



“绿肥－玉米－大豆”轮作体系对作物产量及品质的影响

陈 念,范競升,刘思林,陆文字,连騰祥,牟英辉

(华南农业大学 农学院,广东 广州 510642)

摘 要:为了明确绿肥—玉米—大豆轮作体系对在华南地区的农业生产的影响,本研究将冬种绿肥作物(黑麦草、白三叶草)作为植生覆盖作物,以冬季杂草休闲为对照,配合不同的耕作方式(免耕、旋耕),探究绿肥—玉米—大豆的轮作体系对作物产量及品质的影响。结果表明:不同的覆盖作物和耕作方式对绿肥作物的养分和产量有一定的影响,同时免耕黑麦草较适合作为玉米的前茬,可有效抑制玉米种植期间杂草的发生。绿肥—玉米—大豆的轮作对于大豆的产量及品质无显著影响,但黑麦草作为冬季覆盖作物对增加夏大豆的产量具有一定的促进作用。

关键词:轮作体系;耕作方式;植生覆盖;产量;品质

Effects of Green Manure-Corn-Soybean Rotation System on the Crop Yield and Quality

CHEN Nian, FAN Jing-sheng, LIU Si-lin, LU Wen-yu, LIAN Teng-xiang, MU Ying-hui

(College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to clarify the impact of the green manure-corn-soybean rotation system on agricultural production in South China, we adopt winter green manure crops(rye grass, white clover) as living mulch cover crops, traditional weed controlling as a control and different cultivation methods (no-till, rotary tillage) on the experiment field. The results showed that different cover crops and tillage methods had certain effects on the nutrients and yield of green manure crops. At the same time, no-till-ryegrass was more suitable as a fore crop for corn, and it could effectively inhibits the growth of weeds during corn planting. The rotation of green manure-corn-soybean had no significant effects on the soybean yield and seed quality. However, as a winter cover crop, ryegrass had a certain promotion effect on increasing of the summer soybean yield.

Keywords: Rotary system; Tillage method; Living mulch; Yield; Quality

中国粮食作物与绿肥作物轮作具有悠久历史,南方地区绿肥作物多种植在冬闲田^[1]。为了培肥地力和改良土壤,将生长中的田间牧草翻扣于土壤中是土壤培肥常见的操作方式,这样的作物一般被称之为绿肥作物或覆盖作物(living mulch cover crop)^[2-3]。近几年国内外对覆盖作物的开发主要包括豆科绿肥和一些饲草作物,并开展了各种不同的覆盖作物与小麦、玉米、棉花、马铃薯的轮作体系研究^[4-6]。在一定条件下,覆盖作物能够抑制杂草生长,保护冬闲田地,促进田间的氮循环利用,改善农田生态环境^[7-11]。黑麦草是免耕玉米生产体系中适宜的越冬覆盖作物^[1, 12],白三叶草作为植被覆盖具有有效的覆盖作用,可以有效抑制杂草生长^[10]。同时,覆盖作物在一定条件下可以促进大豆^[13]和玉米的生长^[14-15]。

粤北山区有常年种植春玉米轮作夏大豆、春玉米套作夏大豆等栽培习惯,近年来由于季节性干旱严重,导致一些地方仅种植1季春玉米或1季夏大豆,没有充分利用土地资源和光热水资源,增效潜

力不大。同时,该地区亦有冬种绿肥(黑麦草)的传统。不同的绿肥还田处理对后茬作物具有不同的影响^[16],冬绿肥到春玉米的轮作体系可以带来良好的生态效益^[17-18],同时“绿肥—玉米—大豆”的轮作对田间作物的产量和品质有积极的影响^[19-21]。传统的绿肥应用方式是在春耕的时候将绿肥翻入土壤,这种方式有利于提高土壤肥力,改善土壤的理化特性。但是,由于土壤被翻动后土质疏松,不利于保墒,不利于控制杂草。本研究改变传统的冬种绿肥利用方式,引入“植生覆盖”技术——绿肥作物作为覆盖作物与主要作物同时种植的栽培技术,将绿肥作物的地上部粉碎还田但不进行翻耕作业,同时利用绿肥作物的再生性,在耕地表面保留绿肥作物覆盖状态下进行播种或移栽,使绿肥作物与主要作物(玉米)达到共生,利用已形成的覆盖层保墒和抑制杂草生长。研究旨在探索通过引入植生覆盖技术实现促进田间养地、减少化肥和除草剂的投入的同时保证大豆基础产量的新方法途径,研究结果将对于轮作制度的指导和推广有重要意义。

收稿日期:2020-01-10

基金项目:广东省自然科学基金(2018A0303130194)。

第一作者简介:陈念(1994-),男,硕士,主要从事南方多熟耕作制度研究。E-mail:1205966882@qq.com。

通讯作者:牟英辉(1975-),男,博士,副教授,主要从事南方多熟耕作制度及栽培技术研究。E-mail:youthymoon@scau.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 材料

供试绿肥(黑麦草、白三叶草)种子由御景园林绿化工程有限公司(江苏宿迁)提供,春玉米选用由杭州市良种引进公司引进培育的黑珍珠糯玉米,夏大豆选用由国家大豆改良中心广东分中心提供、由华南农业大学农学院选育的华夏16。

1.2 试验设计

试验于2018-2019年在广东省清远市英德市英红镇中间楼(24°35'98"N、113°41'55"E)进行。试验田肥力情况:土壤全氮含量为0.492 g·kg⁻¹,全磷含量为0.77 g·kg⁻¹,全钾含量为11.51 g·kg⁻¹,机质含量为48.16 g·kg⁻¹。

试验采用裂区设计,主区因素为耕作方式,分别是:免耕(no-tillage)和旋耕(rotary tillage);副区因素为绿肥作物,分别是:白三叶草(clover)、黑麦草(ryegrass)和杂草对照(weed control)。每个试验处理小区宽4 m,长7 m,4次重复,共24个小区。于2018年11月9日对试验田进行耕作方式处理,对旋耕地进行旋耕处理,对免耕地则不进行耕作,然后将白三叶草和黑麦草同时播种;2019年3月23日按单位面积(50 cm×50 cm)刈割绿肥作物,粉碎还田;2019年4月1日对试验田进行耕作方式处理,方法同上,然后进行玉米育苗移栽;为了调查作为植生覆盖利用的绿肥作物的生长状况,2019年6月14日第二次刈割绿肥作物。此时,作为植生覆盖利用的黑麦草已枯死,所收样品均为杂草;白三叶草仍然存活,所收样品为白三叶草与杂草混合样品。玉米于2019年6月30日收获,秸秆还田;2019年7月18日对试验田进行耕作方式处理,方法同上,然后播种大豆,2019年11月10日收获大豆。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 绿肥作物产量与品质 绿肥作物的产量调查共分两次开展,第一次收获于2019年3月23日实施,在每个小区随机取样,按单位面积(50 cm×50 cm)齐根收割绿肥作物/杂草,称量鲜重。第二次收获于2019年6月14日实施,在每个小区的玉米行间随机取样,按单位面积(50 cm×50 cm)齐根收割绿肥作物/杂草,称量鲜重。

品质测定:105℃杀青,80℃烘至恒重,称量干重并粉碎过筛,密封保存,用于植株的全氮、全磷和全钾含量的测定。全氮测定采用凯氏定氮法,全磷测定采用钼锑抗比色法,全钾测定采用火焰法^[22]。

1.3.2 玉米的产量和秸秆干物质质量 2019年6月24日在每个小区中间单行并记录玉米株数、穗数、整株重、单株穗重,小区测产并计算总产量,回收小区秸秆进行烘干并称量干物质重。

1.3.3 大豆的产量性状与品质 2019年11月9日在小区内按单位面积(2 m²)齐根收割大豆并自然晒干脱粒,清选称重测产。从每个小区随机取适量大豆放置烘箱60℃烘至恒重,粉碎过筛,密封保存,用于粗蛋白、粗脂肪、全磷和全钾含量的测定。全磷测定采用钼锑抗比色法,全钾测定采用火焰法,粗蛋白采用凯氏定氮法,粗脂肪采用索氏提取法^[22]。

1.4 数据分析

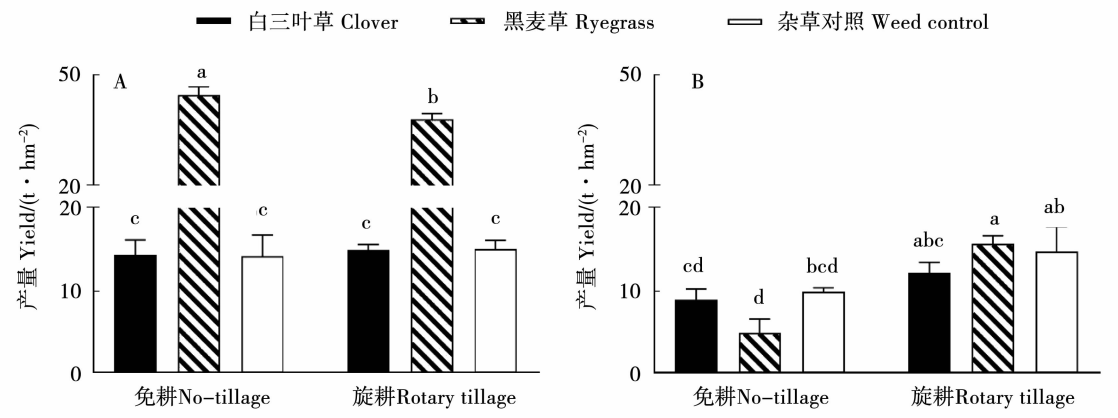
采用Excel 2016进行数据归类整理,用SPSS 24.0统计分析软件对产量和作物品质等所测定的相关指标进行方差分析(ANVOA),同时分析主区因素和副区因素以及两者的交互作用对各项指标的影响,并用Graphpad prism作图。

2 结果与分析

2.1 绿肥—玉米—大豆的轮作体系对绿肥作物产量和品质的影响

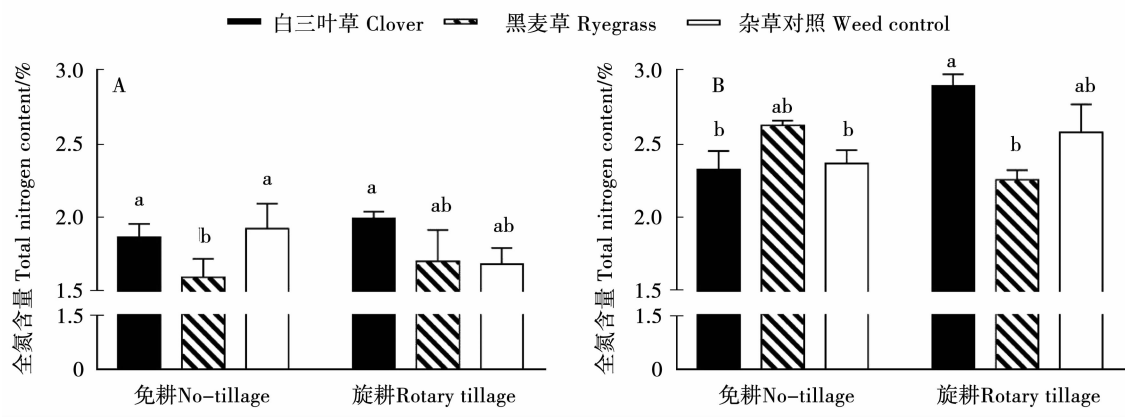
2.1.1 对绿肥作物产量的影响 在绿肥作物的第一个收获期,黑麦草的收获产量较高,且免耕的黑麦草产量达到44.67 t·hm⁻²,显著高于旋耕处理的黑麦草及其它处理下的覆盖作物产量(图1A)。在第二个收获期,田间收获的绿肥作物产量包括绿肥作物和杂草的总产量,旋耕处理覆盖作物的产量均显著高于免耕处理(图1B)。在第二个收获期覆盖作物的产量均低于第一个收获期覆盖作物的产量,其中免耕黑麦草处理的杂草产量出现大幅度降低,免耕处理下白三叶草(含杂草)的产量也显著降低,而旋耕处理的杂草和白三叶草(含杂草)产量变化不显著。

2.1.2 对绿肥作物氮磷钾含量的影响 对绿肥作物氮含量的影响:第一收获期免耕白三叶草、旋耕白三叶草和免耕杂草含氮量显著高于免耕黑麦草的含氮量,旋耕白三叶草含氮量高于免耕黑麦草,达0.4%(图2A)。第二收获期的旋耕白三叶草含氮量为2.9%,比其它处理都高,且显著高于免耕白三叶草、免耕杂草、旋耕杂草和旋耕黑麦草处理绿肥的含氮量(图2B)。第二个收获期的覆盖作物含氮量较第一个收获期均有明显增加,其中免耕黑麦草增加量达到1.02%(图2)。



A:第一收获期; B:第二收获期。不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。
A: The first harvest time; B: The second harvest time. Different lowercase indicate significant difference ($P < 0.05$). The same below.

图 1 不同耕作模式对覆盖作物产量的影响
Fig. 1 The effects of different rotation systems on the cover crop yield



A:第一收获期; B:第二收获期。
A: The first harvest time; B: The second harvest time.

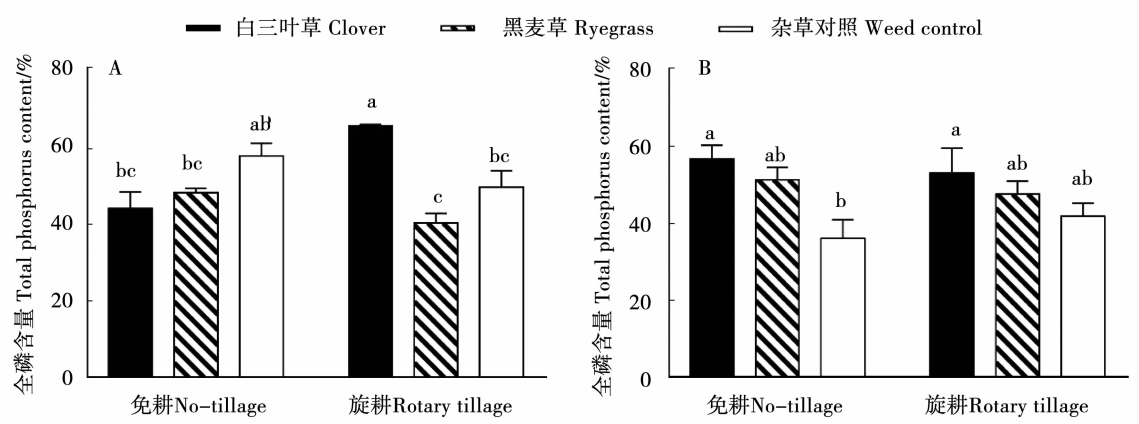
图 2 不同耕作模式对覆盖作物的氮含量的影响
Fig. 2 The effects of different rotation system on the nitrogen contents of the cover crops

对绿肥作物磷含量的影响:第一收获期的旋耕白三叶草含磷量为 $65.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于免耕黑麦草、旋耕黑麦草以及免耕白三叶草旋耕杂草的含磷量(图 3A)。第二收获期的免耕白三叶草含磷量和旋耕白三叶草含磷量显著高于免耕杂草含磷量,分别高 20.63 和 $16.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3B)。在不同的耕作方式下,覆盖作物的含磷量均表现为白三叶草 > 黑麦草 > 杂草对照。在第二个收获期,黑麦草和免耕白三叶草的含磷量相比第一个收获期有所增加,其中免耕白三叶草含磷量增加 $12.53 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,免耕黑麦草含磷量增加 $2.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,旋耕黑麦草含磷量增加 $7.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而杂草和旋耕白三叶草的含磷量均大幅下降,其中免耕杂草含磷量下降 $21.88 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,旋耕杂草含磷量下降 $8.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。而旋耕白三叶草含磷量下降 $12.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3)。

对绿肥作物钾含量的影响:第一收获期的免耕

黑麦草含钾量显著高于免耕白三叶草和旋耕白三叶草(图 4A),而第二收获期覆盖作物的含钾量均无显著差异(图 4B),第二个收获期的覆盖作物含钾量较第一个收获期均有明显下降,其中免耕黑麦草的含钾量下降 $3.23 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而旋耕杂草的含钾量下降 $1.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4)。

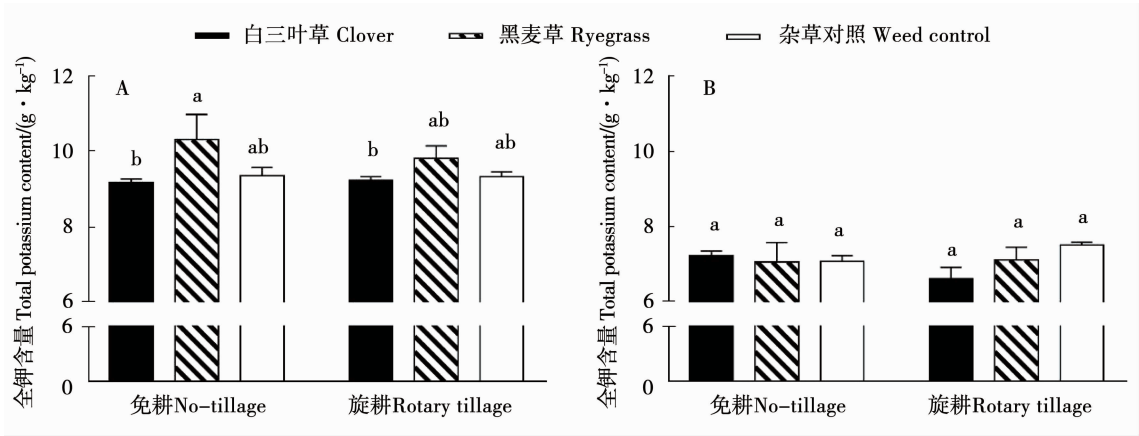
2.1.3 轮作体系对绿肥作物品质和产量影响的方差分析 耕作方式对覆盖作物的氮磷钾含量均无显著影响,但是对第二个收获期的覆盖作物的产量有极显著影响,可能原因是旋耕影响了覆盖作物的再生长。不同的覆盖作物处理对 2 个收获期的覆盖作物的全磷含量均有显著影响,同时对第一个收获期的覆盖作物产量也有极显著影响。覆盖作物与耕作方式的交互作用对 2 个收获期的覆盖作物的全氮含量均有极显著影响,同时对第二个收获期的覆盖作物产量也有显著影响(表 1)。



A: 第一收获期; B: 第二收获期。
A: The first harvest time; B: The second harvest time.

图3 不同耕作模式对覆盖作物磷含量的影响

Fig. 3 The effects of different rotation system on the phosphorus contents of the cover crops



A: 第一收获期; B: 第二收获期。
A: The first harvest time; B: The second harvest time.

图4 不同耕作模式对覆盖作物钾含量的影响

Fig. 4 The effects of different rotation system on the potassium contents of the cover crops

表1 覆盖作物品质和产量的单变量方差分析表

Table 1 The results of ANOVA for the quality and yield of the cover crops

覆盖作物 Cover crop	全氮 Total nitrogen		全磷 Total phosphorus		全钾 Total potassium		产量 Yield	
	第一收获期 The first harvest time	第二收获期 The second harvest time	第一收获期 The first harvest time	第二收获期 The second harvest time	第一收获期 The first harvest time	第二收获期 The second harvest time	第一收获期 The first harvest time	第二收获期 The second harvest time
绿肥作物 Cover crop	ns	ns	*	*	ns	ns	**	ns
耕作方式 Cultivation method	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
绿肥作物 × 耕作方式 Cover crop × Cultivation method	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	*

*: 不同处理在 $P < 0.05$ 水平存在显著差异; **: 不同处理在 $P < 0.01$ 水平存在极显著差异; ns: 差异不显著。
*: There was significant difference between treatments at $P < 0.05$ level; **: There was significant difference between treatments at $P < 0.01$ level; ns: There was no significant difference.

2.2 绿肥—玉米—大豆轮作体系对玉米农艺性状、产量和生物量的影响

2.2.1 对玉米农艺性状的影响 不同处理间的玉米株数和穗数均无显著差异,而旋耕白三叶草的整株重和旋耕杂草的整株重显著高于免耕白三叶草

的整株重,分别高 3.38 和 3.33 kg。同时旋耕白三叶草的玉米单株穗重为 160.11 g,免耕黑麦草的玉米单株穗重为 142.04 g,均显著高于免耕白三叶草和免耕杂草的单株穗重,免耕杂草的单株穗重与旋耕白三叶草的单株穗重相差 71.8 g(表 2)。

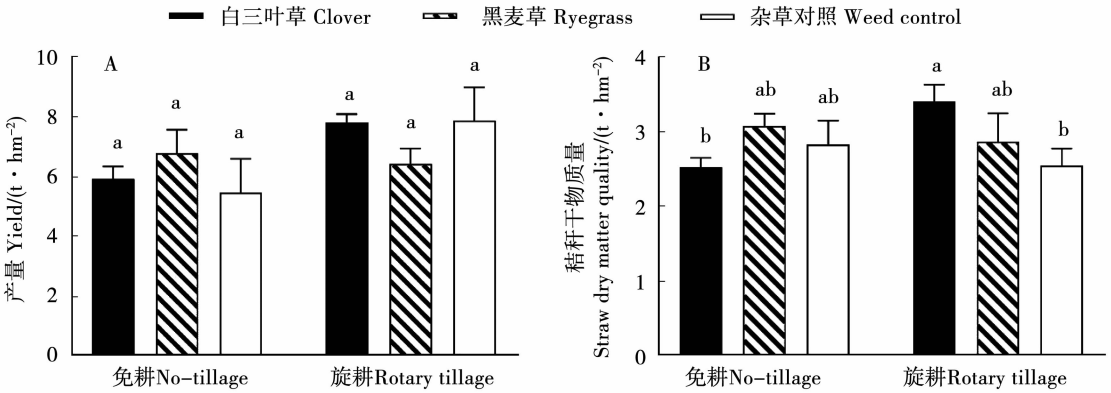
表 2 玉米的农艺性状与产量
Table 2 Agronomic traits and yield of corn

耕作方式 Cultivation method	覆盖作物 Cover crop	株数 Number	穗数 Number of spikes	整株重 Whole plant weight /kg	单株穗重 Ear weight per plant /g
免耕 No-till	白三叶草	27.3 ± 1.4 a	23.3 ± 1.8 a	5.4 ± 0.6 b	119.4 ± 6.2 bc
旋耕 Rotary tillage	白三叶草	25.5 ± 2.0 a	23.0 ± 1.6 a	8.8 ± 0.5 a	160.1 ± 9.8 a
免耕 No-till	黑麦草	24.8 ± 1.3 a	23.7 ± 1.8 a	7.8 ± 0.7 ab	142.0 ± 7.9 a
旋耕 Rotary tillage	黑麦草	25.5 ± 2.1 a	21.8 ± 0.6 a	6.4 ± 0.8 ab	137.6 ± 6.1 ab
免耕 No-till	杂草对照	26.0 ± 1.1 a	24.0 ± 1.7 a	6.4 ± 1.1 ab	88.2 ± 9.8 c
旋耕 Rotary tillage	杂草对照	27.5 ± 0.5 a	25.3 ± 1.9 a	8.6 ± 1.1 a	154.6 ± 6.1 ab

同列中不同小写字母表示各处理间具有显著差异 ($P < 0.05$)。
Different lowercase in the same columne indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

2.2.2 对玉米产量和生物量的影响 旋耕处理下白三叶草和杂草的玉米产量较高,免耕处理下黑麦草的玉米产量较高,且免耕黑麦草的产量为 $6.79 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高于旋耕黑麦草的(图 5A)。旋耕白三叶草的秸秆

干物质量为 $3.41 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 显著高于免耕白三叶草的秸秆干物质量 $2.53 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和旋耕杂草的秸秆干物质量 $2.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 5B),而免耕黑麦草的秸秆干物质量高于旋耕黑麦草的秸秆干物质量。



A: 玉米产量; B: 玉米秸秆干物质量产量。不同小写字母表示处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。
A: Yield of corn; B: Dry matter quality of corn straw. Different lowercase indicate significant difference between treatments ($P < 0.05$).

图 5 不同耕作模式对玉米鲜苞和秸秆干物质产量的影响
Fig. 5 The effects of different rotation systems on the corn yield and dry matter

2.2.3 轮作体系对玉米农艺性状、产量和生物量影响的方差分析 不同的覆盖作物处理对单行玉米株数、穗数、玉米的整株重、玉米秸秆干物质量和玉米产量均无显著影响,但是对玉米的单株穗重有显著影响。耕作方式对玉米株数、穗数、整株重、秸秆

干物质量和产量均无显著影响,但是对玉米的单株穗重有极显著影响。覆盖作物与耕作方式的交互作用对玉米株数、穗数、秸秆干物质量和产量均无显著影响,但是对单行玉米的整株重有显著影响,对玉米的单株穗重有极显著影响(表 3)。

表 3 玉米农艺性状、产量和生物量的单变量方差分析

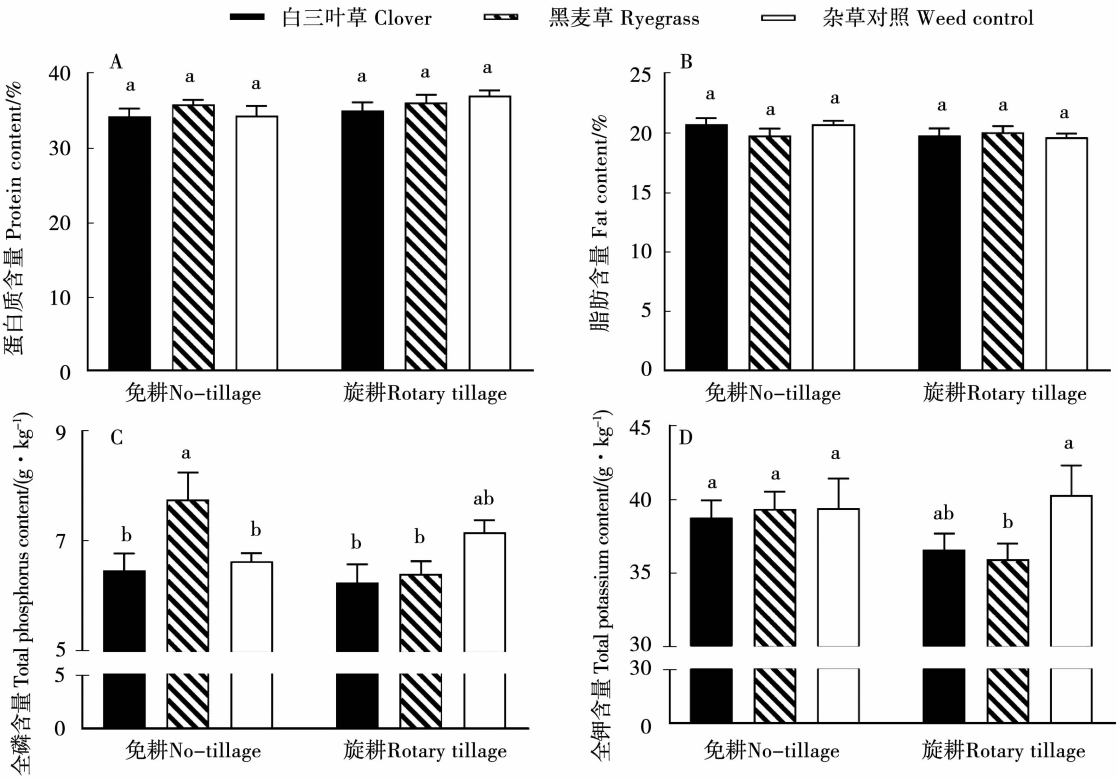
Table 3 The results of ANOVA for agronomic trait , yield and biomass of corn

玉米 Corn	株数 Number	穗数 Number of spikes	整株重 Whole plant weight	单株穗重 Ear weight per plant	秸秆干物质量 Straw dry matter quality	产量 Yield
绿肥作物 Cover crop	ns	ns	ns	*	ns	ns
耕作方式 Cultivation method	ns	ns	ns	**	ns	ns
绿肥作物×耕作方式 Cover crop × Cultivation method	ns	ns	*	**	ns	ns

2.3 绿肥—玉米—大豆的轮作体系对大豆品质和产量性状的影响

2.3.1 对大豆品质的影响 不同处理间大豆的粗蛋白含量和粗脂肪含量无显著差异(图 6A,B)。免耕黑麦草的大豆籽粒含磷量与白三叶草、免耕杂草和旋耕黑麦草的大豆籽粒有显著差异(图 6C),免

耕黑麦草的大豆籽粒含磷量最高,达 7.77 mg·g⁻¹,且旋耕杂草处理的大豆籽粒含磷量高于免耕杂草处理的大豆籽粒含磷量。旋耕黑麦草的大豆籽粒含钾量为 35.92 mg·g⁻¹,低于旋耕白三叶草的大豆籽粒含钾量 36.6 mg·g⁻¹,显著低于其它处理(图 6D),与含钾量较高的旋耕杂草的处理相比少 4.37 mg·g⁻¹。



A:大豆籽粒粗蛋白含量; B:大豆籽粒粗脂肪含量; C:大豆籽粒全磷含量; D:大豆籽粒全钾含量。

A:Crude protein content of soybean seeds; B:Crude fat content of soybean seeds; C:Total phosphorus content of soybean seeds; D:Total potassium content of soybean seeds.

图 6 不同耕作模式对大豆籽粒品质的影响

Fig. 6 The effects of different cultivation methods on the soybean seed qualities

2.3.2 对大豆产量性状的影响 不同处理间大豆的产量无显著差异(图 7)。但是免耕黑麦草处理下的大豆产量较高,为 $3.19\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,且高于旋耕黑麦草的大豆产量 $3.08\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$,免耕白三叶草和旋耕白三叶草的大豆产量较低,分别只有 $2\ 642.52\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.3.3 轮作体系对夏大豆品质和产量性状影响的方差分析 覆盖作物、耕作方式、覆盖作物与耕作方式的交互作用对大豆影响情况的分析结果如表 4 所示,覆盖作物和耕作方式对大豆籽粒的粗蛋白含量、粗脂肪含量、全磷含量、全钾含量和大豆产量均无显著影响,覆盖作物与耕作方式的交互作用仅对大豆籽粒的全磷含量有显著影响。

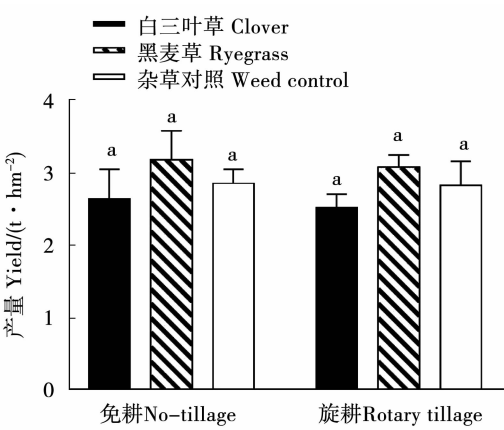


图 7 不同耕作模式对大豆产量的影响
Fig. 7 The effects of different cultivation method on the soybean yield

表 4 大豆品质和产量性状的单变量方差分析
Table 4 The results of ANOVA for the quality and yield of soybean

大豆 Soybean	蛋白质 Protein	脂肪 Fat	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	产量 Yield
绿肥作物 Cover crop	ns	ns	ns	ns	ns
耕作方式 Cultivation method	ns	ns	ns	ns	ns
绿肥作物 × 耕作方式 Cover crop × Cultivation method	ns	ns	*	ns	ns

3 讨 论

氮、磷、钾是植物生长的必需元素。覆盖作物作为氮的源与库,因覆盖作物的种类、生育期、质量、气候及种植管理方式的不同而产生差异^[18]。有研究表明,冬季的覆盖作物具有对氮的蓄积潜力,不同的覆盖作物的总氮蓄积累量有所不同,而黑麦草的氮蓄积累量较低^[23],这与本研究的结果相似,旋耕处理下的白三叶草和杂草的含氮量较高(图 2A、B)。覆盖作物和耕作方式交互作用对植株的含氮量有极显著影响(表 1),而不同的覆盖作物植株的含磷量因植物特性而产生显著差异,白三叶草可以提供丰富的磷元素^[24],但是覆盖作物和耕作方式,以及覆盖作物和耕作方式的交互作用对植株的含钾量并无显著影响。同时因为产量的降低,第二次收获的覆盖作物含钾量减少,相关研究认为刈割对绿肥作物的养分有一定影响,会减少部分养分的含量^[25-26]。在第一次刈割时,因覆盖作物种类不同,而导致产量差异显著,而在第二次刈割时,耕作方式和覆盖作物和耕作方式交互作用对覆盖作物产量有显著影响,此时田间覆盖作物的产物包括覆盖作物和杂草,且免耕黑麦草处理的产量最低,说明利用黑麦草作为植生覆盖可有效减少田间

杂草。王桂良等^[27]研究认为随着刈割次数增加,黑麦草的养分和产量会产生变化,产量有所下降。

研究发现免耕的白三叶草和杂草的玉米整株重较低,免耕白三叶草和免耕杂草的玉米产量低于旋耕白三叶草和旋耕杂草的玉米产量,与常规耕作相比,免耕覆盖对玉米早期生长速度和叶分化速度产生抑制作用,使各生育时期相应推迟,导致产量下降^[28],也有可能是覆盖作物翻耕还田提供更多的氮,导致玉米的产量提高^[29],贾树龙等^[30]研究认为免耕对玉米产量的影响并不显著,植生覆盖处理的玉米产量与免耕产量相差不大。但是,免耕黑麦草处理的玉米整株重和玉米产量高于其它 2 个处理,也高于旋耕黑麦草处理,原因可能是黑麦草的植生覆盖影响玉米植株的生长,黑麦草残茬的根系具有一定的控草压草效果^[31]。而旋耕白三叶草和免耕黑麦草的玉米单株穗重显著高于免耕白三叶草和免耕杂草, Dobbratza 等^[32]和 Pearson 等^[33]研究表明白三叶草作为植生覆盖可以改善玉米地的温度水分等条件,继而影响玉米的生长。同时免耕黑麦草的玉米秸秆干物质量略低于旋耕白三叶草,但比其它处理高,白三叶草植生覆盖通过改善玉米磷营养提高了玉米产量^[24]。籍增顺等^[28]研究认为在作物生长前期,覆盖作物的影响会

造成免耕覆盖下的土壤低温现象,而同时免耕覆盖比常规耕作能保持更多的土壤含水量,有利于玉米后期的生长,而 Barker 等^[34]研究认为冬季覆盖作物对玉米和大豆轮作的土壤水分的影响并不会影响玉米和大豆的生产。

本研究在免耕和旋耕条件下,大豆的品质和产量无显著差异,而向新华等^[35]研究发现免耕大豆产量高于旋耕,且免耕轮作减少了耕作成本,经济效益较好^[36]。本研究中黑麦草覆盖处理的大豆产量较高,籍增顺等^[28]的研究也表明免耕覆盖比常规耕作能保持更多的土壤含水量,有利于作物后期生长的。本研究中免耕黑麦草的大豆籽粒磷含量显著高于白三叶草、免耕杂草和旋耕黑麦草的大豆籽粒的含磷量,可能是覆盖作物残留根系影响大豆对磷素的吸收转运,且旋耕杂草的大豆籽粒含磷量高于免耕杂草,覆盖作物与耕作方式的交互作用对大豆籽粒的全磷含量有显著影响。旋耕黑麦草的大豆籽粒含钾量略低于旋耕白三叶草,显著低于其它处理,在免耕处理下的大豆磷钾含量基本略高于旋耕处理,可能的原因是经过一次刈割后免耕的覆盖作物产量下降。不同处理间大豆的粗蛋白含量、粗脂肪含量无显著差异,而 Uchino 等^[37]研究发现植生覆盖作物的体系适合种植整株产量高、粗蛋白含量高、抗倒伏能力强的大豆品种。黑麦草和玉米轮作的大豆产量比白三叶草和杂草处理的大豆产量高,可能原因是黑麦草残茬的根系具有一定的控草压草效果^[31],从而减少了杂草生长对大豆产生的竞争。

4 结 论

本研究发现冬种黑麦草能够提供更多的有机质以还田,春季刈割后黑麦草可有效抑制杂草的生长,有利于春玉米的生长发育。免耕条件下,相对白三叶草和杂草处理,以黑麦草作为植生覆盖可提高玉米产量,且与旋耕处理无差异。但是,在旋耕条件下,白三叶草和杂草处理的玉米产量则高于黑麦草处理。耕作方法对大豆产量和品质无显著影响,但免耕冬种黑麦草可提高大豆产量。在绿肥 - 玉米 - 大豆轮作体系中,免耕配合黑麦草作为植生覆盖有利于提高作物产量。

致谢:对在试验过程中给予帮助的杜啸、贾琪、杜宇航、陈俊雪、王丽丹、陈健腾和卢玲玲同学表示感谢。

参考文献

[1] 曹敏建. 耕作学[M]. 第2版. 北京: 中国农业出版社, 2013. (Cao M J. Farming Science [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2013.)

[2] De Vincentis A J, Solis S S, Bruno E M, et al. Using cost-benefit analysis to understand adoption of winter cover cropping in California’s specialty crop systems[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 261:110205.

[3] Bugg R L, MCGourty G, Sarrantonio M, et al. Comparison of 32 cover crops in an organic vineyard on the North Coast of California [J]. Agriculture and Horticulture, 1996, 13(1): 63-81.

[4] Lee S, Mccann L. Adoption of cover crops by U. S. soybean producers[J]. Journal of Agricultural and Applied Economics, 2019, 51(4): 527-544.

[5] Bowers C, Toews M, Liu Y X, et al. Cover crops improve early season natural enemy recruitment and pest management in cotton production[J]. Biological Control, 2020, 141: 104149.

[6] Marcillo G S, Carlson S, Filbert M, et al. Maize system impacts of cover crop management decisions: A simulation analysis of rye biomass response to planting populations in Iowa, U. S. A [J]. Agricultural Systems, 2019, 176: 102651.

[7] Büchi L, Wendling M, Amossé C, et al. Cover crops to secure weed control strategies in a maize crop with reduced tillage[J]. Field Crops Research, 2019, 247:107583.

[8] Wyland L J, Jackson L E, Chaney W E, et al. Winter cover crops in a vegetable cropping system: Impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, pests and management costs[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1996, 59(1): 1-17.

[9] Shepherd M A, Webb J. Effects of overwinter cover on nitrate loss and drainage from a sandy soil: Consequences for water management? [J]. Soil Use and Management, 1999, 15(2): 109-116.

[10] Hooks C R, Pandey R R, Johnson M W. Using clovers as living mulches to boost yields, suppress pests, and augment spiders in a broccoli agroecosystem[J]. Cooperative Extension Service, 2007:27.

[11] 李志芳. 冬小麦有机生产与植体覆盖技术的研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 39(6): 727-730. (Li Z F. Studies on organic production and plant covering techniques of winter wheat [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 39(6): 727-730.

[12] Moschler W W, Shear G M, Hallok D L, et al. Winter cover crops for sod-planted corn: Their selection and management[J]. Agronomy Journal, 1967, 59(6):547-551.

[13] Calonego J C, Raphael J P A, Rigon J P G, et al. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling [J]. European Journal of Agronomy, 2017, 85:31-37.

[14] Vincent-Caboud L, Casagrande M, David C, et al. Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2019, 39:45.

[15] 周新安, 年海, 杨文钰. 南方间套作大豆生产发展的现状与对策(I) [J]. 大豆科技, 2010(3): 1-2. (Zhou X A, Nian H, Yang W Y. Status and countermeasures of intercropping soybean production and development in South China (I) [J]. Soybean Science and Technology, 2010(3):1-2.)

[16] 宁晓光, 赵秋, 张新建等. 不同冬闲绿肥轮作处理对玉米生长和产量指标的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(6): 33-36. (Ning X G, Zhao Q, Zhang X J, et al. Effects of different winter

- idle green manure rotations on corn growth and yield index [J]. Tianjin Agricultural Science, 2019, 25 (6):33-36.)
- [17] 周志明,张立平,曹卫东等. 冬绿肥-春玉米农田生态系统服务功能价值评估[J]. 生态环境学报,2016, 25 (4): 597-604. (Zhou Z M, Zhang L P, Cao W D et al. Evaluation of ecosystem service value of winter green manure and spring corn [J]. Journal of Ecology and Environment,2016, 25 (4):597-604.)
- [18] 刘晓冰,宋春雨,Stephen J H, 等. 覆盖作物的生态效应[J]. 应用生态学报,2002,31 (3):365-368. (Liu X B, Song C Y, Stephen J H, et al. [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002,31(3):365-368.)
- [19] 郭耀东,程曼,赵秀峰等. 轮作绿肥对盐碱地土壤性质,后作青贮玉米产量及品质的影响[J]. 中国生态农业学报,2018, 26 (6):856-864. (Guo Y D, Cheng M, Zhao X F et al. Effects of rotation of green manure on soil properties of saline-alkali soil, yield and quality of post-crop silage corn [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2018, 26 (6): 856-864.)
- [20] 董红芬,李洪,霍成斌,等. 覆盖作物在玉米/大豆间作模式中的效应分析[J]. 玉米科学,2019, 27(3):95-101. (Dong H F, Li H, Huo C B, et al. Effect analysis of cover crops in corn / soybean intercropping mode [J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27 (3):95-101.)
- [21] 杨德光,吴玥,宋秀丽,等. 轮作对土壤肥力及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学,2019, 27(4): 127-133. (Yang D G, Wu Y, Song X L, et al. Effects of rotation on soil fertility and corn growth and development [J]. Journal of Maize Sciences,2019, 27 (4):127-133.)
- [22] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007. (Cao J K, Jiang W B, Zhao Y M. Physiological and biochemical experiment guidance of postharvest fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.)
- [23] 赵秋,高贤彪,宁晓光,等. 华北地区几种冬闲覆盖作物碳氮蓄积及其对土壤理化性质的影响[J]. 生态环境学报,2011, 20 (4):750-753. (Zhao Q, Gao X B, Ning X G, et al. Carbon and nitrogen accumulation of several winter cover crops in North China and their effects on soil physical and chemical properties [J]. Journal of Eco-Environment,2011, 20 (4):750-753.)
- [24] Deguchi S, Shimazaki Y, Uozumi S, et al. White clover living mulch increases the yield of silage corn *via* arbuscular mycorrhizal fungus colonization[J]. Plant and Soil,2007, 291(1):291-299.
- [25] Li W, Lu J, Lu J, et al. Effect of fertilization on yield of forage grass, nutrient uptake and soil properties under sudangrass and ryegrass rotation regime [J]. Acta Agronomica Sinica,2009, 35 (7):1350-1356.
- [26] 杨曾平,廖育林,聂军. 不同施肥量对稻田一年生黑麦草产量及氮磷钾吸收的影响[J]. 中国农学通报,2015, 30(31): 173-180. (Yang Z P, Liao Y L, Nie J. Effects of different fertilization rates on annual ryegrass yield and nitrogen, phosphorus, and potassium absorption in paddy fields [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2015, 30 (31):173-180.)
- [27] 王桂良,王守红,寇祥明,等. 刈割次数对林下黑麦草产量与品质的影响[J]. 中国农学通报,2017, 33(36): 93-98. (Wang G L, Wang S H, Kou X M, et al. Effects of mowing times on yield and quality of ryegrass under forest [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2017, 33 (36):93-98.)
- [28] 籍增顺,刘虎林,洛希图,等. 免耕覆盖对旱地玉米生长发育的影响[J]. 山西农业科学,1994, 3:22-27. (Ji Z S, Liu H L, Luo X T, et al. Effect of no-tillage mulch on growth and development of maize in arid land [J]. Shanxi Agricultural Sciences,1994(3):22-27.)
- [29] Andrews J S, Sanders Z P, Cabrera M L, et al. Nitrogen dynamics in living mulch and annual cover crop corn production systems[J]. Agronomy Journal,2018, 110(4):1309.
- [30] 贾树龙,孟春香,任图生,等. 耕作及残茬管理对作物产量及土壤性状的影响[J]. 河北农业科学,2004(4): 37-42. (Jia S L, Meng C X, Ren T S, et al. Effects of tillage and residue management on crop yield and soil properties [J]. Hebei Agricultural Sciences, 2004(4):37-42.)
- [31] Barnes J P, Putnam A R. Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems[J]. Journal Chemical Ecology,1983, 9(8):1045-1057.
- [32] Dobbratz M, Baker J M, Grossman J, et al. Rotary zone tillage improves corn establishment in a kura clover living mulch[J]. Soil and Tillage Research,2019, 189:229-235.
- [33] Pearson C H, Brummer J E, Beahm A T, et al. Kura clover living mulch for furrow-irrigated corn in the Intermountain West [J]. Agronomy Journal,2014, 106(4):1324.
- [34] Barker J B, Heeren D M, Koehler-Cole K, et al. Cover crops have negligible impact on soil water in Nebraska maize-soybean rotation[J]. Agronomy Journal,2018, 110(5):1-13.
- [35] 向新华,魏巍,张兴义,等. 保护性耕作对大豆生长发育及微生物多样性影响[J]. 大豆科学,2013, 32(3): 321-327,332. (Xiang X H, Wei W, Zhang X Y, et al. Effects of conservation tillage on soybean growth and development and microbial diversity [J]. Soybean Science, 2013, 32 (3):321-327,332.)
- [36] 张晓平,李文凤,梁爱珍,等. 中层黑土不同耕作方式下玉米和导读产量及经济效益分析[J]. 中国生态农业学报,2008,28 (4):858-864. (Zhang X P, Li W F, Liang A Z, et al. Analysis of yield and economic benefits of corn and its guide under different tillage methods in middle black soil [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2008,28(4):858-864.)
- [37] Uchino H, Uozumi S, Touno E, et al. Soybean growth traits suitable for forage production in an Italian ryegrass living mulch system[J]. Field Crops Research,2016, 193:143-153.