

芝麻、花生和田菁秸秆还田的化感效应研究

秦俊豪, 贺鸿志, 黎华寿*, 顾 忱, 彭阳洋, 韩 萌

(华南农业大学 农业部华南热带农业环境重点实验室, 广州 510642)

摘 要:采用盆栽模拟实验研究了具化感作用的芝麻(*Sesamum indicum*)、花生(*Arachis hypogaea*)和田菁(*Sesbania cannabina*)秸秆全株还田对萝卜(*Raphanus sativus*)、黑麦草(*Lolium multiflorum*)和黄瓜(*Cucumis sativus*)生长及土壤养分状况的影响,旨在评价秸秆还田释放养分与化感作用对后茬作物幼苗生长效应的综合影响。结果表明:秸秆还田能改善土壤养分状况,对后茬作物幼苗生长具有较好的促进作用。3种作物秸秆还田促进幼苗生长的大小顺序为花生秸秆>田菁秸秆>芝麻秸秆>对照,其中芝麻秸秆对土壤速效磷、速效钾含量提高最大,而花生和田菁秸秆对土壤有机质、全氮的贡献值远远高于另两种处理。3种秸秆还田均对后茬作物幼苗生长和土壤养分具有促进作用,其释放的养分因子占主导作用,而化感作用并未明显表现出阻碍后茬作物幼苗生长。可能原因在于秸秆还田后导致较高 pH 和土壤养分利于植物生长,并影响了秸秆化感物质的活性和化感作用的发挥。

关键词:作物生物量;秸秆还田;土壤养分;化感作用

中图分类号:X712 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)10-1941-07

Allelopathic Effect of Returning Plant Residue to Field from Sesame, Peanut and Sesbania

QIN Jun-hao, HE Hong-zhi, LI Hua-shou*, GU Chen, PENG Yang-yang, HAN Meng

(Key Laboratory of South China Tropical Agriculture Environment, Ministry of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: A pot experiment in greenhouse was conducted to study the effects of returning plant residue from sesame (*Sesamum indicum*), peanut (*Arachis hypogaea*) and sesbania (*Sesbania cannabina*) on subsequent seedlings growth and soil nutrient. After soil was amended with different crop straws, the biomass of radish (*R. sativus*), ryegrass (*L. multiflorum*) and cucumber (*C. sativus*) increased significantly, and soil nutrients also increased significantly. The results showed that the order of the biomass of subsequent seedlings was peanut > sesbania > sesame > CK. The improvement of soil available P and K was better by returning the plant residue of sesame than the other two crops. The improvement of soil total nitrogen was better by returning the plant residue from peanut and sesbania than by sesame. Comparing with negative effect of allelopathic effect caused by the phyto-toxic substances produced in the initial phase of the decomposition processes. The positive impact caused by the accumulation of nutrient overcame the negative impact caused by allelopathic chemicals. Higher soil pH caused by returning crop residue may also play an important role.

Keywords: crop biomass; straw returning; soil fertility; allelopathy

据农业部全国秸秆资源调查与评价工作成果显示,当前我国秸秆未利用资源量高达 2.15 亿 t, 秸秆资源如果利用或处理不当, 则会造成一系列环境问题, 如何将作物秸秆化害为利, 变废为宝, 是学术界和社会关注的重要农业环境问题^[1-3]。

化感作用是植物次生代谢物质或植物腐解产物对其他植物或微生物的化学影响效应。在光照、温度、水分、土壤(养分)等^[4]众多植物生长所需的环境因子中, 养分因子与植物化感作用间的相互影响无疑是最重要的方面之一^[5]。Manoel 等^[6]研究表明前茬作物释放的化感物质会影响土壤中的养分释放和转化, 不利于后茬作物吸收。植物释放的次生代谢物会对还田作物秸秆的分解^[7]、后茬作物养分吸收^[8]、营养元素间的交互作用^[9-10]和土壤氮循环^[11-12]等产生较大影响。但目前就植物化感作用与养分之间关系的研究较少, 已有

收稿日期:2012-03-23

基金项目:国家重点基础研究“973”项目(2011CB100406)

作者简介:秦俊豪(1986—),男,广西桂林人,硕士研究生,专业方向为农业生态学。

* 通信作者:黎华寿 E-mail:lihuashou@scau.edu.cn

的研究多数侧重于土壤养分缺乏对植物化感潜力的影响^[13-16],只有极少数研究侧重于土壤养分丰富时植物化感潜力的变化^[17],而对于养分水平所引起植物化感潜力变化的研究更是少见。

詹英贤^[18]研究了芝麻根系分泌物对土壤和土壤微生物的影响;钱久李^[19]研究认为武宁黑芝麻对套种玉米、大豆等干重和产量具有促进效果;刘苹等^[20]研究了花生根系分泌物对花生种子发芽和幼苗的生长发育存在抑制作用,认为其化感物质在土壤中的累积,很可能是导致花生连作减产、品质下降的重要原因之一;Gonzalez等^[21]研究认为田菁不同组织的提取液对水稻幼苗和根系的生长产生较大影响。但在生产实践中,农民常用这3种秸秆作为绿肥还田,究竟它们对后茬种子和幼苗生长是促进还是抑制仍未见报道。为此,本实验选择具有较高土壤营养和化感作用价值的豆科类作物田菁(*Sesbania cannabina*)、花生(*Arachis hypogaea*)和胡麻科类作物芝麻(*Sesamum indicum*)秸秆作为模拟还田材料,为理解秸秆还田后养分循环与化感作用之间的关系,推动秸秆变废为宝和可持续利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试土壤

供试土壤于2010年10月采集于华南农业大学生态学系农场,土壤类型为壤土。土壤采集后去除杂物,自然风干后过2 mm筛备用,其基本理化性质见表1。

1.1.2 供试受体

萝卜(*Raphanus sativus*)为白粉团萝卜,黑麦草(*Lolium multiforum*)为洱云牌一年生黑麦草,黄瓜(*Cucumis sativus*)为燕白黄瓜,其种子均购于广东省农科院。

1.1.3 添加秸秆种类

芝麻(*Sesamum indicum*)、花生(*Arachis hypogaea*)

和田菁(*Sesbania cannabina*)秸秆,均采集于华南农业大学生态学系农场内,其实际还田的主要养分含量水平见表2。

1.2 实验方法

将秋季成熟期的芝麻、花生、田菁全株采回,先用清水洗净泥土后,置于阴凉处自然晾干。将自然风干的芝麻、花生、田菁秸秆剪成2 cm小段混匀后,置于塑料袋中储存备用。

以秸秆的烘干重量(105℃,3 h)为标准,称取自然风干50 g的3种秸秆(包括根、茎、叶)置于装有5 kg土壤的塑料盆(直径20 cm)中(秸秆模拟还田深度为10 cm)。每盆播种萝卜、黑麦草、黄瓜种子各10粒,待植株长出第1片真叶后定苗3株。同时设置一个没有添加秸秆的处理作为对照,所有处理均重复3次。置于华南农业大学生态学系农场(23°08'N,113°15'E)的温室大棚内(温度20~25℃),培养期间不定期(1~2 d)向盆中加入等量自来水。定植60 d(2010年10—12月)后取样测定受体幼苗的根长、苗高、鲜重、干重,并将整盆土壤样品置于阴凉处自然风干。将风干土过1 mm和0.15 mm筛,置于塑料袋中储存。采用土壤农化常规分析方法对土样进行pH、有机质、全N、速效P、速效K的测定。

1.3 数据分析

试验结果用Excel软件(2003版)进行处理,利用SPSS13.0的单因素方差分析(One-way ANOVA)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 秸秆模拟还田对萝卜、黑麦草、黄瓜生长的影响

2.1.1 不同秸秆模拟还田处理对萝卜生长的影响

从图1、图2可见,3种秸秆模拟还田对萝卜的生长均比对照CK有较好的促进作用。其大小顺序为花生秸秆>田菁秸秆>芝麻秸秆>对照。但芝麻秸秆与对

表1 供试土壤的理化性质

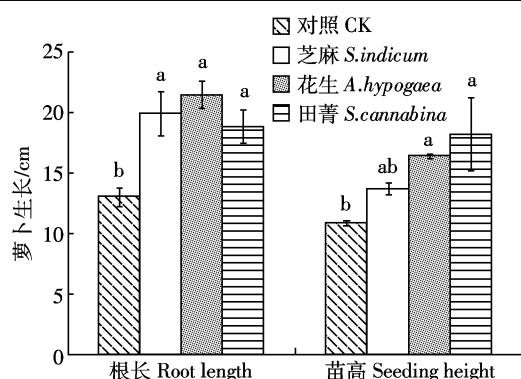
Table 1 Physical-chemical properties of the experimental soil

pH	有机质 Organic matter/g·kg ⁻¹	全氮 Total N/g·kg ⁻¹	速效磷 Available P/mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K/mg·kg ⁻¹
5.22	30.61	1.47	24.57	49.07

表2 每盆土壤中各种秸秆还田的主要养分含量水平

Table 2 The main nutrient contents of the three straws returning to soil in each pot

秸秆种类 Types of straw	全氮 Total N/g·kg ⁻¹	全磷 Total P/mg·kg ⁻¹	全钾 Total K/mg·kg ⁻¹
芝麻(<i>S. indicum</i>)	0.34	77.2	652.0
田菁(<i>S. cannabina</i>)	0.26	23.6	139.4
花生(<i>A. hypogaea</i>)	0.13	12.7	84.1



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下同

The different capital and small letters in the same column stand for significance at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same below

图 1 不同秸秆模拟还田对萝卜生长的影响

Figure 1 Effect on *R.Sativus* growth under different straws simulated returning

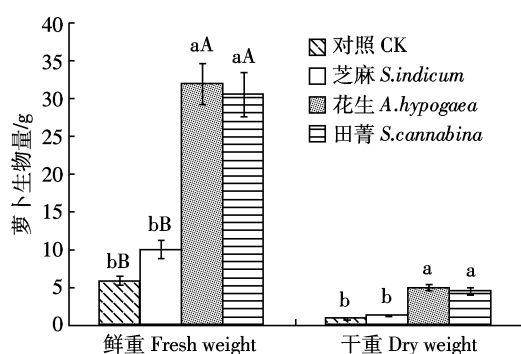


图 2 不同秸秆模拟还田对萝卜植株生物量的影响

Figure 2 Effect on *R.Sativus* biomass under different straws simulated returning

照在苗高、鲜重、干重均未达到显著差异性;而在鲜重、干重等生物量指标上,花生与田菁秸秆对萝卜生长的贡献最大,均与芝麻秸秆、对照处理的差异达到显著水平 ($P<0.05$),其中鲜重达到极显著水平($P<0.01$)。未加入秸秆的对照处理的根长、苗高、鲜重、干重均表现最低(根长 13.13 cm、苗高 10.92 cm、鲜重 5.91 g、干重 0.74 g)。

2.1.2 不同秸秆模拟还田处理对黑麦草生长的影响

3 种秸秆模拟还田对黑麦草的苗高、鲜重、干重等指标与对照相比,差异均达到显著水平(图 3、图 4)。其中花生秸秆对黑麦草的生长促进最大(根长 30.47 cm、苗高 39.78 cm、鲜重 23.15 g、干重 3.55 g),其次为芝麻秸秆(根长 30.7 cm、苗高 36.35 cm、鲜重 14.24 g、干重 2.41 g),对照为最低(根长 31.14 cm、苗高 27.21 cm、鲜重 7.31 g、干重 1.11 g)。

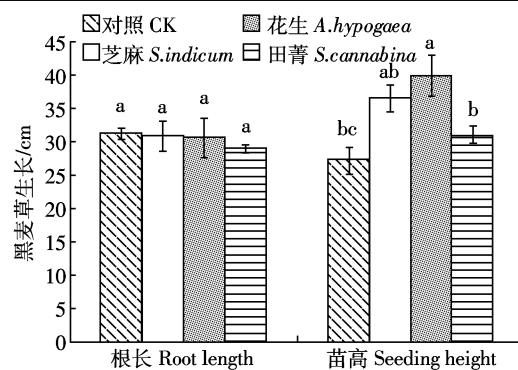


图 3 不同秸秆模拟还田对黑麦草生长的影响

Figure 3 Effect on *L.multiflorum* growth under different straws simulated returning

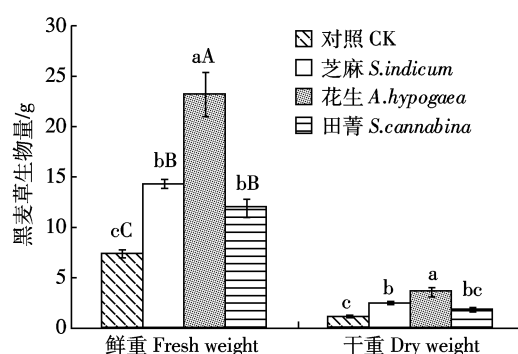


图 4 不同秸秆模拟还田对黑麦草植株生物量的影响

Figure 4 Effect on *L.multiflorum* biomass under different straws simulated returning

2.1.3 不同秸秆模拟还田处理对黄瓜生长的影响

由图 5、图 6 可知,种植 60 d 后,添加秸秆处理对黄瓜生长促进效果显著。其中,花生秸秆对黄瓜生长的促进效果最大,根长为 16.33 cm、苗高 60.25 cm;鲜重为 40.23 g、干重 6.5 g。而未加入秸秆处理对照的根长为 9.92 cm、苗高 19.93 cm;鲜重为 6.4 g、干重 1.78 g。通过分析比较各秸秆处理对生物量的贡献值均大于对照处理,且差异达到显著水平。

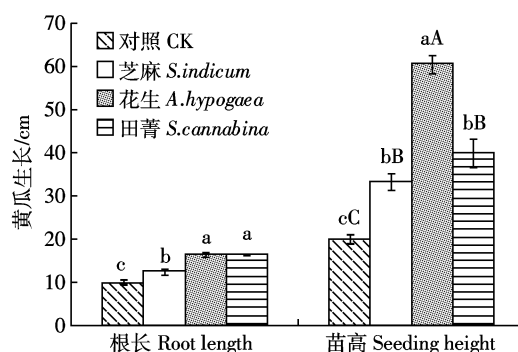


图 5 不同秸秆模拟还田对黄瓜生长的影响

Figure 5 Effect on *C.sativus* growth under different straws simulated returning

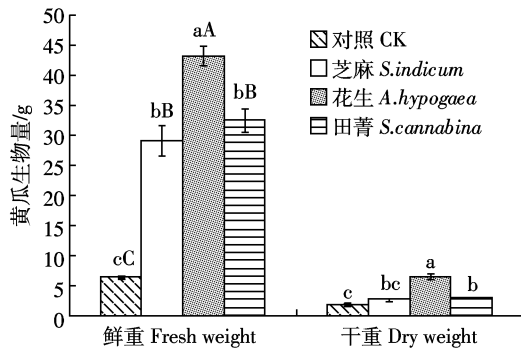


图 6 不同秸秆模拟还田对黄瓜植株生物量的影响

Figure 6 Effect on *C. sativus* biomass under different straws simulated returning

综合 3 种秸秆模拟还田对萝卜、黑麦草、黄瓜生长的影响效果,花生秸秆>田菁秸秆>芝麻秸秆>对照,处理间差异均达到显著水平。前人研究表明^[22],有些植物分泌物中的生物活性物质有利于某些其他植物对营养元素的吸收,从而促进其生长。由此可知,对于芝麻、花生、田菁这类具有化感作用的作物,其整株还田后,并未对种植作物的生长起阻碍。为进一步探讨究竟是其释放的低浓度化感物质,还是秸秆还田后所释放的营养元素促进了作物的生长,我们进一步测定了土壤养分的变化。

2.2 秸秆模拟还田处理对土壤养分的影响

2.2.1 秸秆模拟还田对种植萝卜后土壤养分的影响

由表 3 可知,3 种秸秆模拟还田对萝卜中的土壤养分产生了一定的影响。添加芝麻秸秆还田后土壤中

pH5.93、速效钾 $289.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,与其他处理相比均最高,且差异达到极显著水平。加入秸秆处理后,速效钾提高较为明显,增加了 4~6 倍。花生和田菁秸秆模拟还田对土壤有机质和全氮含量的贡献值均高于其他处理,分别为 $33.59 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $33.34 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2.2 秸秆模拟还田对种植黑麦草后土壤养分的影响

以黑麦草为供试对象,比较分析不同处理间的土壤养分可明显发现,芝麻秸秆处理的速效磷和速效钾的含量最高,分别为 $28.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $199.47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,且与对照间差异达到显著水平($P<0.05$),其中速效钾的差异达到极显著水平($P<0.01$)。对土壤有机质及全氮贡献最大的为豆科类作物秸秆(花生和田菁秸秆),其中加入花生秸秆的土壤有机质及全氮分别为 $35.58 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.63 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;田菁秸秆为 $34.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $1.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 4),且与另两个处理间差异达显著水平。

2.2.3 秸秆模拟还田对种植黄瓜后土壤养分的影响

从表 5 可以得出,在种植黄瓜的土壤中,加入芝麻秸秆的土壤 pH、速效磷和速效钾均达到最高,分别为 5.84、 $29.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $260.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,且与其他处理差异达到显著水平。加入田菁秸秆的土壤,其有机质比对照增加了 18.76%,全氮增加了 17.0%;而花生秸秆处理的土壤,有机质比对照增加了 14.06%,全氮增加了 18.38%。由此可知,在土壤中加入秸秆对土壤养分具有一定的促进作用。

综合表 3、表 4、表 5 结果可知,在土壤中加入芝

表 3 不同秸秆模拟还田对种植萝卜土壤中养分特性的影响

Table 3 The soil nutrient characteristics on *R. Sativus* under different straws simulated returning

秸秆处理 Treatment with straws	pH	有机质 Organic matter/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮 Total N/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷 Available P/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾 Available K/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
对照(CK)	5.58±0.02cC	32.93±0.15aA	1.39±0.01cB	26.45±0.08abA	49.15±2.89dC
芝麻(<i>S. indicum</i>)	5.93±0.06aA	32.23±1.07bA	1.26±0.00dC	28.30±0.40aA	289.03±25.03aA
田菁(<i>S. cannabina</i>)	5.72±0.02bBC	33.34±0.29aA	1.68±0.03aA	27.38±0.93abA	196.96±8.22bB
花生(<i>A. hypogaea</i>)	5.86±0.04aAB	33.59±0.09aA	1.60±0.02bA	25.53±0.63bA	151.99±11.83cB

注:同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下同。

Note: Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. Different capital letters in the same column meant significant difference at 0.01 level. The same below.

表 4 不同秸秆模拟还田对种植黑麦草土壤中养分特性的影响

Table 4 The soil nutrient characteristics of *L. multiflorum* under different straws simulated returning

秸秆处理 Treatment with straws	pH	有机质 Organic matter/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全氮 Total N/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效磷 Available P/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速效钾 Available K/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
对照(CK)	5.65±0.03bB	34.03±0.05bB	1.47±0.02bAB	26.82±0.22abAB	63.78±7.18cC
芝麻(<i>S. indicum</i>)	5.82±0.05aA	32.61±0.38cC	1.36±0.06bB	28.40±0.53aA	199.47±7.33aA
田菁(<i>S. cannabina</i>)	5.65±0.03bB	34.25±0.15bB	1.66±0.04aA	25.60±0.63abB	196.81±6.89aA
花生(<i>A. hypogaea</i>)	5.73±0.03abAB	35.58±0.33aA	1.63±0.01aA	25.70±0.18bB	126.11±4.47bB

表 5 不同秸秆模拟还田对种植黄瓜土壤中养分特性的影响

Table 5 The soil nutrient characteristics on *C. sativus* under different straws simulated returning

秸秆处理 Treatment with straws	pH	有机质 Organic matter/ g·kg ⁻¹	全氮 Total N/ g·kg ⁻¹	速效磷 Available P/ mg·kg ⁻¹	速效钾 Available K/ mg·kg ⁻¹
对照(CK)	5.57±0.04cB	31.66±0.03bC	1.47±0.04cB	26.51±0.17bB	68.57±5.18cC
芝麻(<i>S. indicum</i>)	5.84±0.01aA	33.24±0.45bBC	1.59±0.02bB	29.60±0.67aA	260.69±16.24aA
田菁(<i>S. cannabina</i>)	5.73±0.03bA	37.60±1.11aA	1.72±0.03aA	24.93±0.20cB	224.08±16.26aA
花生(<i>A. hypogaea</i>)	5.76±0.02abA	36.11±0.24aAB	1.74±0.01aA	26.23±0.19bB	141.29±14.55bB

麻、花生和田菁秸秆对土壤养分具有一定的促进作用。其中加入芝麻秸秆对萝卜、黑麦草和黄瓜土壤中 pH、速效磷和速效钾的贡献最大,在各处理中均达到最高,其大小顺序为芝麻秸秆>花生秸秆≈田菁秸秆>对照。而加入花生和田菁秸秆的土壤,其有机质和全氮含量与其他处理相比均最大。由此可见,秸秆还田对提高土壤养分具有明显的促进作用。

3 讨论

化感作用在自然界中普遍存在,耕作制度安排应该考虑其影响,无论是作物的单一种植,还是间作、轮作、覆盖、翻埋等,都可能受化感作用的影响。本试验旨在评价具化感作用秸秆模拟还田对土壤养分和化感效果的差异性以及两者间的效应关系。

3.1 不同秸秆模拟还田的化感效果差异分析

Overland^[23]认为作物化感作用的发挥(促进或抑制)或对 N、P、K 的吸收累积取决于作物种类、秸秆还田深度和土壤质地。从表 2 可知,3 种秸秆实际还田养分含量最高为芝麻,通过表 3、表 4、表 5 分析可知,芝麻秸秆还田后对促进后茬作物幼苗生长和土壤肥力指标如全氮、有机质等贡献反而不及另两种秸秆,其原因在于花生与田菁均属于豆科类作物,而将豆科作物秸秆翻压入土后,其根部着生的根瘤菌固氮能力显著;但另一方面,我们仍然不能够忽视芝麻化感作用对秸秆还田释放营养元素的影响。

3.2 土壤 pH 与化感作用之间的效应关系

前人研究表明秸秆还田后对土壤理化性质产生了很大影响^[24]。本实验中土壤 pH 最高为芝麻秸秆,其次为花生和田菁秸秆,均高于对照。有研究认为较高的土壤 pH 会影响化感物质活性及其作用的发挥,进而导致其化感作用下降^[25-26]。本研究中 3 种秸秆模拟还田后,其较高土壤 pH 是否是导致秸秆化感作用减弱或影响化感物质活性的重要原因之一,需要进一步验证其释放化感物质活性与土壤 pH 间的相关性。

3.3 土壤养分与化感作用之间的关系

不同养分水平土壤对化感作用的表达有显著影响^[27]。例如,随着营养水平的降低,胜红蓼挥发油对受试植物的化感作用明显增强^[28]。缺氮也对植物的化感潜力产生影响,某些水稻品种的化感作用潜力随着供氮水平的下降而明显增强^[29-30]。Mwaja 等^[31]研究认为在高营养水平的土壤中,黑麦(*Secale cereale*)的生物量增加,但其化感作用并不增强,反而减弱。从本研究中土壤养分结果表明萝卜、黑麦草和黄瓜的土壤养分含量均高于对照,这有可能是高营养水平的土壤抑制了还田秸秆化感物质活性的又一原因。本研究未进一步的测定秸秆还田后释放的化感物质含量高与低,但从后茬作物幼苗生长和土壤养分分析中,同样可以得出与前人研究一致的结论。因此,富含高营养水平的秸秆还田后,其自身化感物质的释放并未对后茬作物产生影响,相反有可能其释放的低浓度化感物质与秸秆还田释放的养分联合作用,促进了作物的生长。

3.4 3 种秸秆自身化感作用差异分析

有人初步鉴定芝麻化感物质主要为烯类等 5 类物质^[18-19];不同连作年限的花生土壤中主要有对羟基苯甲酸、香草酸、香豆酸、香豆素和苯甲酸等酚类化感物质^[32];田菁根系也具有较强分泌有机酸的能力^[33]。作物秸秆还田释放活性物质可促进土壤微生物繁殖与活动,并显著提高细菌群落丰富度,因而改善了作物根际土壤环境,促进了作物幼苗生长。3 种秸秆模拟还田对后茬作物幼苗生长产生的化感效果不一致,有可能与其自身化感作用差异密切相关。具体机理还有待于进一步研究。

3.5 不同秸秆还田对土壤养分贡献差异和环境的影响

刘枫等^[34]通过田间试验证实了不同前茬作物对烟株生物量和氮磷钾养分等总体上差异显著,其中磷钾表现为盈余,而氮素表现为损失。本试验 3 种秸秆模拟还田对后茬作物幼苗土壤贡献最大的均为速效钾,氮素虽大体上也表现为盈余,但贡献值远远不及钾。其原因在于秸秆中含有较多的钾素,与氮、磷不同,钾在秸秆内以离子态存在,极易被淋洗出来,通过

分解得到释放,能够为作物提供很好的钾源^[35]。虽然磷、钾元素与氮素相比较为稳定,但其在土壤中的积累除为作物优质高产奠定基础外,也可能造成养分的不均衡而影响作物生长。此外,大部分盈余元素通过地表径流和淋洗损失等途径进入环境,由此带来的环境问题不容忽视^[36]。也有研究表明秸秆还田能有效降低水稻土表层氮素含量,秸秆深埋处理有利于土壤对氮素吸收,使氮素的流失几率降低,流失潜能趋势大为减小^[37]。在半干旱区的3年实验研究表明,采用秸秆还田能较好地保蓄土壤水分,利于土壤水库的扩蓄增容,且对提高作物产量和作物水分利用效率有显著效果^[38]。

4 结论

本试验结果表明,具有化感作用的芝麻、花生和田菁整株秸秆模拟还田具有改善土壤养分,促进萝卜、黑麦草和黄瓜生长的效果;添加具化感作用的秸秆还田并未对后茬作物幼苗产生毒害或阻碍其生长,分析原因可能在于秸秆还田后提高土壤pH和土壤养分进而影响秸秆化感作用发挥和化感物质活性。本研究中秸秆还田释放养分对促进后茬作物幼苗生长占据主导作用,但是否掩盖了秸秆自身化感作用的发挥,还需进一步的研究。

参考文献:

- [1] 农业部. 全国农作物秸秆资源调查与评价报告[R]. 农业部新闻办公室, 2011.
Ministry of Agriculture. Crop straw resources survey and evaluation report in China. China Academic Journal Electronic Publishing House, 2011.
- [2] 王金南, 曹东, 杨金田, 等. 能源与环境: 中国 2020[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
Wang J N, Cao D, Yang J T, et al. Energy and Environment: China 2020. China Environmental Science Press. Beijing, 2004.
- [3] 毕于运, 王道龙, 高春雨, 等. 中国秸秆资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
Bi Y Y, Wang D L, Gao C Y, et al. Evaluation and utilization of the straw resource. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008.
- [4] Inderjit, Wardle D A, Karban R, et al. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2011, 26(12):655-662.
- [5] 肖辉林, 彭少麟, 郑煜基, 等. 植物化感物质及化感潜力与土壤养分的相互影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9):1747-1750.
XIAO Hui-lin, PENG Shao-lin, ZHENG Yu-ji, et al. Interactive effects between plant allelochemicals, plant allelopathic potential and soil nutrients[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9):1747-1750.
- [6] Albuquerque de M B, Santos dos R C, Lima L M, et al. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2011, 31(2):379-395.
- [7] Hättenschwiler S, Coq S, Barantal S, et al. Leaf traits and decomposition in tropical rainforests: Revisiting some commonly held views and towards a new hypothesis[J]. *New Phytol*, 2010, 189:950-965.
- [8] Karban R, Shiojiri K, Huntzinger M, et al. Damage-induced resistance in sagebrush: Volatiles are keys to intra- and interplant communication[J]. *Ecology*, 2006, 87:922-930.
- [9] Kendra A C, Kelly D. Guilty in the court of public opinion: Testing presumptive impacts and allelopathic potential of *Ranunculus ficaria*[J]. *The American Midland Naturalist*, 2011, 166(1):63-74.
- [10] 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.
- [11] Northup R R, Dahlgren R A, McColl J G, et al. Polyphenols as regulators of plant-litter-soil interactions in northern California's pygmy forest: A positive feedback?[J]. *Biogeochemistry*, 1998, 42:189-220.
- [12] Hättenschwiler S, Vitousek P. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling[J]. *Trends Ecol Evol*, 2000, 15:238-243.
- [13] Dear J, Aronoff S. Relative kinetics of chlorogenic and caffeic acids during the onset of boron deficiency in sunflower[J]. *Plant Physiol*, 1965, 40:458-459.
- [14] Koeppe E D E, Southwick L M, Bittell J E. The relationship of tissue chlorogenic acid concentrations and leaching of phenolics from sunflowers grown under varying phosphates nutrient conditions[J]. *Can J Bot*, 1976, 54:593-599.
- [15] Armstrong G M, Rohrbach L M, Rice E L, et al. Preliminary studies on the effect of deficiency in potassium or magnesium on concentration of chlorogenic acid and scopolin in tobacco[J]. *Proc Oklahoma Acad Sci*, 1971, 51:41-43.
- [16] Mckey D, Waterman P G, Mbi C N, et al. Phenolic content of vegetation in two African rain forests: Ecological implications[J]. *Science*, 1978, 202:61-63.
- [17] Einhellig F A. Allelopathy: Current status and future goals//Inderjit Dakshini KMM, Einhellig FA, eds. *Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications*[J]. *American Chemical Society Symposium Series*, ACS. Washington DC, 1995, 58:1-24.
- [18] 詹英贤. 芝麻及其栽培[M]. 北京: 科学技术出版社, 1957.
Zhan Y X. Sesame and its cultivation. Beijing: Science and Technology Press, 1957.
- [19] 钱久李. 芝麻化感作用及其机理初步研究[D]. 广州: 华南农业大学硕士学位论文, 2007.
Qian J L. Study on allelopathy and its mechanism of Sesame (*Sesamum indicum*) [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2007.
- [20] 刘苹, 赵海军, 万书波, 等. 连作对花生根系分泌物化感作用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3):639-644.
LIU Ping, ZHAO Hai-jun, WAN Shu-bo, et al. Effect of continuous cropping on allelopathy of peanut root exudates[J]. *Chinese Journal of*

- Eco-Agriculture*, 2011, 19(3):639-644.
- [21] Gonzalez T, Ruiz Y, Perez R, et al. Allelopathic activity of *Sesbania rostrata* Brem. before black glume weedy (red) rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Allelopathy Journal*, 2006, 18(2):134-137.
- [22] 邵 华, 彭少麟. 农业生态系统中的化感作用[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(3):103-104.
- SHAO Hua, PENG Shao-lin. Allelopathy in agroecosystem[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(3):103-104.
- [23] Overland L. The role of allelopathic substances in the "Smother Crop" barley[J]. *American Journal of Botany*, 1966, 53(5):423-432.
- [24] 陈金海, 李艳丽, 王 磊, 等. 两种基于芦苇秸秆还田的改良措施对崇明东滩围垦土壤理化性质和微生物呼吸的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(2):307-315.
- CHEN Jin-hai, LI Yan-li, WANG Lei, et al. Effect of two improving measures based on returning phragmites communis straw on soil physicochemical properties and microbial respiration of the reclaimed lands in Chongming Dongtan, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(2):307-315.
- [25] Binu T, Bharat B S, Maan B R. Impact of *Partheniumhy sterophorus* L. invasion on plant species composition and soil properties of grassland communities in Nepal[J]. *Flora Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2011, 206(3):233-240.
- [26] Shann J R, Blum U. The uptake of ferulic and p-hydroxybenzoic acids by *Cucumis sativus*[J]. *Phytochemistry*, 1987, 26:2959-2964.
- [27] Foy C L, Dakshini K M M. *Pluchea lanceolata*: A noxious perennial weed [J]. *Weed Technol*, 1998, 12:190-193.
- [28] 徐 涛, 孔垂华, 胡 飞. 胜红蓼化感作用研究Ⅲ: 挥发油对不同营养水平下植物的化感作用[J]. 应用生态学报, 1999, 10(6):748-750.
- XU Tao, KONG Chui-hua, HU Fei. Allelopathy of *Ageratum conyzoides* Ⅲ: Allelopathic effects of volatile oil from *Ageratum* on plants under different nutrient levels[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(6):748-750.
- [29] Hall A B, Blum U, Fites R C. Stress modification of allelopathy in *Helianthus annuus* L. debrison seed germination[J]. *Am J Bot*, 1982, 69:776-783.
- [30] 熊 君, 林文雄, 周军建, 等. 不同供氮条件下水稻的化感抑草作用与资源竞争分析[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5):885-889.
- XIONG Jun, LIN Wen-xiong, ZHOU Jun-jian, et al. Allelopathy and resources competition of rice under different nitrogen supplies[J]. *Chinenses Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5):885-889.
- [31] Mwaja V N, Masiunas J B, Weston L A. Effects of fertility on biomass, phytotoxicity and allelochemical content of cereal rye[J]. *J Chem Ecol*, 1995, 21:81-96.
- [32] 李培栋, 王兴祥, 李奕林, 等. 连作花生土壤中酚酸类物质的检测及其对花生的化感作用[J]. 生态学报, 2010, 30(8):2128-2134.
- LI Pei-dong, WANG Xing-xiang, LI Yi-lin, et al. The contents of phenolic acids in continuous cropping peanut and their allelopathy[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8):2128-2134.
- [33] Jiang T H. Screening of P-efficient plant species for red soils in southern China and on the physiological mechanisms [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 1993.
- [34] 刘 枫, 赵正雄, 李忠环, 等. 不同前茬作物条件下烤烟氮磷钾养分平衡[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10):2622-2626.
- LIU Feng, ZHAO Zheng-xiong, LI Zhong-huan, et al. Nutrient balance between N, P, and K in flue-cured tobacco production under different preceding crops planting[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10):2622-2626.
- [35] 熊镇中, 刘标欣. 旱地红壤有机无机配施效应[J]. 福建农学院学报, 1992(2):90-93.
- XIONG Zhen-zhong, LIU Biao-xin. The effect of combined application of organic and inorganic fertilizers in arid red soil[J]. *Journal of Fujian Agricultural College*, 1992(2):90-93.
- [36] 王艳群, 彭正萍, 薛世川, 等. 过量施肥对设施农田土壤生态环境的影响[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊):81-84.
- WANG Yan-qun, PENG Zheng-ping, XUE Shi-chuan, et al. Effect of excessive fertilization on soil ecological environment in the facility farmland[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(Suppl):81-84.
- [37] 李凤博, 牛永志, 刘金根, 等. 秸秆填埋对水稻土表层水三氮动态的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3):513-517.
- LI Feng-bo, NIU Yong-zhi, LIU Jin-gen, et al. Effect of straw return with landfill on nitrogen dynamics in surface water of paddy soil: An outdoor pot experiment[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3):513-517.
- [38] 路文涛, 贾志宽, 高 飞, 等. 秸秆还田对宁南旱作农田土壤水分及作物生产力的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(1):93-99.
- LU Wen-tao, JIA Zhi-kuan, GAO Fei, et al. Effects of straw returning on soil water and crop productivity in the rainfed area of Southern Ningxia, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(1):93-99.