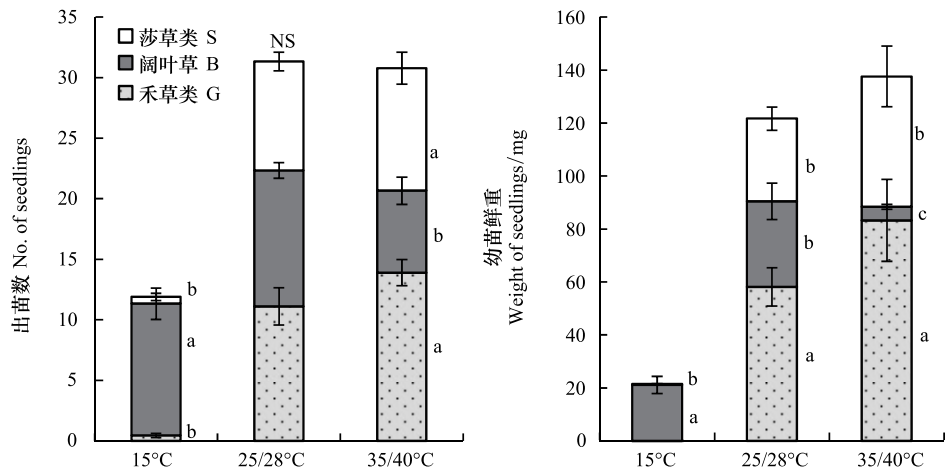


图 2 试验田土壤在不同温度下培养 14 天后禾草类、阔叶草和莎草类杂草的出苗数和幼苗鲜重

Fig. 2 Amounts and weights of grass (G), broadleaf weeds (B) and sedge (S) seedlings emerged from the soil collected in the experement fields and incubated under different temperature regimes for 14 days

注:同一处理下不同标注字母表示该处理下相应杂草类群的统计值之间差异显著. “NS”: 无显著差异.

与无控草措施对照相比,以推荐最高剂量对田间杂草群落施用百草枯处理后,田间阔叶类杂草总盖度上升的趋势被明显抑制(图 3),百草枯处理后禾草类(主要为牛筋草)在短期内再生,且土表种子大量出苗并快速生长,因而田间杂草群落结构波动较小,禾草类杂草盖度占全部杂草总盖度的比例一直维持 70%以上。处理 70 d 后,百草枯处理组中禾草类占全部杂草总鲜重的比例为 91.7%,显著($P < 0.05$)高于无控草处理对照组中的相应比例(30.1%);相反阔叶类杂草鲜重占全部杂草鲜重的比例(6.2%)显著($P < 0.05$)低于无控草处理组(52.8%)。

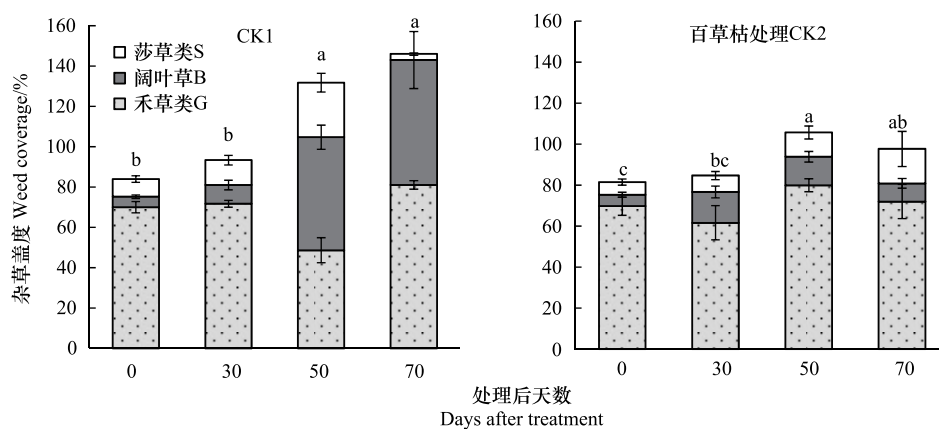


图3 对照组 (CK1) 和仅施用百草枯处理组 (CK2, 900 g a.i. /hm²) 中处理后不同时期杂草盖度

Fig. 3 Coverages of grass (G), broadleaf weeds (B) and sedge (S) in the two control treatments after different periods. Note: “CK1”: with no weed control treatment, and “CK2”: treated with paraquat (900 g a.i. /hm²)

注: 图中不同字母表示所对应的处理之间差异显著。

百草枯处理后人工铲除地表杂草,然后在翻耕和不翻耕的条件下分别施用4种不同的土壤处理剂进行土壤喷雾处理,结果表明,与对照(不施用土壤处理剂)相比(图4),在不翻耕情况下处理30 d后施用丁草胺、乙草胺、精异丙甲草胺和二甲戊灵杂草盖度与对照(仅喷施百草枯处理)相比分别下降了72.9%、84.6%、83.9%和77.5%;而在翻耕情况则分别下降了96.9%、96.3%、96.0%和73.8%。在不翻耕情况下施用丁草胺处理50 d后杂草盖度与对照无显著差异,其它3种土壤处理剂处理下杂草盖度均显著低于对照;各处理组中禾草类盖度快速恢复,并且阔叶草总盖度均显著($P < 0.05$)高于对照组中。在翻耕条件下,4种土壤处理剂处理均强烈抑制了禾草类杂草发生量,然而在处理50 d后,阔叶类杂草大量发生。此外,在翻耕条件下,精异丙甲草胺处理对禾草类和莎草类的抑制效应表现最为强烈,二甲戊灵处理后对莎草的控制效果相对不佳。处理70 d后杂草发生情况与处理50 d后相似,但总盖度上升。

2.4 不同控草措施对杂草群落结构的影响

基于杂草在各小区内发生盖度调查数据,对各控草措施与处理70 d后的杂草群落结构进行CCA排序,前2轴的特征根值分别为0.30和0.29,前3轴的累积信息解释量达71.96%,排序模型检验结果 $P < 0.01$ 。各控草措施中,喷施百草枯、铲草和翻耕处理均对试验田间杂草群落具有显著影响($P < 0.01$),4种土壤处理除草剂中二甲戊灵的影响相对较高($P = 0.069$),其它几种土壤处理剂影响较小($P > 0.3$)。

在各种控草措施处理70 d后,田间各主要杂草在CCA排序图中明显分为两个类群(图5),即禾草类杂草加上莎草类的水虱草(*Fimbristylis miliacea*)和三头水蜈蚣(*Kyllinga triceps*)分布于排序图左侧而其他阔叶类杂草和碎米莎草分布于排序图右侧。铲草、翻耕和二甲戊灵处理呈现明显的正相关效应(排序图中对应的线条间夹角较小),并均明显抑制试验田间禾草类主要杂草包括千金子、光头稗、牛筋草、马唐以及莎草类的三头水蜈蚣的发生,而促进控草处理70 d后阔叶类杂草如甜麻(*Corchorus aestuans*)、含羞草(*Mimosa pudica*)、马齿苋、胜红蓟(*Ageratum conyzoides*)、草龙、腋花蓼(*Polygonum plebeium*)、鱼黄草、伞房花耳草(*Hedyotis corymbosa*)等在群落中占优。百草枯处理与铲草和翻耕处理也呈现明显的正相关效应,而与二甲戊灵处理呈现较弱的正相关。施用百草枯对处理70 d后,田间千金子和光头稗发生的盖度明显受到抑制,而对马唐、牛筋草、水虱草、三头水蜈蚣、草龙、碎米莎草的田间发生盖度影响较小,并促进甜麻、含羞草、马齿苋、腋花蓼、胜红蓟、伞房花耳草等非恶性杂草发生盖度的上升。

3 讨论

高温季节是耕地中草害暴发的高峰期,尤其是在华南高温高湿的气候条件下,田间杂草泛滥成灾,土壤中

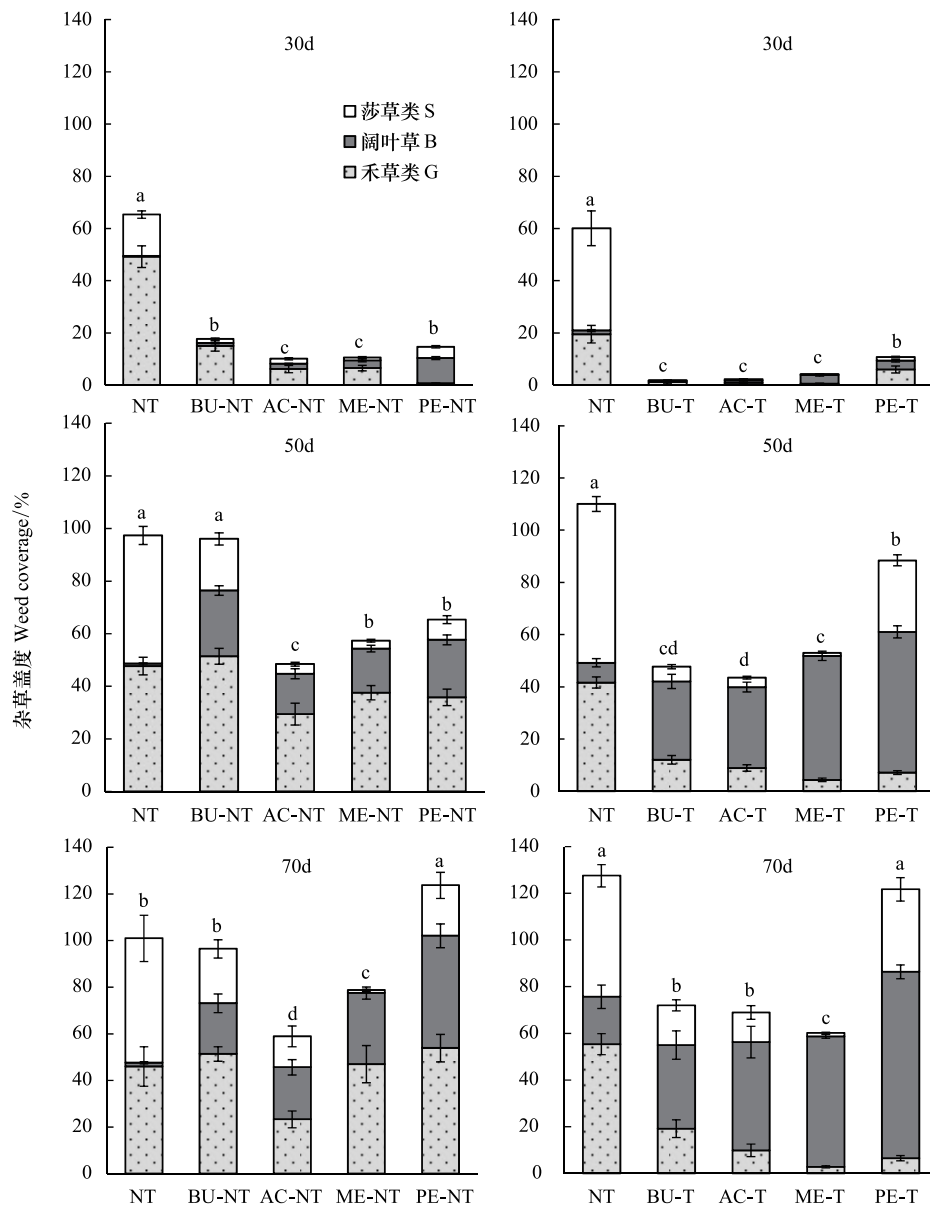


图4 施用百草枯并进行铲草处理后翻耕(T)或不翻耕(NT)结合4种常用土壤处理剂处理后不同时期杂草盖度。注:土壤处理剂包括丁草胺(BU)、乙草胺(AC)、精异丙甲草胺(ME)、二甲戊灵(PE)

Fig. 4 Coverages of grass (G), broadleaf weeds (B) and sedge (S) in treated with tillage (T) or non-tillage (NT) and different pre-emergence herbicides after weed removed by applying paraquat and following hoeing

杂草种子库庞大并与地上杂草危害相辅相成,防控极为困难。本文的研究反映了华南地区高温季节蔬菜田杂草群落发生特征,并揭示了当地常用控草措施对高温季节杂草群落防效和后续发生格局的影响,进而为针对性地制定田间草害高效、可持续控制策略提供参考。

3.1 禾草类杂草在高温季节蔬菜田中危害严重

在高温季节,试验田间禾草类杂草种类较少但发生量占据绝对优势,阔叶类杂草种类较多但发生量较低,莎草类杂草种类较少而碎米莎草和水虱草有时发生较重,这反应了华南地区高温季节田间杂草发生的典型格局。试验田间危害最重的杂草为牛筋草(试验前盖度为51.6%),随后是光头稗(试验前盖度为17.5%)、千金子(试验前盖度为6.5%)、碎米莎草(试验前盖度为6%)。阔叶类杂草中草龙的盖度最高,试验前盖度为3.8%。此外,马唐和水虱草的发生量也较高。

试验田间土壤置于室内控制温度下的培养实验结果表明,在高温处理下禾草类杂草出苗数和幼苗生长对

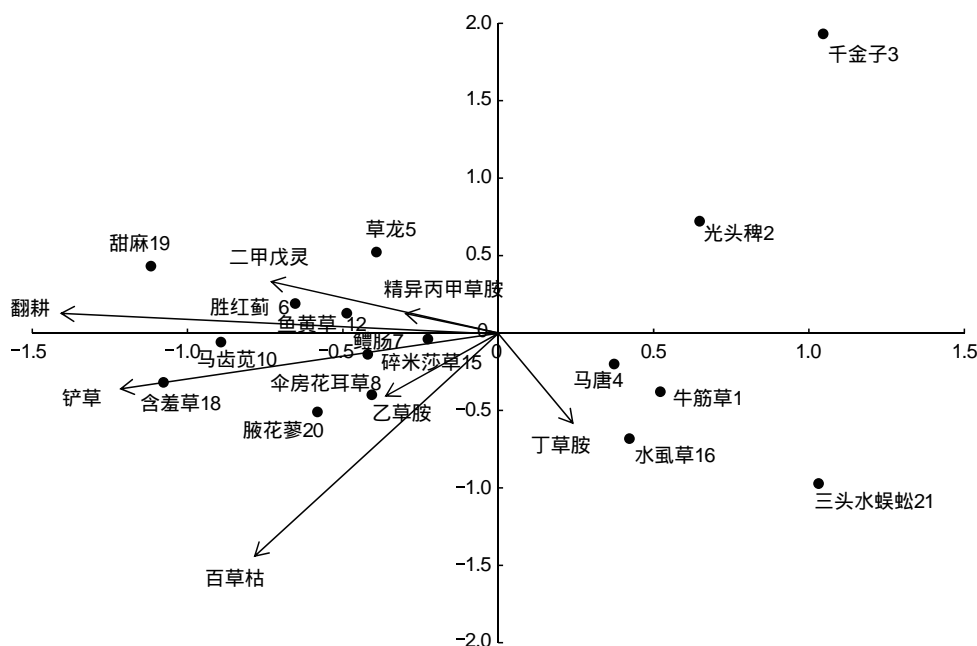


图5 不同控草措施处理 70 d 之后试验田间主要杂草盖度与不同控草处理方式的典范对应分析 (CCA) 前两轴排序图

Fig. 5 Canonical correspondence analysis (CCA) showing weed control practices and main weed species in the experimental field

Note: the dots suggesting weed species and the codes were coincident with that in Table 2, except for 18-21; 18: *Mimosa pudica*, 19: *Cochlospora aestuans*, 20: *Polygonum plebeium*, and 21: *Kyllinga triceps*

阔叶草类均具有显著优势。这与这几种禾草类杂草的生物学特性密切相关。牛筋草是世界上危害最重的 18 种恶性杂草之一,其种子适宜在高于 25 °C 的温度条件下萌发,且在光照或黑暗下以及 0—1 cm 的土层中均可萌发^[16,17],而在 15 °C 以下几乎不萌发。此外,牛筋草单株种子产量可达 5 万枚以上,每公顷牛筋草可产生 4.25 t 种子^[16]。因此,在高温季节即使在田间土壤杂草盖度较高或者薄层土壤覆盖的情况下,牛筋草种子仍能大量出苗。类似地,光头稗也是世界上危害最重的恶性杂草之一,其种子出苗对高温适应力极强,而在遮光和覆土 0.5 cm 下也有少量种子出苗^[18],马唐^[19]和千金子^[20]种子出苗偏好高温,而在 15 °C 以下几乎不出苗。此外,水虱草和碎米莎草种子出苗也偏好高温条件^[21]。

在喷施百草枯但不除草和翻耕情况下牛筋草和光头稗种子(尤其是前者)依然能够出苗并快速生长,而碎米莎草、草龙、千金子、水虱草、鳢肠(*Eclipta prostrata*)、马齿苋、胜红蓟等杂草种子萌发均需光照条件^[21-23],因此植被遮光会抑制其出苗。百草枯处理后进行铲除、翻耕或土壤处理除草剂可有效控制禾草类的危害(图 4)。随着气温略降低,阔叶类杂草出苗和幼苗生长大幅上升,在无控草措施处理下试验田间的阔叶类杂草开始占优势。

据政府间气候变化委员会第四次报告(www.ipcc.cg/SPM13apr07.pdf),到本世纪末,全球平均气温较 20 世纪末上升 1.1—6.4 °C,并且酷热、干旱、暴雨事件趋于频繁^[10]。气温升高会促进牛筋草、光头稗等禾草类杂草的发生,而暴雨事件则可促进这些恶性杂草种子的漂移扩散,加剧其危害。气候暖化和气候的不确定性上升对高温季节农田杂草群落发生格局及演替趋势的影响值得深入研究。

3.2 在高温季节里不同土壤处理控草措施下蔬菜田杂草发生格局

农田中杂草种类通常具有一定的多样性,尤其是土壤种子库中往往有各种类群杂草而难以控制^[24],因而针对一类杂草危害采取特定控草措施防除后形成的生态位空白易促进其它类群杂草大量出苗和暴发^[1]。试验田间在各种控草措施处理 70 d 后,各主要杂草在 CCA 排序图明显分为两个类群。在田间两个杂草类群此消彼长,例如在禾草类杂草盖度较低的处理组中,马齿苋、草龙、胜红蓟、鳢肠等阔叶草以及碎米莎草发生盖度相应上升。施用百草枯并采取铲除和翻耕清理试验田间杂草地上植被后,禾草发生盖度显著下降而碎米莎草

发生量大幅上升;而配合使用土壤处理剂处理 50 d 后阔叶类杂草开始暴发,尤其是与土壤翻耕配合使用情况下,阔叶类杂草占绝对优势(图 4)。施用百草枯并铲草处理后,无论翻耕或者不翻耕,试验田间草害在 30 d 内即恢复至 60% 盖度,而喷施土壤处理剂可有效控制 30 d 内草害的重新暴发。相对而言,丁草胺和二甲戊灵的持效期较短^[25],在施用 30 d 时在田间观察到大量杂草出苗,而至 50 d 时相应处理下草害已经与无土壤处理组接近,乙草胺和精异丙甲草胺控草持效性相对较长,与土壤翻耕配合使用的情况下,施用 50 d 后试验组中杂草总盖度与无土壤处理剂处理相比分别下降 50% 以上。

近年来,随着田间用工成本的快速上涨,农田中人工铲草和翻耕频度趋于下降,因而,高温季节田间禾草类杂草以及水虱草、三头水蜈蚣等的危害可能进一步加剧。许多研究表明,免耕和少耕会促进多年生杂草危害^[7,26];在菲律宾开展的研究也表明免耕田间升马唐(*Digitaria ciliaris*)、光头稗、牛筋草、胜红蓟、鳢肠(*Eclipta prostrata*)和马齿苋出苗量显著高于传统耕作的农田^[8]。

3.3 高温季节蔬菜田杂草群落综合防控

高温季节里华南地区旱作物田中牛筋草、光头稗、马唐发生量极大,农民通常采用灭生性除草剂进行清园和杀灭田埂上的杂草,然而这 3 种杂草种子量大、适应性强,因而容易产生对除草剂的抗性。据世界抗除草剂杂草种群数据库(<http://www.weedscience.org>)的记录,当前已经发现并确认的牛筋草抗性种群多达 25 个,分布于包括我国在内的 8 个国家,涉及抗草甘膦、百草枯、草铵膦、吡氟禾草灵、氟乐灵、二甲戊灵、噻草酮(metribuzin)、烯草酮、氰氟草酯、高效氟吡甲禾灵等;光头稗也已有 23 个抗除草剂种群被发现和确认,涉及包括草甘膦、二氯喹啉酸等 14 种除草剂;而马唐也有 11 个抗药性种群被发现和确认,涉及 11 种除草剂^[27]。农户在清理非耕地杂草时喷施除草剂的剂量容易偏高,因而非耕地中杂草更容易形成抗性^[17],抗性杂草种子随水流、风、联合收割机等传播造成巨大隐患。因而在高温季节防控田间和田埂杂草时应充分考虑杂草抗药性威胁,避免大量喷施单一除草剂,同时应尽量减少杂草种子库的输入、促进其耗竭。

本研究结果表明,在禾草类杂草暴发的田间铲除地上杂草植被后采用土壤处理除草剂可有效控制禾草类杂草危害,尤其是采用乙草胺或精异丙甲草胺配合土壤翻耕处理;而杀灭并铲除杂草后不采用土壤处理除草剂草害极容易重新暴发。此外,在我国华南高温季节,控制蔬菜田中禾草类危害时,应警惕马齿苋、草龙、胜红蓟、鳢肠等阔叶类杂草危害,针对性地采取预防措施。例如在播种前,通过在田间调控湿度条件诱发杂草种子大量出苗后及时集中杀灭,进而耗竭表层土壤种子库^[28];鉴于马齿苋、草龙、胜红蓟、鳢肠、碎米莎草等杂草种子出苗均需要光照^[22],可考虑利用秸秆或生物质地膜覆盖土表以控制杂草出苗^[28];也可考虑轮换采用高温火焰、高温蒸汽、红外、微波等热除草技术用于田间控草^[28-30]。此外,不同施肥和轮作模式对农田杂草群落发生动态的调控效应值得深入研究^[31]。

致谢:本研究得到了华南师范大学生命科学学院的陈晓鸿、余培杰同学的大力协助,在此致谢!

参考文献 (References):

- [1] Booth B D, Swanton C J. Assembly theory applied to weed communities. *Weed Science*, 2002, 50(1): 2-13.
- [2] Chen G Q, He Y H, Qiang S. Increasing seriousness of plant invasions in croplands of Eastern China in relation to changing farming practices: A case study. *PloS ONE*, 2013, 8(9): e 74136.
- [3] Colbach N, Granger S, Guyot S H M, Mézière D. A trait-based approach to explain weed species response to agricultural practices in a simulation study with a cropping system model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2014, 183: 197-204.
- [4] Shaner D L, Beckie H J. The future for weed control and technology. *Pest Management Science*, 2014, 70(9): 1329-1339.
- [5] 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. *中国水稻科学*, 2009, 23(2): 207-214.
- [6] Chauhan B S, Opeña J. Effect of tillage systems and herbicides on weed emergence, weed growth, and grain yield in dry-seeded rice systems. *Field Crops Research*, 2012, 137: 56-69.
- [7] Thomas A G, Derksen D A, Blackshaw R E, Van Acker R C, Légère A, Watson P R, Turnbull G C. A multistudy approach to understanding weed population shifts in medium-to long-term tillage systems. *Weed Science*, 2004, 52(5): 874-880.

- [8] Chauhan B S, Johnson D E. Influence of tillage systems on weed seedling emergence pattern in rainfed rice. *Soil and Tillage Research*, 2009, 106 (1): 15-21.
- [9] Clements D R, Ditommaso A. Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? *Weed Research*, 2011, 51(3): 227-240.
- [10] Thornton P K, Ericksen P J, Herrero M, Challinor A J. Climate variability and vulnerability to climate change: A review. *Global Change Biology*, 2014, DOI: 10.1111/gcb.12581.
- [11] 广东省统计局. 广东统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [12] 刘伟良, 范浩强, 刘振昌, 刘志文. 华南地区瓜菜田间杂草防治技术. *中国瓜菜*, 2012, 25(3): 63-64.
- [13] 陈国奇, 田兴山, 冯莉. 南方二氯喹啉酸残留药害早期诊断和预警亟待研究. *杂草科学*, 2014, 32(1): 96-100.
- [14] Poggio S L, Ghersa C M. Species richness and evenness as a function of biomass in arable plant communities. *Weed Research*, 2011, 51(3): 241-249.
- [15] Legendre P, Legendre L. *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier, 2012.
- [16] Holm L G, Plucknett D L, Pancho J V, Herberger J P. *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. Honolulu: University Press of Hawaii, 1977.
- [17] 杨彩宏, 田兴山, 冯莉, 岳茂峰. 牛筋草对草甘膦的抗药性. *中国农业科学*, 2012, 45(10): 2093-2098.
- [18] Chauhan B S, Johnson D E. Seed germination ecology of junglerice (*Echinochloa colona*): A major weed of rice. *Weed Science*, 2009, 57(3): 235-240.
- [19] King C A, Oliver L R. A model for predicting large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) emergence as influenced by temperature and water potential. *Weed Science*, 1994, 42(4): 561-567.
- [20] Benvenuti S, Dinelli G, Bonetti A. Germination ecology of *Leptochloa chinensis*: a new weed in the Italian rice agro-environment. *Weed Research*, 2004, 44(2): 87-96.
- [21] Chauhan B S, Johnson D E. Ecological studies on *Cyperus difformis*, *Cyperus iria* and *Fimbristylis miliacea*: three troublesome annual sedge weeds of rice. *Annals of Applied Biology*, 2009, 155(1): 103-112.
- [22] Chauhan B S. Weed ecology and weed management strategies for dry-seeded rice in Asia. *Weed Technology*, 2012, 26(1): 1-13.
- [23] 林忠宁, 刘明香, 韩海东, 陈敏健. 胜红蓟种子发芽检验标准化研究. *种子*, 2008, 27(4): 106-108.
- [24] Goggin D E, Powles S B. Fluridone: a combination germination stimulant and herbicide for problem fields? *Pest Management Science*, 2014, 70 (9): 1418-1424.
- [25] 农业部农药检定所. 农药合理使用指南. 北京: 中国标准出版社, 2009: 51-78.
- [26] 陈国奇, 郭水良, 印丽萍. 外来入侵种植物学性状和环境因子间关系的典范对应分析. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2008, 34 (5): 571-577.
- [27] Heap I. The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. 2014; Available from: www.weedscience.org.
- [28] Fontanelli M, Raffaelli M, Martelloni L, Frascioni C, Ginanni M, Peruzzi A. The influence of non-living mulch, mechanical and thermal treatments on weed population and yield of rainfed fresh-market tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2013, 11(3): 593-602.
- [29] Melander B, Rasmussen I A, Bärberi P. Integrating physical and cultural methods of weed control-examples from European research. *Weed Science*, 2005, 53(3): 369-381.
- [30] De Cauwer B, Fagot M, Beeldens A, Boonen E, Bulcke R, Reheul D. Integrating preventive and curative non-chemical weed control strategies for concrete block pavements. *Weed Research*, 2014, 54(1): 97-107.
- [31] 董春华, 曾闹华, 高菊生, 刘强, 徐明岗, 文石林. 长期有机无机肥配施对稻田杂草生长动态的影响. *生态学报*, 2014, DOI: 10.5846/stxb201303140422. (未出版刊物)