

腐熟秸秆替代化肥对冬小麦田节肢动物群落结构与小麦产量的影响

张默焱¹, 薛中俊¹, 吕得林¹, 周春晓², 巫厚长^{1*}

(1. 安徽农业大学资源与环境学院 合肥 230036; 2. 合肥市第三十二中学 合肥 230051)

摘要: 通过开展等氮条件下腐熟秸秆替代化肥定位试验, 研究不同施肥处理对冬小麦田节肢动物群落结构与小麦产量的影响, 以期为化肥减量施用和秸秆资源化利用提供理论依据。试验共设置 5 个处理: 单施化肥、腐熟秸秆替代 20%、50%、80% 和 100% 化肥。结果显示: 随着腐熟秸秆替代化肥量的增多, 害虫数量呈现减少趋势, 天敌数量呈现先增后减的趋势。以腐熟秸秆替代 50% 化肥为节点, 除了害虫优势集中性指数, 节肢动物群落各主要特征值均随着替代量的增多呈现先增后减的趋势。当腐熟秸秆替代化肥达 50% 及以上时, 小麦各产量指标均显著低于单施化肥。结论表明腐熟秸秆替代化肥比例宜控制在 50% 以下。

关键词: 冬小麦; 腐熟秸秆; 节肢动物群落; 天敌; 害虫; 产量

中图分类号: S141.4; S512.11

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2021)05-0713-07

Effects of fermented straw substituting fertilizer on arthropod community structure and grain yield in winter wheat field

ZHANG Mohan¹, XUE Zhongjun¹, LYU Delin¹, ZHOU Chunxiao², WU Houzhang¹

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. The Thirty-second High School of Hefei City, Hefei 230051)

Abstract: In order to reduce fertilizer application and utilize straw resources, the research on effects of fermented straw substituting fertilizer in equal nitrogen level on arthropod community structure and grain yield in winter wheat field had been carried out. Five treatments of different proportions of fermented straw substituting fertilizer were designed: conventional fertilization, fermented straw substituting fertilizers by 20%, 50%, 80% and 100%, respectively. The result showed that: With the increase of the amount of fermented straw substituting fertilizers, pests number showed a decrease trend, natural enemies number did a increase at first and then a decrease. When the fermented straw substituting 50% fertilizers and above, in addition to the pests dominant concentration index, arthropod community main characteristic value increased at first and then decreased, but the wheat yield index was significantly lower than conventional fertilization. Therefore, the proportion of fermented straw substituting fertilizer is suitable for being controlled lower than 50%.

Key words: winter wheat; fermented straw; arthropod community; natural enemies; pests; grain yield

化肥长期过量施用会导致农田生态环境失衡^[1], 因此, 有机肥以合理比例替代化肥配施成为时下国内外研究的热点。秸秆资源作为构建农业循环经济系统种植业与养殖业间的重要纽带, 对于实现农业

资源循环利用和可持续发展有重要意义^[2]。田间农作物秸秆采用好氧堆肥工艺腐熟后含有大量腐殖质和营养物质, 且不带致病微生物, 可以作为有机肥替代化肥还田^[3]。

收稿日期: 2021-01-11

基金项目: 安徽省农业生态环保和质量安全产业技术体系专项资金(皖农科[2016]18号), 金寨县人民政府-安徽农业大学现代农业产学研联盟专项基金(金政秘[2014]47号)和国家科技支撑计划(2012BAK17B00, 2012BAD15B03)共同资助。

作者简介: 张默焱, 硕士研究生。E-mail: 1428731383@qq.com

* 通信作者: 巫厚长, 博士, 教授。E-mail: houzhangw@ahau.edu.cn

节肢动物在农田生态环境中具有影响生态系统的初级生产、养分循环等多种重要功能,可以指示各种环境变化^[4],农作物产量则直接反应氮素在其体内的积累程度^[5]。通过观察田间节肢动物群落结构和农作物产量的变化可以评价腐熟秸秆替代化肥后产生的影响。有报道指出,基施腐熟秸秆有助于提高天敌个体数,从而可持续地控制害虫个体数,用腐熟秸秆部分或全部替代化肥可以抑制害虫数量^[6-7];施用有机肥能提高蜘蛛、捕食性天敌和寄生性天敌物种的多样性与均匀度指数,且能显著降低害虫种群的危害^[8]。有调查结果显示有机种植较常规种植能够维持更高的生物多样性、多度甚至丰度^[9],且不同种植模式的多样化镶嵌有可能构建更加复杂和完善的节肢动物群落结构^[10]。此外,诸多研究证明,有机肥以合理比例替代化肥可以保证农作物的稳产甚至增产^[11-15]。

有机肥按科学比例替代化肥不仅减少化肥施用,而且能维持原本的氮素基础,这对农业生产有重要意义。因此,本研究基于田间小区定位试验第3年的背景,探讨等氮条件下腐熟秸秆按不同比例替代化肥对冬小麦(*Triticum aestivum*)田节肢动物群落结构与小麦产量的影响,以期为腐熟秸秆科学替代化肥还田提供合理依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本概况

试验小区位于安徽省合肥市安徽农业大学实验农场夏玉米(*Zea mays*)-冬小麦轮作田(117°14'E,

31°52'N),地处长江中下游地区安徽中部,属于亚热带季风性湿润气候,年平均降水量940~1000 mm,年平均气温15.7℃,土壤类型黄褐土。土壤0~20 cm基本理化性质为有机质12.5 g·kg⁻¹、全氮1.03 g·kg⁻¹、碱解氮70.17 mg·kg⁻¹、有效磷23.46 mg·kg⁻¹、速效磷213.26 mg·kg⁻¹、pH 7.5。前茬作物为玉米,小区面积大约90 m²,本次为定位试验第3年。

1.2 试验材料与试验设计

供试小麦品种为“镇麦8号”。供试腐熟秸秆含N 2%, P₂O₅ 1.6%, K₂O 1.4%,有机质含量≥45%, pH 7.45(好氧堆肥腐熟的小麦秸秆)。供试化肥:尿素含N 46%(中盐安徽红四方股份有限公司),复合肥含N 15%, P₂O₅ 15%, K₂O 15%(中盐安徽红四方股份有限公司)。

采用单因素试验,共设置5个处理:单施化肥、等氮条件下腐熟秸秆替代20%化肥、等氮条件下腐熟秸秆替代50%化肥、等氮条件下腐熟秸秆替代80%化肥和等氮条件下腐熟秸秆替代100%化肥,每个处理6次重复,试验采用随机区组设计,共计30个小区,每个小区3 m²(3 m×1 m),共90 m²。小麦施肥按N 225 kg·hm⁻², P₂O₅ 105 kg·hm⁻², K₂O 105 kg·hm⁻²施肥,各处理具体施肥量见表1。小麦于2017年11月10日播种,播种量为120 kg·hm⁻²,采用行播,行距20 cm,每个处理2行。所有处理的有机肥以及化肥均于冬小麦播种前一次性基施,作物生长期不施用除草剂与杀虫剂。小区间用水泥埂隔离,防止串水串肥。田间管理按常规,于2018年5月25日收获时测产。

表1 不同处理的腐熟秸秆与化肥施用量

Table 1 Application amounts of fermented straw and fertilizers in different treatments

处理	腐熟秸秆/(kg·hm ⁻²)		化肥/(kg·hm ⁻²)		
	总施用量	N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
单施化肥	0	—	225	105	105
20%秸秆	2 250	45	180	69	73.5
50%秸秆	5 625	112.5	112.5	15	26.25
80%秸秆	9 000	180	45	0	0
100%秸秆	11 250	225	0	0	0

注:腐熟秸秆自身含有氮磷钾肥,为达到各处理施肥环境条件统一,需保持腐熟秸秆氮磷钾肥含量与化肥氮磷钾肥含量之和相等,因此各处理化肥氮磷钾肥含量随着腐熟秸秆替代量的增加而减少。

1.3 取样与调查方法

节肢动物群落调查于2018年4—5月进行(小麦抽穗期至灌浆期),每7 d调查1次,共调查5次,每个小区采取平行跳跃法抽取5株小麦,采用目测法系统调查每株小麦及其周围0.25 m²地表所有节肢动物种类和个体数量。将麦田节肢动物划分为3

个功能团(天敌类、害虫类和中性昆虫类^[16]),分析各功能团优势度。5月底小麦成熟,收割后脱粒风干,经过室内考种测得不同处理穗数、穗粒数、千粒重以及产量。

1.4 数据分析

采用群落相对丰度(P_i)、Simpson多样性指数

(D')、Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J) 和 Simpson 优势集中性指数 (C) 测定节肢动物群落特征。计算公式如下^[17-21]:

$$P_i = N_i / N$$

$$D' = 1 - \sum P_i^2$$

$$H' = -\sum (P_i \ln P_i)$$

$$J = H' / \ln S$$

$$C = \sum P_i^2$$

式中, N_i 为群落中第 i 个物种的个体数; N 为群落中所有物种的个体总数; P_i 为第 i 个物种的个体数与群落内各物种个体总数的比例; S 为群落中物种总数; i 为 $1 \rightarrow S$ 。试验所得的数据结果采用 Excel 2007 和 SPSS 22.0 进行统计分析, 差异显著性测验采用 Duncan 法。

利用物种数 (S_s) 和个体数 (S_i) 之比以及天敌物种数 (S_n) 和害虫物种数 (S_p) 之比来表示群落相对稳定程度。 S_s/S_i 值主要反映种类间数量上的制

约作用, S_n/S_p 值主要反映群落内部食物网络关系的复杂程度和相互制约程度^[22-23]。

2 结果与分析

2.1 冬小麦田节肢动物群落种类和数量

调查发现冬小麦田共有 30 种节肢动物, 3 457 头, 分属 13 目 26 科。其中天敌 7 目 13 科, 常见的有黑带食蚜蝇 (*Epistrophe balteata*)、七星瓢虫 (*Coccinella septempunctata*)、龟纹瓢虫 (*Propylaea japonica*)、异色瓢虫 (*Leis axyridis*)、拟环纹狼蛛 (*Lycosa pseudoannulata*) 和姬蜂 (*Ichneumonidae*); 害虫 6 目 10 科, 常见的有麦二叉蚜 (*Schizaphis graminum*)、稻棘缘蝽 (*Cletus punctiger Dallas*)、油葫芦 (*Gryllus testaceus*); 中性昆虫 3 目 3 科, 常见的有中国蜜蜂 (*Apis cerana*) 和露螽 (*Phaneroptera fulcata*) (表 2)。

表 2 冬小麦田节肢动物群落组成及丰度

Table 2 Arthropod community composition and abundance in winter wheat field

功能团	目	科	种类	数量	相对丰度	
天敌类	双翅目	食蚜蝇科	黑带食蚜蝇 <i>Epistrophe balteata</i>	91	0.026 3	
			刀螳 <i>Tenodera capitata</i> Saussure	10	0.002 9	
	脉翅目	草蛉科	中华草蛉 <i>Chrysopa sinica</i> Tjeder	12	0.003 5	
			豆娘科	豆娘 <i>Odonata caenagriidae</i>	7	0.002 0
	蜻蜓目	蜻蜓科	蜻蜓 <i>Anax parthenope</i> Selys	2	0.000 6	
			姬蜂科	姬蜂 <i>Ichneumonidae</i> sp.	3	0.000 9
	鞘翅目	隐翅甲科	麦蚜茧蜂 <i>Ephedrus plagiator</i> Nees	17	0.004 9	
			瓢虫科	青翅蚁形隐翅甲 <i>Paederus fuscipes</i> Curtis	3	0.000 9
	害虫类	鞘翅目	瓢虫科	七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i> L.	86	0.024 9
				龟纹瓢虫 <i>Propylaea japonica</i> Thunberg	62	0.017 9
		蜘蛛目	蟹蛛科	异色瓢虫 <i>Leis axyridis</i>	46	0.013 3
				三突花蛛 <i>Misumenops tricuspidatus</i>	3	0.000 9
				拟环纹狼蛛 <i>Lycosa pseudoannulata</i>	58	0.016 8
				大腹圆蛛 <i>Araneus ventricosus</i> L.koch	37	0.010 7
				八点球腹蛛 <i>Theridion octomagu</i> Latum	5	0.001 4
				平行绿蟹蛛 <i>Oxytate parallela</i>	4	0.001 2
				叉斑巨齿蛛 <i>Enoplognatha japonica</i>	3	0.000 9
麦二叉蚜 <i>Schizaphis graminum</i> (Rond.)				2 656	0.768 3	
同翅目	蚜科	稻蓟马 <i>Chloethrips oryzae</i> (Vvil)	9	0.002 6		
缨翅目	蓟马科	菜粉蝶 <i>Pieris rapae</i> Linnaeus	4	0.001 2		
鳞翅目	粉蝶科	小猿叶甲 <i>Phaedon brassicae</i> Baly	16	0.004 6		
鞘翅目	叶甲科	油菜茎象甲 <i>Ceutorhynchus quadridens</i> (Panz.)	2	0.000 6		
		直翅目	蟋蟀科	油葫芦 <i>Gryllus testaceus</i> Walker	18	0.005 2
		半翅目	蝗科	蚱蜢 <i>Acrida chinensis</i> (Westwood)	7	0.002 0
				缘蝽科	稻棘缘蝽 <i>Cletus punctiger Dallas</i>	228
半翅目	蝽科	二星蝽 <i>Eysacorid guttiger</i> (Thunb.)	27	0.007 8		
		豆双痣圆龟蝽 <i>Coptosoma biguttula</i> Motsch.	4	0.001 2		
		中性昆虫类	直翅目	露螽 <i>Phaneroptera fulcata</i> Scopoli	4	0.001 2
膜翅目	蜜蜂科	中国蜜蜂 <i>Apis cerana</i> Fabr.	29	0.008 4		
		蜉蝣目	蜉蝣科	短丝蜉 <i>Siphonurus</i> sp.	1	0.000 3

注: 数据为 30 个小区 (30×3 m²) 的调查结果。

表 3 各施肥处理麦田节肢动物群落组成
Table 3 Composition of arthropod communities in different treatments

功能团	目		单施化肥	20%秸秆	50%秸秆	80%秸秆	100%秸秆
天敌类	双翅目	物种数	1	1	1	1	1
		个体数	22	13	38	5	13
	螳螂目	物种数	0	1	1	1	0
		个体数	0	6	3	1	0
	脉翅目	物种数	0	0	1	1	1
		个体数	0	0	9	1	2
	蜻蜓目	物种数	1	2	2	1	0
		个体数	2	3	3	1	0
	膜翅目	物种数	2	1	2	1	1
		个体数	5	5	6	2	2
	鞘翅目	物种数	3	4	4	3	3
		个体数	39	55	49	25	29
	蜘蛛目	物种数	4	3	3	3	3
		个体数	15	29	31	29	6
合计	物种数	11	12	14	11	9	
	个体数	83	111	139	64	52	
害虫类	同翅目	物种数	1	1	1	1	1
		个体数	865	721	369	436	265
	缨翅目	物种数	1	1	1	0	1
		个体数	3	3	2	0	1
	鳞翅目	物种数	1	1	1	0	0
		个体数	1	1	2	0	0
	鞘翅目	物种数	2	1	1	1	0
		个体数	10	2	5	1	0
	直翅目	物种数	2	2	2	1	1
		个体数	9	6	2	3	8
	半翅目	物种数	2	2	2	2	3
		个体数	54	44	58	20	83
	合计	物种数	9	8	8	5	6
		个体数	942	777	438	460	357
中性昆虫类	直翅目	物种数	1	0	0	0	1
		个体数	3	0	0	0	1
	膜翅目	物种数	1	1	1	0	1
		个体数	5	3	17	0	4
	蜉蝣目	物种数	1	0	0	0	0
		个体数	1	0	0	0	0
合计	物种数	3	1	1	0	2	
	个体数	9	3	17	0	5	

注：数据为 30 个小区 (30×3 m²) 的调查结果。

2.2 腐熟秸秆替代化肥对冬小麦田节肢动物组成和数量的影响

2.2.1 对节肢动物组成和数量的影响

麦田节肢动物群落中鞘翅目、双翅目、同翅目、半翅目和蜘蛛目发生量较大，构成了群落主要成分。天敌类功能团中双翅目食蚜蝇科和鞘翅目瓢虫科占绝对优势；害虫类功能团中同翅目蚜科和半翅目缘蝽科占绝对优势（表 2）。害虫类功能团的个体数明显高于天敌类，物种数明显少于天敌类。5 个处理中单施化肥害虫发生量大，腐熟秸秆替代 50% 化肥天敌发生量大（表 3）。通过分析不同种类天敌害虫的物种数个

体数，确定麦田优势种天敌为黑带食蚜蝇和七星瓢虫，目标害虫为麦二叉蚜和稻棘缘蝽。

腐熟秸秆替代 50%、80% 和 100% 化肥害虫功能团的个体数显著低于单施化肥，替代 20% 化肥与单施化肥差异不显著；替代 80% 和 100% 化肥物种数均显著低于单施化肥，替代 20% 和 50% 化肥未达到显著性差异。替代 50% 化肥捕食性天敌功能团的物种数和个体数均显著高于单施化肥，且与替代 20% 化肥相比不显著。替代 50% 化肥中性昆虫功能团的个体数显著高于其他处理。5 个施肥处理的麦田节肢动物总群落物种数与个体数差异不显著（表 4）。

表 4 各施肥处理麦田节肢动物种类与个体数量组成
Table 4 Arthropod species and individual number in different treatments

功能团		单施化肥	20%秸秆	50%秸秆	80%秸秆	100%秸秆
天敌类	物种数	3.00±0.31 ^b	4.00±0.23 ^a	4.40±0.20 ^a	2.40±0.12 ^b	2.13±0.53 ^b
	个体数	5.53±0.82 ^{bc}	7.47±1.35 ^{ab}	9.27±0.29 ^a	4.27±0.18 ^c	3.47±1.12 ^c
害虫类	物种数	3.13±0.18 ^a	2.47±0.27 ^{ab}	2.47±0.18 ^{ab}	1.80±0.20 ^b	2.13±0.29 ^b
	个体数	62.80±3.14 ^a	51.73±7.99 ^a	29.20±2.53 ^b	30.67±4.60 ^b	23.80±3.44 ^b
中性昆虫类	物种数	0.33±0.13 ^{ab}	0.20±0.11 ^b	0.60±0.12 ^a	0.00±0.00 ^b	0.27±0.07 ^b
	个体数	0.60±0.40 ^b	0.20±0.12 ^b	1.13±0.17 ^a	0.00±0.00 ^b	0.33±0.06 ^b
总群落	物种数	6.46±0.47 ^a	6.67±0.56 ^a	7.47±0.55 ^a	4.20±0.37 ^a	4.53±0.36 ^a
	个体数	68.93±10.02 ^a	59.40±8.38 ^a	39.60±4.23 ^a	34.94±4.98 ^a	27.60±3.82 ^a

注: 数据为平均每个小区 (3 m²) 的调查结果。同行同指标数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 5 各施肥处理麦田目标害虫、优势种天敌的个体数量组成
Table 5 The individual number of target pests and dominant natural enemies in different treatments

处理	目标害虫		优势种天敌	
	麦二叉蚜	稻棘缘蝽	黑带食蚜蝇	七星瓢虫
单施化肥	57.67±2.47 ^a	2.27±0.35 ^{bc}	1.47±0.18 ^b	1.73±0.18 ^a
20%秸秆	48.07±8.45 ^a	2.67±0.57 ^{bc}	0.73±0.13 ^{bc}	0.93±0.27 ^b
50%秸秆	24.60±2.80 ^b	3.73±0.35 ^b	2.53±0.24 ^a	1.47±0.18 ^{ab}
80%秸秆	29.07±4.59 ^b	1.13±0.27 ^c	0.33±0.07 ^c	0.80±0.12 ^b
100%秸秆	17.67±2.64 ^b	5.40±0.76 ^a	0.87±0.37 ^{bc}	0.80±0.31 ^b

注: 数据为平均每个小区 (3 m²) 的调查结果。同列数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

表 6 各施肥处理对麦田节肢动物群落主要特征值的影响
Table 6 Effects of different treatments on arthropod communities main characteristic values

处理	多样性指数		均匀度指数	优势集中性指数		相对稳定性	
	H'	D'		害虫类	天敌类	S_n/S_i	S_n/S_p
单施化肥	0.860±0.04 ^b	0.297±0.02 ^b	0.253±0.003 ^b	0.701±0.05 ^a	0.001±0.01 ^b	0.093 8±0.003 4 ^c	0.964 3±0.114 8 ^b
20%秸秆	0.954±0.05 ^b	0.341±0.01 ^b	0.280±0.006 ^b	0.657±0.06 ^{ab}	0.002±0.02 ^b	0.116 4±0.014 8 ^{bc}	1.656 6±0.192 7 ^a
50%秸秆	1.581±0.03 ^a	0.596±0.01 ^a	0.465±0.005 ^a	0.395±0.01 ^b	0.008±0.02 ^a	0.189 3±0.008 1 ^a	1.792 6±0.080 1 ^a
80%秸秆	0.842±0.01 ^b	0.304±0.03 ^b	0.248±0.001 ^b	0.693±0.03 ^{ab}	0.002±0.01 ^b	0.126 2±0.024 9 ^{bc}	1.357 1±0.111 0 ^{ab}
100%秸秆	1.279±0.02 ^{ab}	0.549±0.05 ^a	0.376±0.002 ^{ab}	0.448±0.02 ^b	0.003±0.03 ^b	0.166 7±0.027 6 ^{ab}	0.986 0±0.145 5 ^b

表 7 各施肥处理麦田产量指标
Table 7 Wheat grain yield indexes in different treatments

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	穗数	穗粒数	千粒重/g
单施化肥	2 557.17±43.03 ^a	409.33±10.48 ^a	41.25±1.25 ^a	48.67±0.35 ^a
20%秸秆	2 369.67±22.33 ^{ab}	376.33±5.36 ^{ab}	40.00±4.97 ^{ab}	48.17±0.44 ^{ab}
50%秸秆	2 158.70±29.88 ^c	332.33±23.59 ^b	38.50±5.78 ^b	48.00±0.55 ^b
80%秸秆	2 113.40±52.14 ^{cd}	299.00±3.46 ^b	33.25±2.10 ^b	47.07±0.43 ^b
100%秸秆	2 005.03±2.92 ^d	306.67±5.78 ^b	31.25±2.02 ^b	46.93±0.54 ^b

2.2.2 对目标害虫和优势种天敌组成和数量的影响

腐熟秸秆替代 50%、80%和 100%化肥的麦二叉蚜个体数显著低于单施化肥; 替代 100%化肥的稻棘缘蝽个体数显著高于其他处理。替代 50%化肥的黑带食蚜蝇个体数显著高于其他处理; 替代 20%、80%和 100%化肥的七星瓢虫个体数显著低于单施化肥, 替代 50%化肥与单施化肥间未达到显著效果(表 5)。

2.3 腐熟秸秆替代化肥对冬小麦田节肢动物群落特征的影响

腐熟秸秆替代 50%化肥的 Shannon-Wiener 多样

性指数 (H'), Simpson 多样性指数 (D') 和 Pielou 均匀度指数 (J) 均显著高于单施化肥, 替代 20%和 80%化肥与单施化肥差异不显著。替代 100%化肥的 Simpson 多样性指数显著高于单施化肥, Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数与单施化肥差异不显著。

腐熟秸秆替代 50%和 100%化肥的害虫类群优势集中性 (C) 显著低于单施化肥, 表明优势种害虫麦二叉蚜的个体数量受到显著控制。替代 50%化肥的天敌类群优势集中性显著高于单施化肥, 表明

优势种天敌的个体数量得到提高。

腐熟秸秆替代 50% 化肥的 S_n/S_p 值显著高于单施化肥、替代 20% 和 80% 化肥，且与单施化肥差异更显著，替代 20%、80% 和 100% 化肥之间差异不显著，表明腐熟秸秆替代 50% 化肥显著抑制了目标害虫蚜虫和稻棘缘蝽种群数量的增长，一定程度上对节肢动物群落稳定性起促进作用。腐熟秸秆替代 20% 和 50% 化肥的 S_n/S_p 值显著高于单施化肥与替代 100% 化肥，表明腐熟秸秆替代化肥比例在 50% 以内能够提高群落内部食物网络关系的复杂程度和相互制约程度（表 6）。

2.4 冬小麦产量

各腐熟秸秆替代化肥处理的产量均显著低于单施化肥，产量由高到低依次是：单施化肥 > 20% 秸秆 > 50% 秸秆 > 80% 秸秆 > 100% 秸秆，随着腐熟秸秆替代化肥量的增加，小麦外观上表现为植株逐渐变矮，叶片逐渐变小，麦穗逐渐不饱满。表明腐熟秸秆替代化肥量越多，越不利于小麦稳产。腐熟秸秆替代 50%、80% 和 100% 化肥的穗数、穗粒数、千粒重均显著低于单施化肥，产量分别比单施化肥减少 15.58%、17.35% 和 21.59%，替代 20% 化肥的穗数、穗粒数和千粒重与单施化肥差异性不显著（表 7）。

3 讨论与结论

综合定位试验第 3 年的结果分析，腐熟秸秆替代化肥比例超过 50% 显著影响害虫物种数和个体数，但同时也显著影响了冬小麦的产量指标。腐熟秸秆等氮替代化肥能对小麦氮素的吸收和土壤氮素的利用产生影响^[24]，由于定位试验年限尚短，腐熟秸秆养分分解周期长，肥效发挥慢，小麦养分吸收存在滞后。从腐熟秸秆替代化肥对冬小麦的产量影响来看，腐熟秸秆替代化肥比例宜控制在 50% 以下，这与上一年定位试验的研究结论^[25]相一致。

与单施化肥相比，腐熟秸秆替代 20% 化肥对害虫个体数量影响不显著，替代 80% 和 100% 化肥对天敌数量影响不显著，随着替代量的增多，害虫数量呈现减少趋势，天敌数量呈现先增后减的趋势。蚜虫喜食氮素营养充足，叶片宽大且嫩薄的植株，从线性变化看，小麦植株生长状态随腐熟秸秆替代化肥量的增多逐渐变差，当替代比例超过 50% 以后，化肥氮素比例下降，小麦叶片氮素成分变少，质量下降，间接抑制了蚜虫的个体数量，天敌食物来源减少，数量相应下降。

以腐熟秸秆替代 50% 化肥为节点，除了害虫优势集中性指数，节肢动物群落各主要特征值均随着

替代量的增多呈现先增后减的趋势，当麦田生态环境与施肥之间达到平衡点时，田间节肢动物群落结构也会随之达到一个理想的平衡点。有研究指出，在农田生境中，可以通过调整施肥结构间接增加田间生物多样性，从而提高生态系统稳定性，达到控制害虫的目的^[26]。生境复杂度的上升，不仅为中性昆虫提供了良好的生存环境，也为部分天敌提供了替代食料，提高田间天敌优势集中性^[27]，间接抑制了麦田害虫个体数。与常规施肥相比，腐熟秸秆替代化肥比例在 50% 以下时整体效果最佳，既能减少化肥施用，又能保持节肢动物群落稳定，抑制蚜虫。这种“以虫治虫”的生物防治模式避免了农药的喷洒和害虫抗药性的产生，减少了环境污染，对于害虫防控、土壤养分结构改善以及农田生态系统稳定有重要意义。

腐熟秸秆替代化肥达 50% 及以上时，小麦各产量指标均显著低于单施化肥，替代 50% 化肥以下时小麦的产量指标已经接近对照，但总体产量仍有差距，与其他因素相比，养分依旧是影响小麦产量的关键因素。本试验作为定位试验第 3 年，腐熟秸秆替代化肥对土壤的调节和作物提产效果尚不显著，需连续几年，甚至更长时间尺度的观察研究。

腐熟秸秆替代 100% 化肥的稻棘缘蝽个体数显著增多，可能是由于有机肥对不同种类害虫的影响有差异^[28]，需针对施肥与物种关系进行专门验证。此外，优势种天敌黑带食蚜蝇和七星瓢虫个体数量在不同施肥处理下的变化机理需要深入研究。目前，针对等氮条件下腐熟秸秆替代化肥对农田生态系统影响的课题，涉及节肢动物群落的较少，关于施肥对田间节肢动物群落结构的影响值得进一步关注。

参考文献：

- [1] 刘莉, 刘静. 基于种植结构调整视角的化肥减施对策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 17-25.
- [2] VAHID AFAGH H, SAADATMAND S, RIAHI H, et al. Influence of spent mushroom compost (SMC) as an organic fertilizer on nutrient, growth, yield, and essential oil composition of German chamomile (*Matricaria recutita* L.)[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2019, 50(5): 538-548.
- [3] 黄金枝, 胡桂萍, 俞燕芳, 等. 微生物在农业废弃物堆肥应用中的研究进展[J]. 广东农业科学, 2019, 46(1): 64-70.
- [4] WEILHOFER C L, WILLIAMS D, NGUYEN I, et al. The effects of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) on wetland habitat and arthropod community composition in an urban freshwater wetland[J]. Wetl Ecol Manag,

- 2017, 25(2): 159-175.
- [5] 杨昉, 崔超, 马广全, 等. 有机肥氮替代化肥氮对河套灌区春玉米生长发育、氮素效率及产量的影响[J]. 河南农业科学, 2020, 49(2): 9-16.
- [6] 杨琦, 张本凯, 姚玉桂, 等. 施用沼肥对茄子田节肢动物群落结构与茄子产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 42-46.
- [7] 丁仁杰, 张本凯, 姚玉桂, 等. 施用沼肥对番茄田节肢动物群落结构及番茄产量的影响[J]. 植物保护学报, 2010, 37(5): 403-407.
- [8] 钟平生, 梁广文, 曾玲. 有机肥对稻飞虱种群及其天敌的影响[J]. 华东昆虫学报, 2005, 14(2): 136-140.
- [9] 韩印, 戴飘飘, 李想, 等. 华北平原有机农业对夏季农田节肢动物多样性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(5): 697-703.
- [10] MADER V, DIEHL E, FIEDLER D, et al. Trade-offs in arthropod conservation between productive and non-productive agri-environmental schemes along a landscape complexity gradient[J]. *Insect Conserv Divers*, 2017, 10(3): 236-247.
- [11] 赵军, 李勇, 冉炜, 等. 有机肥替代部分化肥对稻麦轮作系统产量及土壤微生物区系的影响[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(4): 594-602.
- [12] YANG Q L, LIU P, DONG S T, et al. Effects of fertilizer type and rate on summer maize grain yield and ammonia volatilization loss in Northern China[J]. *J Soils Sediments*, 2019, 19(5): 2200-2211.
- [13] 郑信建. 有机无机肥配施对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(17): 57-59.
- [14] 谢军, 赵亚南, 陈轩敬, 等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3934-3943.
- [15] 李占, 丁娜, 郭立月, 等. 有机肥和化肥不同比例配施对冬小麦-夏玉米生长、产量和品质的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(7): 71-77, 82.
- [16] 刘万学, 万方浩, 郭建英. 转 Bt 基因棉田节肢动物群落营养层及优势功能团的组成与变化[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 729-735.
- [17] 巫厚长, 程遐年, 魏重生, 等. 吡虫啉对烟田节肢动物群落的影响研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 95-98.
- [18] 庞雄飞, 尤民生. 昆虫群落生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [19] MCNAUGHTON S J. Diversity and stability of ecological communities: a comment on the role of empiricism in ecology[J]. *Am Nat*, 1977, 111(979): 515-525.
- [20] MCNAUGHTON S J. Stability and diversity in grassland communities (reply)[J]. *Nature*, 1979, 279(5711): 351-352.
- [21] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [22] 莫建初, 王问学, 廖飞勇, 等. 灭幼脲 III 号对马尾松林昆虫群落多样性的影响研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 511-515.
- [23] 高宝嘉, 张执中, 李镇宇. 封山育林对昆虫群落结构及多样性稳定性影响的研究[J]. 生态学报, 1992, 12(1): 1-7.
- [24] 刘红江, 蒋华伟, 孙国峰, 等. 有机-无机肥不同配施比例对水稻氮素吸收利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 61-66.
- [25] 吕得林, 张默烩, 周春晓, 等. 腐熟秸秆还田替代部分化肥对冬小麦生长、产量和氮素利用的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2019, 46(1): 117-123.
- [26] ALTIERI M A. Biodiversity and pest management in agroecosystems[M]. New York: Haworth Press, 1994.
- [27] 陈海风, 章超, 花日茂, 等. 生境和施肥对棉田节肢动物群落结构的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(9): 1127-1134.
- [28] 徐长宝, 刘喆, 王吉锋, 等. 桔园施用有机肥对主要害虫发生的影响[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(4): 958-962.