



钱久李, 秦俊豪, 黎华寿. 开荒作物对后茬作物产量、杂草群落及土壤理化性质的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(1): 38-43.

开荒作物对后茬作物产量、杂草群落及土壤理化性质的影响

钱久李^{1,2}, 秦俊豪², 黎华寿²

(1 广东工程职业技术学院, 广东 广州 510520; 2 农业部热带农业环境重点开放实验室/广东省现代生态农业与循环农业工程技术研究中心/广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室/华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探讨传统农业中利用芝麻作为开荒作物的作用机理。【方法】采用大田种植方式,在南方红壤新垦荒地以芝麻作为先锋作物,大豆和玉米作为对照,调查不同作物对后茬作物玉豆和萝卜产量、土壤理化性质以及田间杂草的影响。【结果】新垦荒地种植芝麻对后茬玉豆和萝卜单株产量增产率分别为 44.25% 和 148.48%;对土壤 pH、有机碳和速效磷含量有增加效应,使土壤碱解氮和速效钾分别减少了 89.93% 和 47.95%;种植芝麻后未发现原生境中的杂草粗耳草,但出现优势杂草凹头苋和三叶鬼针草;杂草种类和生物量受后茬作物种类的影响差异较大,其中芝麻-自然长草处理杂草种类为 5.67 种,与芝麻-萝卜处理 11.67 种和芝麻-玉豆处理 10 种相比差异达显著水平,杂草的地上部净质量为萝卜($1\,639.13\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)>玉豆($976.89\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)>自然长草($944.13\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$);芝麻-长草与长草-长草处理相比,杂草种类由 4 种增加到 5.67 种,但杂草生物量由 $2\,698.6\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 减少到 $944.13\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。【结论】芝麻可以提高后茬作物产量,对杂草的生长有抑制作用,适宜作为开荒作物。芝麻凋落物和残茬易腐解,导致土壤有机质和速效磷增加,这可能是后茬作物增产的主要原因。

关键词:芝麻; 荒地; 土壤理化性质; 后茬作物; 杂草

中图分类号:S314

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2017)01-0038-06

Effect of the pioneer crop on afterreap crop yield, weed community and soil physicochemical property

QIAN Jiuli^{1,2}, QIN Junhao², LI Huashou²

(1 Guangdong Engineering Polytechnic, Guangzhou 510520, China; 2 Key Laboratory of Agro-Environment in the Tropics, Ministry of Agriculture/Guangdong Engineering Research Center for Modern Eco-Agriculture and Circular Agriculture/Key Laboratory of Agro-Ecology and Rural Environment of Guangzhou Regular Higher Education Institutions/College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To explore the mechanism of using sesame for cultivating wasteland in traditional agriculture land. 【Method】Sesame was planted in the virgin land with red soil in the south area as the pioneer crop, the controls were *Glycine max* and *Zea mays*. The yield of afterreap crops, *Raphanus sativus* and *Phaseolus coccineus*, physicochemical characteristics of soils and changes of weeds were studied. 【Result】The yield of *R. sativus* and *P. coccineus* increased, and the increase rate was 44.25% and 148.48% respectively. The contents of organic C and available P, and pH in the soil increased. The contents of available N and available K decreased by 89.93% and 47.95% respectively. The dominant weed *Saxifraga stolonifera* in virgin land was not found after planting sesame, but *Amaranthus blitum* and

收稿日期:2016-05-15 优先出版时间:2016-12-28

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20161228.0937.034.html>

作者简介:钱久李(1982—),男,讲师,硕士,E-mail:jiuli.qian@foxmail.com;通信作者:黎华寿(1964—),男,教授,博士,E-mail:lihuashou@scau.edu.cn

基金项目:973 项目(2011CB100400-G);广东省科技计划项目(2015A020224006,2015B090903077);广东省教育厅科研项目(2013CXZDA007)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

Bidens pilosa became dominant. The species and biomass of weeds were affected by afterreap, and there were significant differences of weed species between sesame-radish (11.67 species) or sesame-*P. vulgaris* (10 species) and sesame-natural grass (5.67 species). Compared with grass-grass, the number of weed species of sesame-grass treatment increased from 4 to 5.67 species, but biomass reduced from 2 698.6 to 944.13 g · m⁻². 【Conclusion】 Sesame, which can enhance afterreap crop yield and inhibit weed growth, is suitable for cultivating wasteland. The fact that the litter and stubble from sesame are easily decomposed can increase organic C and available P contents in soil as well as afterreap crop yield.

Key words: sesame; wasteland; soil physicochemical property; afterreap crop; weed

中国2014年耕地面积净减少8.02万hm²^[1],合理、高效地开发利用边坡、滩涂等荒地资源,减缓耕地逐年减少的现状迫在眉睫^[2-3]。芝麻 *Sesamum indicum* 是我国重要的油料作物之一,古书记载了利用芝麻与其他植物间的化感作用,可以达到除草并提升作物产量目的。明朝邝蟠认为:“凡开垦荒地,烧去野草,犁过,先种芝麻1年,使草木之根败烂后种谷,则无荒草之害。盖芝麻之于草木若得之于五金,性相制也、务农者不可不知”^[4]。20世纪90年代,江西省的许多地区在新垦荒地时,先种植1~2茬芝麻以达到促进农业生产的目的^[5]。有研究表明,芝麻落叶、根系分泌物、茎秆等残留物可以加速毛竹鞭、灌木等根系的腐烂^[6],防止块根类的野生植物繁殖,抑制藤本、草本等杂草的滋生^[7],促进土壤熟化^[8]等。钱久李等^[9-10]的研究结果表明,芝麻叶挥发物可以抑制莠苣和稗草的生长,且芝麻的化感作用与品种有关。李威联等^[11-12]认为芝麻秸秆还田后土壤有效养分明显提升,尤其是速效钾;武雪萍等^[13]研究发现,施用芝麻饼肥有利于土壤生物过程的活跃和有机质的转化;秦俊豪等^[14-15]通过盆栽模拟大田的研究认为,芝麻全株还田对后茬作物幼苗生长具有促进作用,芝麻活体通过茎叶淋溶的途径对受体的生长产生影响。芝麻作为开荒作物对荒地土壤的理化性质、杂草群落及后茬作物产量影响的研究鲜见报道。本研究在广东省广州市增城区宁西新垦荒地,以芝麻作为先锋作物,研究了芝麻对新垦荒地土壤理化性质、田间杂草及后茬作物产量的影响,并探索其作用机理,为芝麻的化感作用研究和开荒植物的种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试芝麻品种为江西省常规推广品种“武宁黑芝麻”,由江西省农业科学院提供。后茬作物选用对土壤肥料较为敏感作物白萝卜 *Raphanus sativus* L. 和玉豆 *Phaseolus vulgaris* L. “双青12号”;以改土效果

较好的大豆 *Glycine max* (L.) “东大3号”和粗生耐贫瘠作物玉米 *Zea mays* L. “高油101”作为对照作物,后茬及对照作物种子均购于广东省农业科学院,为本地常规种植品种。

1.2 方法

1.2.1 前茬作物耕种方式及取样方法 试验于2015年3—11月在广东省增城区华南农业大学宁西科研教学基地进行。新垦平坦荒地900m²(30m×30m),原生境优势杂草为粗叶耳草 *Hedyotis verticillata* (L.) Lam.、飞机草 *Eupatorium odoratum* L. 和蒺藜 *Tribulus terrestris* L.,杂草植被长势茂盛,群落平均株高约1m。人工除草、深翻、耙匀后划分为36个小区。按照九点法在整块地取表层0~30cm土样,充分混匀后取3个300g作为对照土样测土壤本底值。试验设4个处理,分别为种植玉米、大豆和芝麻及重新弃耕自然长草(播种时间为3月22日)。每处理9个小区,按照抽牌法随机抽样播种。作物生长过程中不施任何肥料,采用人工撒泼浇水方式进行灌溉。7月9日作物收获后每小区按九点法取表层0~30cm土样,充分混合后留3个300g作为土样处理,共有3×37=111个土样(36个处理与1个本底值)。测定土壤含水量(烘干法)、pH(德国 STEPS PH3000 型土壤 pH 计测定)、以及有机碳(重铬酸钾外加热法)、碱解氮(碱解扩散法)、有效磷(比色法)、速效钾(醋酸铵浸提-火焰光度法)的含量等指标。

1.2.2 后茬作物耕作方式及调查方法 前茬作物按照传统方法收获,保留芝麻、大豆、玉米根和残留茎叶于土壤或地表中。7月11日每块地人工单独翻整后点播种植萝卜和玉豆。每种前茬处理的9个小区随机播种玉豆3个小区和萝卜3个小区,剩余3个小区自然长草。11月23日收获,每小区各30株,调查萝卜、玉豆的单株经济产量(鲜质量)。后茬作物收获前1周(11月17日),调查每小区1m²内杂草的种类与地上部鲜质量。

1.3 数据处理

试验数据用 Excel 软件(2010版)进行处理,利
<http://xuebao.scau.edu.cn>

用 SPSS 20.0 的单因素方差分析 (One-way ANOVA, Duncan) 方法对每个测定项目统计结果进行显著性方差分析。

2 结果与分析

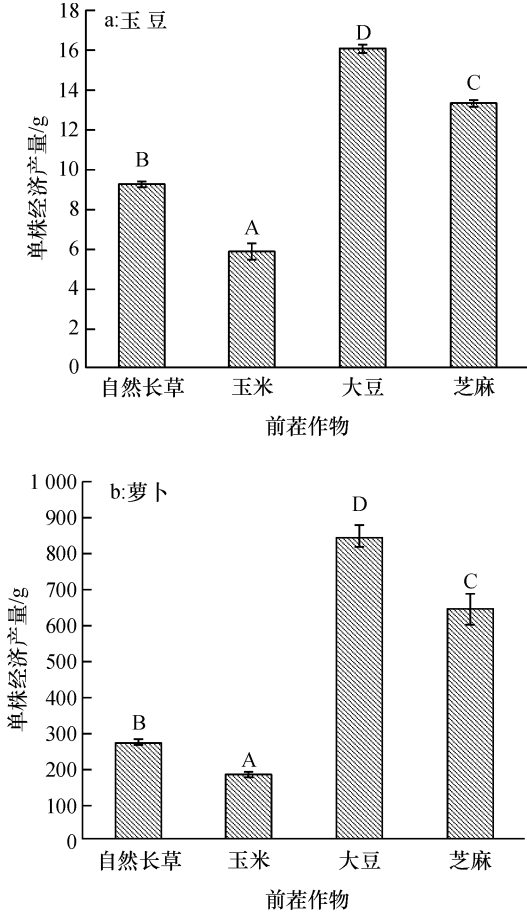
2.1 芝麻对新垦荒地后茬作物产量的影响

由图 1 可以看出,新垦荒地后茬作物单株经济产量受前茬种植不同作物的影响差异极显著 ($P < 0.01$)。前茬种植芝麻的玉豆单株产量为 13.3 g,比自然长草的对照(9.22 g)增产了 44.25%,差异达极显著水平 ($P < 0.01$);前茬种植芝麻的萝卜单株产量为 646.2 g,比对照(260.08 g)增产了 148.46%,差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。由此可见,芝麻作为开荒作物,可以极显著地提高后茬作物单株经济产量,且对萝卜的提升效应大于玉豆。此外,不同的前茬作物对后茬玉豆和萝卜的增产效应存在极显著差异 ($P < 0.01$),表现为大豆 > 芝麻 > 玉米,这可能与豆科作物固氮菌根的作用有关。

2.2 芝麻对新垦荒地土壤理化性质的影响

由于作物生长过程中不施用任何肥料,因此种植作物后土壤养分会受到一定影响。由表 1 可见,种植芝麻能够明显地改变新垦荒地土壤理化指标。新垦荒地碱解氮本底值为 $96.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,种植芝麻后该指标数值降为 $9.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,减少了 89.93%,差异达到了显著水平 ($P < 0.05$),且与自然长草对照相比也表现出降低效应;速效钾指标本底值(w)为 $73.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,种植芝麻后该指标为 $38.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,减少了 47.95%,且与自然长草对照相比也表现出降低效应。土壤吸湿水本底值为 0.05%,种植芝麻后增加为 0.15%,达显著水平,但比自然长草处理(0.22%)低;pH 与本底值和自然长草对照比增加效应均达到显著水平;与本地值和自然长草处理相比,种植芝麻后有效磷表现为显著的增加效应;种植芝麻的有机碳与本地值相比表现为

显著的提升效应,其他处理表现为降低效应。由此可以得出,芝麻作为开荒作物,对原荒地土壤本底值表现为吸湿水、pH、有机碳、有效磷的提升效应,以及对碱解氮、速效钾的降低效应;与自然长草对照处理相比,表现出 pH、有机碳、有效磷的提升效应,以及吸湿水、碱解氮、速效钾的降低效应。



各图中柱子上大写字母不同表示差异极显著 ($P < 0.01$, Duncan's 法)。
图 1 新垦地不同前茬作物对后茬玉豆和萝卜单株经济产量的影响

Fig. 1 Effects of different preceding plants on *Raphanus sativus* and *Phaseolus vulgaris* yields in the new cultivated wasteland

表 1 不同作物对新垦荒地土壤理化性质的影响¹⁾

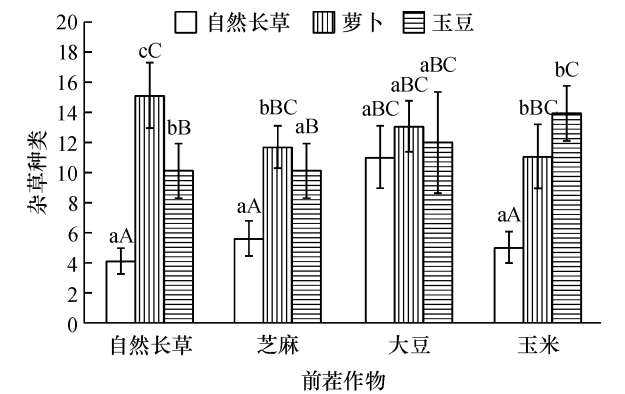
处理	吸湿水(w)/%	pH	$w/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$			
			有机碳	碱解氮	速效钾	有效磷
本底值	$0.05 \pm 0.03\text{a}$	$5.58 \pm 0.02\text{a}$	$17.45 \pm 1.13\text{b}$	$96.53 \pm 13.51\text{d}$	$73.06 \pm 9.64\text{cd}$	$27.13 \pm 0.84\text{b}$
自然长草	$0.22 \pm 0.03\text{c}$	$5.73 \pm 0.02\text{b}$	$17.12 \pm 0.59\text{b}$	$30.46 \pm 4.67\text{b}$	$41.84 \pm 1.53\text{b}$	$27.78 \pm 1.25\text{b}$
大豆	$0.21 \pm 0.02\text{c}$	$5.71 \pm 0.02\text{b}$	$14.32 \pm 0.97\text{a}$	$42.49 \pm 4.92\text{c}$	$55.27 \pm 5.81\text{c}$	$35.54 \pm 2.04\text{d}$
玉米	$0.06 \pm 0.04\text{a}$	$5.61 \pm 0.01\text{a}$	$16.32 \pm 1.36\text{ab}$	$47.20 \pm 2.73\text{c}$	$60.01 \pm 3.85\text{c}$	$15.72 \pm 0.96\text{a}$
芝麻	$0.15 \pm 0.02\text{b}$	$5.93 \pm 0.06\text{c}$	$22.36 \pm 1.28\text{c}$	$9.72 \pm 0.42\text{a}$	$38.03 \pm 0.74\text{a}$	$32.18 \pm 1.02\text{c}$

1) 同列数据后,凡是有一个相同小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法)。

2.3 芝麻对新垦荒地后茬作物田间杂草种类和地上部鲜质量的影响

人工深耕垦殖干预后, 原生境优势杂草粗叶耳草未被发现, 经过前后茬作物的交互作用, 作物田间出现了新的优势杂草如凹头苋 *Amaranthus lividus*、酢浆草 *Oxalis triangularis*、三叶鬼针草 *Herba bidentis pilosae*、鲤肠 *Eclipta prostrata*、繁缕 *Stellaria media* 等。其中, 除自然长草-自然长草处理区外, 其他处理小区均发现了凹头苋。

图2为新垦荒地前后茬作物交互作用后田间杂草种类总数的调查结果。由图2可以看出, 各处理杂草种类存在明显的差异。其中自然长草-自然长草处理杂草种类最少, 为4.12种, 比杂草种类最多的自然长草-萝卜(15种)少了10.88种, 差异显著; 前茬作物为芝麻处理组, 杂草种类最少的为芝麻-自然长草处理(5.67种), 与芝麻-萝卜处理(11.67种)和芝麻-玉豆处理(10种)间差异达显著水平, 但芝麻-萝卜与芝麻-玉豆处理间差异不显著。此外, 芝麻-自然长草处理杂草种类总数比大豆-自然长草(11种)处理少了5.33种, 达显著差异水平, 说明新垦荒地种植1茬作物后如若休耕, 则开荒作物选芝麻比大豆有更好的控制杂草种类的效果; 芝麻-玉豆处理杂草种类总数比玉米-玉豆处理(14种)少4种, 差异达显著水平, 说明当新垦荒地后茬作物为玉豆时, 前茬选择芝麻控制杂草种类的效果优于选择玉米。

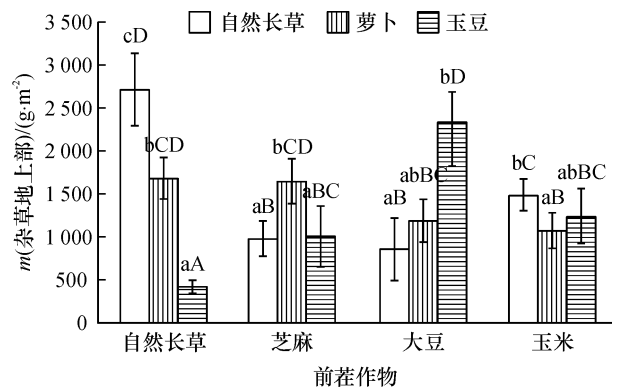


相同前茬作物不同柱子上, 凡是有一个相同小写字母者表示组内差异不显著; 柱子上凡是有一个相同大写字母者表示处理间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法)。

图2 不同前后茬作物对新垦荒地田间杂草种类的影响
Fig.2 Effect of different preceding and aftercrop crops on weed species in the new cultivated wasteland

由图3可以看出, 新垦荒地前后茬作物交互作用后各处理田间杂草地上部总鲜质量的有较大差异。从组间差异来看, 杂草地上部鲜质量最大的为自然长草-自然长草处理, 达 $2\,698.6\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, 显著

高于芝麻-自然长草处理 ($944.13\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$)、大豆-自然长草处理 ($863.2\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) 和玉米-自然长草处理 ($1\,482\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$), 芝麻-自然长草和大豆-自然长草处理之间差异不显著。说明新垦荒地种植1茬作物后休耕, 前茬种植芝麻和大豆均可以显著抑制杂草地上部鲜质量, 且比玉米的抑制效果要强。从组内差异方面来看, 新垦荒地前茬种植芝麻后, 后茬自然长草(即休耕)杂草的地上部鲜质量与种植萝卜处理 ($1\,639.13\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$) 间差异达显著水平, 但后茬休耕与种植玉豆对田间杂草地上部鲜质量影响则差异不显著。



相同前茬作物不同柱子上, 凡是有一个相同小写字母者表示组内差异不显著; 柱子上凡是有一个相同大写字母者表示处理间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法)。

图3 不同前后茬作物对新垦荒地田间杂草地上部鲜质量的影响
Fig.3 Effect of different preceding and aftercrop crops on weed aboveground biomass in the new cultivated wasteland

3 讨论与结论

3.1 后茬作物产量分析

古书记载芝麻作为开荒作物已有悠久的历史。芝麻作为开荒作物, 对后茬萝卜和玉豆的产量有显著的提升效应。Albuquerque 等^[16] 研究认为前茬作物释放的化感物质会影响土壤中养分释放与转化, 不利于后茬作物吸收。植物释放的次生代谢物会对后茬作物养分吸收^[17]、营养元素间的交互作用^[18-19] 和土壤氮循环^[20-21] 等产生较大影响。芝麻作为先锋作物对后茬作物产量的提升效应明显与土壤理化性质的改变有关, 种植芝麻提升了新垦荒地吸湿水、pH 以及有机碳和有效磷含量等指标。秦俊豪等^[14] 研究认为, 芝麻秸秆还田释放的养分对后茬作物幼苗生长起促进作用, 并影响化感物质的活性和化感作用的发挥。前茬芝麻对后茬萝卜的增产效果比后茬玉豆高, 这与芝麻根系残留物或化感物质残留引起的后茬作物养分吸收、营养元素间的交互作用及土壤

氮循环变化是否有关,或者前后茬作物营养吸收互补是否有关,这对于选择搭配后茬作物有重要意义,值得进一步研究探讨。

3.2 土壤理化性质变化分析

有研究结果表明,土壤有机碳含量年际间变化与播种量呈显著正相关,与作物产量呈显著负相关^[22]。本研究结果中芝麻作为开荒作物,对土壤有机碳和 pH 有一定的提升效应,分析原因可能有 2 个方面:一方面测试本底值的土壤采自原荒地深翻后的表层土,因此营养物质含量有限,而后期土壤理化性质数据来源于作物收获后单独翻耕前的表层土,是开荒作物凋落物、根系和微生物密布的主要土层,且种植期间采用人工洒水的方式灌溉,有助于芝麻凋落叶及残茬腐解从而影响 pH 和有机碳含量;另一方面是由于芝麻采用传统的撒播方式播种,而对照玉米和大豆为传统点播,芝麻的播种量明显增多,覆盖度增大,且种植芝麻时为春夏季节的高温高湿时期(3—7月),芝麻凋落叶和后期残茬根系等较容易腐解形成土壤有机质,从而直接提高了土壤有机碳含量。

秦俊豪等^[14]的研究表明,芝麻秸秆吸收较多的磷钾养分,芝麻秸秆还田对土壤速效磷、速效钾含量提高比花生和田菁秸秆大。李威联等^[11-12]研究也表明,芝麻秸秆含有丰富的有机质和氮磷钾等,秸秆还田能提高土壤有机质、氮磷钾全量和速效氮磷钾含量。刘卫群等^[26]研究认为,芝麻饼肥处理能够提高烟株对氮素的吸收、利用和分配,提高烟叶总糖和钾含量。新垦荒地具有肥力较为贫瘠且分布不均的特点,本试验设计中首茬开荒作物未施任何肥料,芝麻作为开荒作物降低了新垦荒地土壤碱解氮和速效钾的含量,这可能与土壤的原肥力和芝麻营养吸收规律^[24]有关,也可能与芝麻根系对土壤微生物群落的变化^[25]有关。

3.3 后茬作物田间杂草影响分析

李威联等^[11-12]的研究结果表明,芝麻对香附子 *Cyperus rotundus*、白茅 *Imperata cylindrica*、铺地黎 *Panicum repens* 等有抑杀作用。华菊玲等^[25]研究表明,芝麻地杂草主要以禾本科的马唐 *Digitaria sanguinalis*、稗 *Echinochloa crusgalli* 为主,出现频率为 38.46%。本研究芝麻作为开荒作物,后茬作物田间未发现香附子等杂草,最主要的 3 种杂草为凹头苋、飞机草和三叶鬼针草。飞机草作为原生境优势杂草,具有很强的入侵性,有研究表明,禾本科或豆科牧草,对飞机草有一定的抑制作用^[26],这也解释了本研究中芝麻—自然长草和芝麻—萝卜处理飞机草生

物量较大,而芝麻—玉豆处理未发现飞机草的结论。严文斌等^[27]研究认为,土壤氮素过高对土著种鬼针草种子萌发有强烈的抑制作用,本研究中芝麻作为开荒作物,将土壤中消解氮降至原值 10%,这也可能是其后茬作物中大量发现三叶鬼针草的原因之一。

本研究中杂草种类与地上部鲜质量分布规律不明显,种植芝麻、萝卜、玉豆等农作物后杂草种类比对照自然长草区明显增加,分析可能有 2 个方面原因:一是开荒前原生境杂草已经形成片区式生长环境,土壤质地和杂草种类分布不均匀^[25],且前茬作物收获后每个处理小区均单独人工翻耕,可能会造成土壤杂草种子暴露,从而影响了后茬作物田间杂草种类;二是在荒地引入农作物,破坏了原生境杂草群落结构,同时不排除农作物种子带入杂草籽的可能性。芝麻品种与栽培技术对田间杂草种类影响差异较大^[10]。本研究仅种植芝麻 1 茬约 3 个月(3—7 月份),随后立即种植后茬作物,可能对杂草的生长也有一定的影响。

古书中有关利用芝麻作为开荒作物以达到除草目的^[4]在本研究中并不明显,可能原因是本试验是在南方高温多雨的季节进行,有关的植物次生化感物质容易受炎热温度和多雨高湿的环境条件影响而快速分解,而后茬作物地上主要的杂草是入侵性极强的恶性杂草三叶鬼针草,其对养分的竞争和化感物质的响应能力均与一般杂草有很大不同。

3.4 结论

在传统农业中,利用芝麻作为开荒作物比自然长草的对照和种植玉米能显著促进后茬作物萝卜和玉豆的生长;种植芝麻能够改变新垦荒地土壤理化性质,显著提高土壤 pH、吸湿水以及有机碳和有效磷的含量;利用芝麻作为开荒作物对于除草效果不明显。此外,本研究以大田试验的方式,划区后将各处理随机种植不同种类前后茬作物,且每区独立翻整,种植作物后统一管理,这种方式比温室盆栽模拟试验更能反映现实田间土壤和气候条件,对于研究芝麻作为开荒作物的应用价值更有实际意义。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国土资源部. 2015 中国国土资源公报 [R/OL]. <http://www.mlr.gov.cn/>.
- [2] MC GLOUGHLIN M N, BURKE J. Biotechnology crop adoption: Potential and challenges of genetically improved crops [M] // VAN ALFEN N K. Encyclopedia of agriculture and food systems. USA: Elsevier, 2014: 69-93.
- [3] 魏洪斌, 吴克宁, 赵华甫, 等. 中国耕地动态变化与占补平衡分析[J]. 国土资源科技管理, 2015(1): 115-

- 124.
- [4] 王祯. 农书卷十一[M]. 北京:农业出版社, 1981.
- [5] 舒惠国. 江西农业全书[M]. 南昌:江西高校出版社, 1994.
- [6] 乐美旺. 芝麻化感作用及其研究进展[J]. 作物杂志, 2008(4):15-16.
- [7] MACIAS F A. Allelopathy in search for natural herbicide models [C]//DAKSHINI K M, EINHELLIG F A. Acs Symposium Series 582. Washington, D C: American Chemical Society, 1995: 310-329.
- [8] OVERLAND L. The role of allelopathic substances in the “smother crop” barley[J]. Am J Bot, 1966, 53(5):423-432.
- [9] 钱久李, 秦俊豪, 黎华寿. 芝麻叶挥发物的化感作用及其成分研究[J]. 广东农业科学, 2016, 43(2):102-110.
- [10] 钱久李, 刘子艳, 黎华寿. 芝麻对稗草的化感作用及其大田生态价值评价[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(9): 73-77, 80.
- [11] 李威联, 罗兴录. 芝麻秆还田防治水稻病虫、杂草及提高土壤肥力效应的研究[J]. 广西农业生物科学, 1994, 13(3):228-232.
- [12] 李威联. 芝麻生化相克及麻秆还田的效应研究[J]. 耕作与栽培, 1990(6):47-50.
- [13] 武雪萍, 刘增俊, 赵跃华, 等. 施用芝麻饼肥对植烟根际土壤酶活性和微生物碳、氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4):541-546.
- [14] 秦俊豪, 贺鸿志, 黎华寿, 等. 芝麻、花生和田菁秸秆还田的化感效应研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(10):1941-1947.
- [15] 秦俊豪, 聂呈荣, 韩萌, 等. 芝麻化感效应的释放途径研究[J], 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2013(4):1-5.
- [16] DE ALBUQUERQUE M B, DOS SANTOS R C, LIMA L M, et al. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems [J]. Agron Sustain Dev, 2011, 31(2): 379-375.
- [17] KARBAN R, SHIOJIRI K, HUNTZINGER M, et al. Damage-induced resistance in sagebrush: Volatiles are keys to intra- and inter-plant communication[J]. Ecology, 2006, 87: 922-930.
- [18] KENDRA A C, KELLY D. Guilty in the court of public opinion: Testing presumptive impacts and allelopathic potential of ranunculus ficaria [J]. Am Midland Nat, 2011, 166(1):63-74.
- [19] HÄTTENSCHWILER S, JØRGENSEN H B. Carbon quality rather than stoichiometry controls litter decomposition in a tropical rain forest[J]. J Ecol, 2010, 98:754-763.
- [20] NORTHUP R R, DAHLGREN R A, MC COLL J G. Polyphenols as regulators of plant-litter-soil interactions in Northern California’s pygmy forest: A positive feedback? [J]. Biogeochemistry, 1998, 42(1/2): 189-220.
- [21] HÄTTENSCHWILER S, VITOUSEK P M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling [J]. Trends Ecol Evol, 2000, 15(6): 238-243.
- [22] 杨荣, 苏永中, 王敏, 等. 新垦沙地农田土壤有机碳时空变异特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4):1078-1083.
- [24] 张子武, 沈阿林, 张桂兰, 等. 夏播芝麻营养吸收规律与平衡施肥研究: II: 夏播芝麻的高产平衡施肥[J]. 华北农学报, 1994, 9(增刊):118-122.
- [25] 华菊玲, 刘光荣, 黄劲松. 连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(9): 2936-2942.
- [26] 刘卫群, 李天福, 郭红祥, 等. 配施芝麻饼肥对烟株氮素吸收及其在烟碱、蛋白质和醚提物中分配的影响[J]. 中国烟草学报, 2003, 9(1):30-34.
- [27] 汪瑞清, 肖运萍, 魏林根, 等. 不同施肥方式对红壤旱地芝麻农艺性状及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(2):223-227.
- [28] HUANG Z W, LIAN H T, WANG H J, et al. Prevention and utilization of invasive plants of agriculture and forestry in Guangdong province [J]. Agr Sci Technol, 2014, 15(5):846-849
- [29] 严文斌, 全国明, 章家恩, 等. 环境因子对三叶鬼针草和鬼针草种子萌发的影响[J]. 生态学报, 2013, 22(7): 1129-1135.

【责任编辑 周志红】