

东北春玉米秸秆还田宽窄行模式下 覆盖作物不同播期比较研究

李 政^{1,2}, 刘禹泽², 王思敏^{1,2}, 马 悦^{1,3}, 谷 岩¹, 刘胜群²

(1. 吉林农业大学, 长春 130118; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所/黑土区农业生态院重点实验室, 长春 130102;
3. 中国科学院大学 北京 100049)

摘 要: 覆盖作物的种植能够有效改良土壤理化性质。覆盖作物的播种时期直接影响主栽作物的产量和覆盖作物的生物产量, 是主栽作物和覆盖作物“双赢”的关键。本研究在东北黑土区以秸秆还田为基础, 应用新型宽窄行种植模式在玉米田的行间种植4种覆盖作物(紫花苜蓿、黄花草木樨、白车轴草和长柔毛野豌豆)。覆盖作物的播种日期分别为5月28日(T₁)、6月7日(T₂)、6月17日(T₃)、6月27日(T₄)和7月7日(T₅), 测定不同播期条件下覆盖作物的株高、茎粗、叶片SPAD值、生物产量等。研究结果表明, 覆盖作物紫花苜蓿、黄花草木樨和长柔毛野豌豆在T₂时期播种, 白车轴草在T₁时期播种, 其株高、茎粗、叶片叶绿素含量及生物产量最佳。

关键词: 玉米; 秸秆还田; 覆盖作物; 适宜播期; 宽窄行

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

A Comparative Study on Different Sowing Dates of Cover Crops under the Wide-Narrow Row Mode of Spring Maize Straw Returning in Northeast China

LI Zheng^{1,2}, LIU Yu-ze², WANG Si-min^{1,2}, MA Yue^{1,3}, GU Yan¹, LIU Sheng-qun²

(1. College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

2. Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography
and Agroecology, CAS, Changchun 130102;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The planting of cover crops can effectively improve the physical and chemical properties of soil. However, the sowing date of cover crops directly affects the yield of main crops and the biological yield of cover crops, which is crucial for achieving a ‘win-win’ situation between main crops and cover crops. Therefore, based on straw returning to the field in the black soil area of Northeast China, this study applied a new wide-narrow row planting mode to plant four mulching crops (*Medicago sativa*, *Melilotus officinalis*, *Trifolium repens* and *Vicia villosa* Roth) in the rows of maize fields. The sowing dates for the cover crops were May 28 (T₁), June 7 (T₂), June 17 (T₃), June 27 (T₄) and July 7 (T₅), respectively. The plant height, stem diameter, leaf SPAD value and biological yield of mulching crops under different sowing dates were measured. The results indicated that, compared with different sowing dates of mulching crops, the plant height, stem diameter, leaf chlorophyll content and biological yield of *Medicago sativa*, *Melilotus officinalis*, *Vicia villosa* Roth in T₂ and *Trifolium repens* in T₁ were the best.

Key words: Maize; Straw returning; Cover crop; Suitable sowing date; Wide-narrow row

录用日期: 2024-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31971850)、吉林省重大科技专项(20220302007NC)、中科院战略先导专项(XDA28080302)、中科院黑土区农业生态重点实验室开放基金项目(2020KHT-01)

作者简介: 李 政(1999-), 男, 硕士, 主要从事作物高产理论研究与实践研究。E-mail: 919706548@qq.com

刘禹泽为本文共同第一作者。E-mail: liuyuze@iga.ac.cn

刘胜群和谷 岩为本文通信作者。E-mail: 283413608@qq.com E-mail: lsq@iga.ac.cn

东北黑土区是世界四大黑土区之一,土壤肥沃,是我国重要的粮食产区和商品粮基地,是我国粮食安全的重要保障^[1]。由于黑土土壤疏松、抗蚀能力较弱,极易水土流失;加之多年人类长期不合理的农业生产活动,粮食主产区长期重用轻养,致使东北农田黑土发生严重退化,黑土地地区土壤耕层变薄、有机质含量降低、土壤变硬^[2],给农业可持续发展带来挑战。因此,需要制定适宜的黑土地保护和利用措施把黑土地这个“耕地中的大熊猫”保护好、利用好。秸秆还田是解决东北粮食主产区重用轻养导致的土壤有机质量减退、培肥土壤的重要而有效的措施^[3]。研究认为,秸秆还田可提高土壤有机质含量,增加土壤速效N、P和K含量,显著增加土壤微生物^[4-7]。

覆盖作物可有效填充主栽作物田间地表裸露间隙,增加地表覆盖面积,降低径流损失和泥沙损失,有效减少水土流失^[8]。农田种植覆盖作物可有效增加地表覆盖,在兼顾作物产量的同时降低农田水土流失和提高土壤质量,是实现农业可持续生产的新策略^[9]。实际生产中,禾本科农作系统中多选用豆科植物作为覆盖作物,这是因为豆科覆盖作物在其生长期间与主栽作物之间没有很强的氮素竞争,例如豆科覆盖作物豌豆,其地上部90%~95%氮素来自于自身的N₂固定^[10];还可增加土壤氮素含量,为主栽作物提供氮素营养^[11-12];其根系还可深入深层土壤,吸收深层土壤中的硝态氮,有效减少氮淋失^[13-14]。因此,豆科覆盖作物备受关注,且越来越多地应用于我国黑土地保护和利用中^[15-17]。

覆盖作物与主栽作物可能存在一段较长时间的共生期,这也是覆盖作物区别于传统绿肥作物在休闲期种植的一个特点。与传统绿肥作物在主栽作物收获后播种相比较,覆盖作物可以在主栽作物收获前播种^[18]或是晚于主栽作物播种,前者可最大限度增加覆盖作物生长时间,获得更高覆盖作物生物产量^[19];后者可以减缓覆盖作物与主栽作物之间的竞争^[20],这是由于在主栽作物地上部冠层形成但尚未建成期间播种覆盖作物,覆盖作物由于受到冠层内光线限制而生长较慢。在温度资源受限的冷凉地区覆盖作物的播种策略以后者最为常见。

东北地区是我国最大的玉米主产区,玉米播种面积大。东北地区气候冷凉,玉米以清种为主。本研究选在东北黑土区玉米生产田中,以秸秆还田为基础,应用新型宽窄行种植模式,种植紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、黄花草木樨(*Melilotus officinalis*)、白车轴草(*Trifolium repens*)和长柔毛野豌豆(*Vicia villosa* Roth)4种豆科覆盖作物,研究4种覆盖作物不同

播期对其生长及生物产量的影响,为我国东北玉米主产区提供适宜的玉米-覆盖作物栽培技术,助力东北地区黑土地保护和农业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

本试验于2021年和2022年在吉林省长春市中国科学院东北地理与农业生态研究所长春综合农业试验站(44°59' N, 125°23' E)进行。试验地5-9月的日均温和降雨情况见图1。试验田土壤为黑土,耕层土壤有机质含量为26.90 g/kg、全氮1.49 g/kg、全磷0.59 g/kg、全钾21.53 g/kg、速效氮118.80 mg/kg、速效磷9.43 mg/kg、速效钾125.84 mg/kg。

供试品种为良玉99,种植密度为6.5万株/hm²。N、P、K肥的用量分别为200、100、100 kg/hm²,播种时一次性条播施入。垄向为南偏西20°。春玉米秸秆还田宽窄行种植模式如图2所示,宽行行距160 cm,窄行行距40 cm,两行玉米位于窄行苗带上。前茬作物为玉米,当年收获后玉米秸秆地上部高留茬,茬高25~35 cm,其他地上部秸秆机械粉碎后,放置在两行高留茬的窄行行间,形成带状秸秆还田区域。覆盖作物种植在垂直垄向秸秆还田带的10~40 cm处,形成宽30 cm的覆盖作物条带^[21]。4种豆科覆盖作物分别为紫花苜蓿(MS)、黄花草木樨(MO)、白车轴草(TR)和长柔毛野豌豆(VR)。每年玉米5月3日播种,2021年覆盖作物设5个播期,分别为5月28日(T₁)、6月7日(T₂)、6月17日(T₃)、6月27日(T₄)和7月7日(T₅),播种方式为撒播。裂区试验,覆盖作物播期为主区,覆盖作物种类为副区,以玉米单作(不种植覆盖作物)为对照(CK)。每个小区长8 m,宽6 m,3次重复。2022年覆盖作物播种日期为6月7日。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 覆盖作物的株高和茎粗

2021年,于玉米拔节期(V6)、大喇叭口期(V12)、抽雄期(VT)、灌浆期(R2)、乳熟期(R3)和完熟期(R6)在每个小区选取8株代表性覆盖作物植株,测量其株高和茎粗。株高用直尺测量,茎粗用电子数显游标卡尺测量其基部直径。

1.2.2 覆盖作物的叶绿素含量

2021年,于玉米拔节期(V6)、大喇叭口期(V12)、抽雄期(VT)、灌浆期(R2)、乳熟期(R3)和完熟期(R6)在每个小区选取8株代表性覆盖作物植株,采用SPAD-502叶绿素仪测量覆盖作物顶部第一片全展叶的SPAD值。

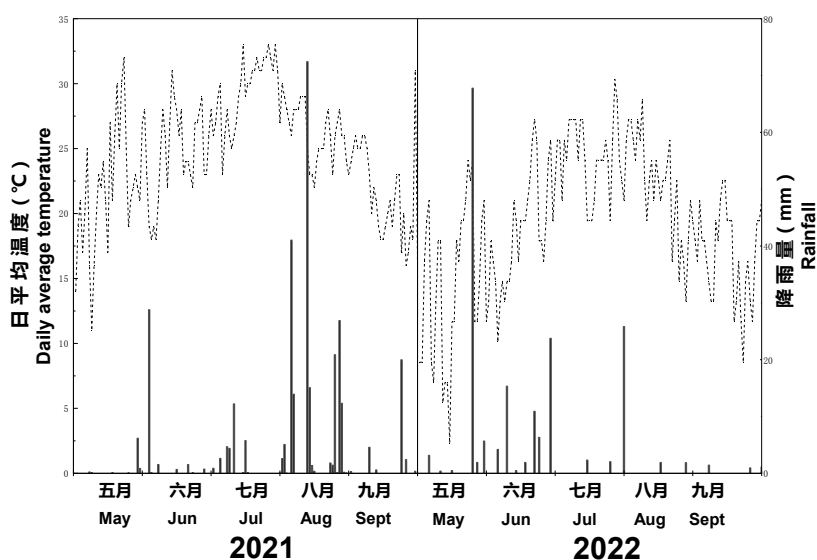


图1 试验地2021年和2022年5–9月的日平均温度及降水量

Fig.1 Average daily temperature and precipitation from May to September in 2021 and 2022 in the test site

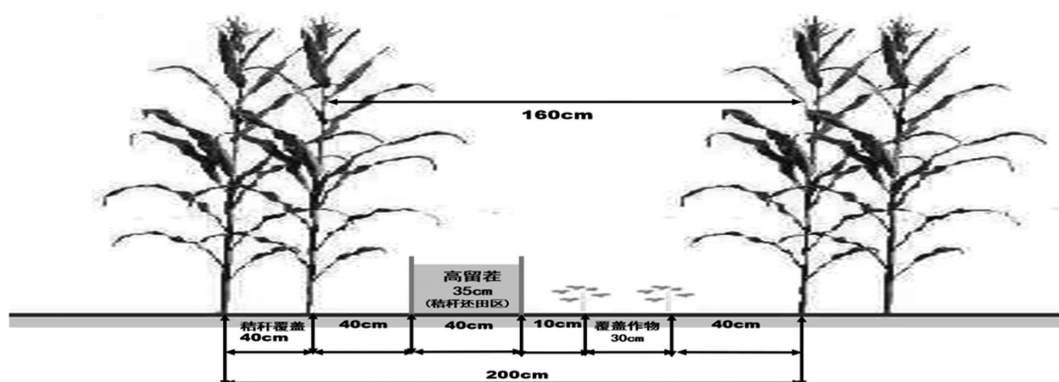


图2 基于秸秆还田的玉米-覆盖作物种植模式示意图

Fig.2 Schematic diagram of maize-cover crop system with straw returning

1.2.3 覆盖作物生物产量测定

于2021年10月3日在各小区覆盖作物条带取 0.04 m^2 区域,将覆盖作物从地面剪断,所有样品在烘箱中 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min ,于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重,用电子天平称其干物质质量。

1.2.4 玉米产量测定

于2021年10月3日在每个小区取 5 m^2 区域内的所有玉米植株,记录取样区域内的玉米株数、穗数、穗粒重,并用LDS-1G谷物水分测定仪测量子粒含水率,计算玉米子粒产量(子粒含水量为14%)。

1.2.5 覆盖作物C、N含量测定

在2022年玉米成熟期(R6),在 T_2 小区的覆盖作物种植区域内随机取 0.04 m^2 ,将取样区域内的覆盖作物用剪刀将地上部剪下,带回实验室。将覆盖作物样品放于烘箱中 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min ,再于 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重。将干样粉碎,过100目筛,采用重铬酸钾-

浓硫酸外加热法测定覆盖作物地上部植株中全碳含量,采用凯氏定氮法测定全氮含量,并计算碳氮比。

1.3 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2010处理原始数据,利用SPSS 21分析数据并进行差异显著性分析(Duncan法),并利用Origin 2021软件作图。

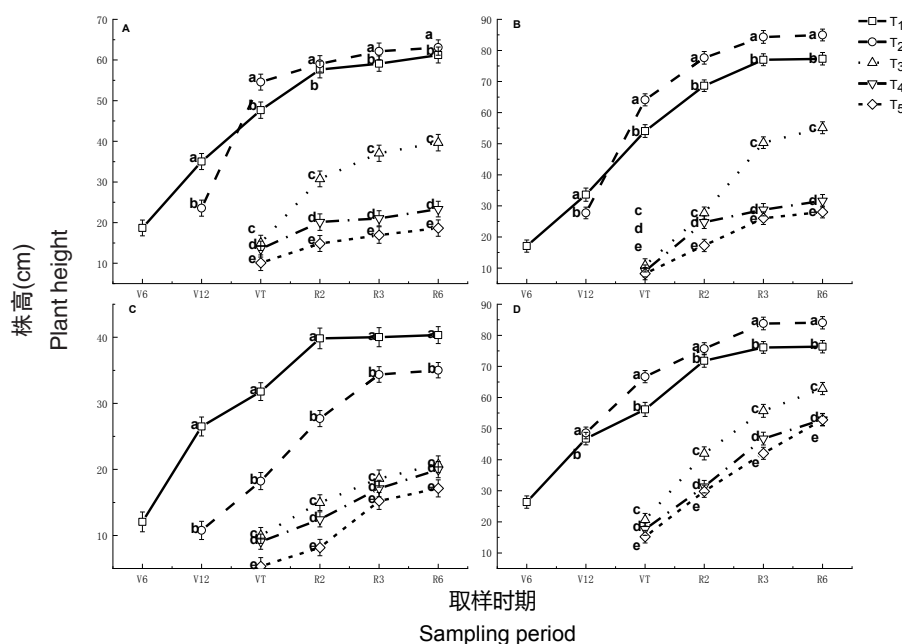
2 结果与分析

2.1 覆盖作物不同播期条件下的株高和茎粗

4种覆盖作物的株高和茎粗因播期不同而异(图3、图4)。紫花苜蓿、黄花草木樨、长柔毛野豌豆的株高和茎粗在不同播种期表现为 $T_2>T_1>T_3>T_4>T_5$,均是播期 T_2 处理的株高和茎粗最高, T_5 处理最低。与 T_2 处理相比,紫花苜蓿、黄花草木樨、长柔毛野豌豆的株高分别降低68.09%、64.36%、30.12%,茎粗分别降低31.83%、59.42%、17.67%。白车轴草的株高

和茎粗在不同播种期表现为 $T_1>T_2>T_3>T_4>T_5$,白车轴草的株高和茎粗以播期 T_1 最高,随着播期延后,其株高和茎粗逐渐下降, T_5 处理最低。播期 T_5 的白车轴

草的株高和茎粗与播期 T_1 相比分别降低 57.05%和 47.10%。



注:不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。A表示紫花苜蓿;B表示黄花草木樨;C表示白车轴草;D表示长柔毛野豌豆。取样时期:玉米拔节期(V6)、大喇叭口期(V12)、抽雄期(VT)、灌浆期(R2)、乳熟期(R3)和完熟期(R6)。下图同。

Note: Different lowercase letters within the same period indicate significant differences at $P<0.05$. A, *Medicago sativa*, B, *Melilotus officinalis*, C, *Trifolium repens*, D, *Vicia villosa* Roth. The abscissa represents the sampling period: maize jointing stage(V6), large bell stage(V12), tasseling stage(VT), filling stage(R2), milk ripening stage(R3) and full ripening stage(R6). The same below.

图3 覆盖作物不同播期条件下的株高

Fig.3 Effect of seeding date on plant height of cover crops

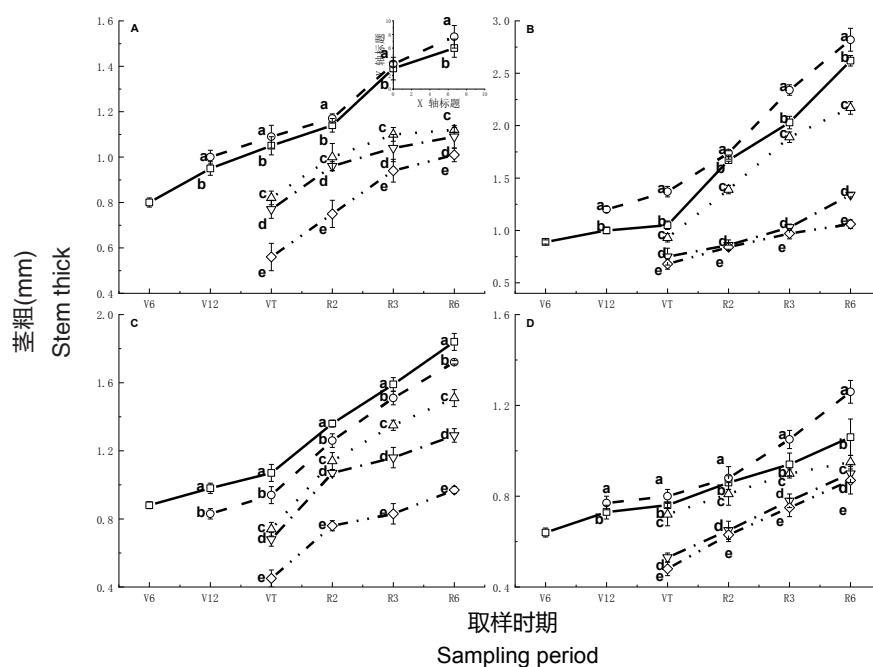


图4 覆盖作物不同播期条件下的茎粗

Fig.4 Effect of seeding date on stem diameter of cover crops

2.2 覆盖作物不同播期条件下叶片的叶绿素含量

覆盖作物播期影响覆盖作物叶片叶绿素含量(图5)。紫花苜蓿、黄花草木樨、长柔毛野豌豆叶片SPAD值在不同播期表现为 $T_2 > T_1 > T_3 > T_4 > T_5$, 上述3种覆盖作物的叶片叶绿素含量在播期 T_2 处理最高, 在播期 T_5 处理最低; 与 T_5 比较, T_1 处理的紫花苜蓿、

黄花草木樨和长柔毛野豌豆叶片SPAD值分别降低24.90%、22.54%和7.29%。白车轴草叶片叶绿素含量在不同播期的含量比较为 $T_1 > T_2 > T_3 > T_4 > T_5$, 播期 T_1 处理最高, 播期 T_5 处理最低; 播期 T_5 与播期 T_1 相比叶片叶绿素含量降低了11.66%。

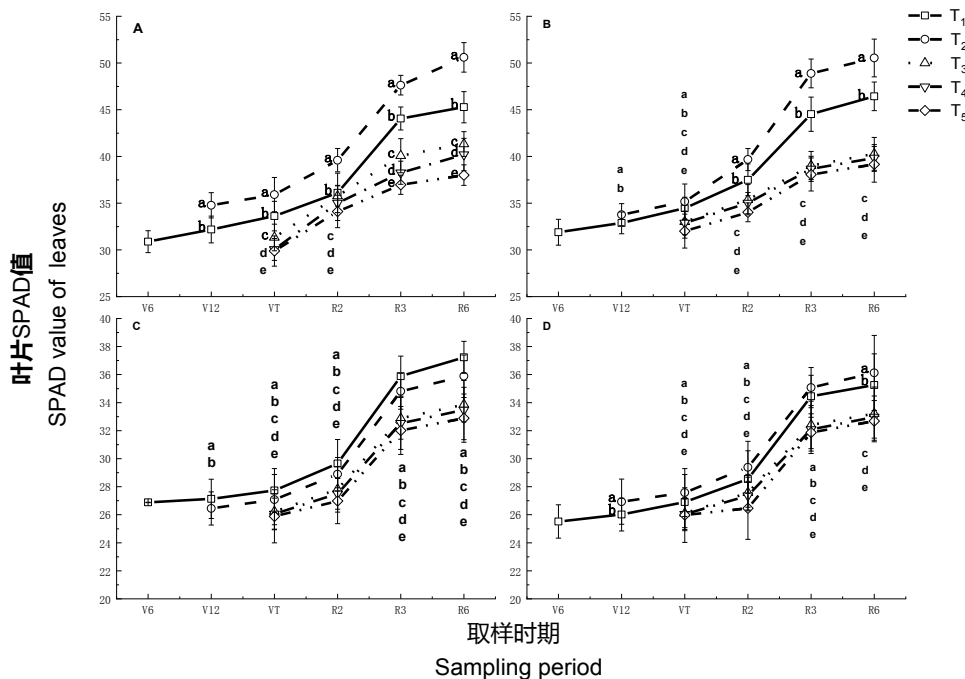
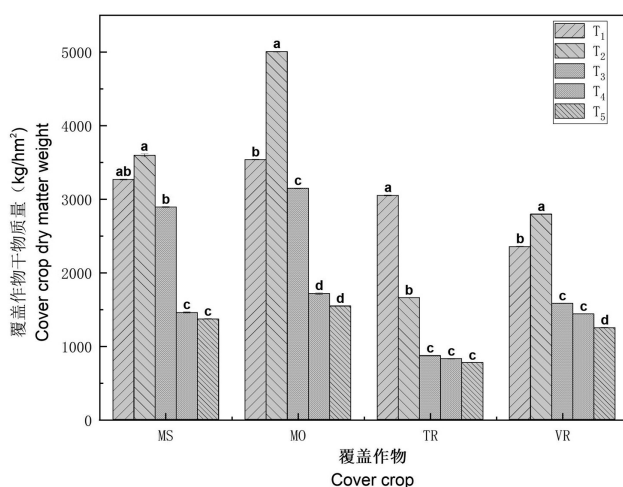


图5 覆盖作物不同播期条件下的叶片叶绿素含量(SPAD值)

Fig.5 Effect of seeding date on SPAD values of cover crops

2.3 覆盖作物不同播期条件下的生物产量



注: T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 分别表示覆盖作物的5个播期。MS表示紫花苜蓿; MO表示黄花草木樨; TR表示白车轴草; VR表示长柔毛野豌豆。下图同。

Note: T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 represent five sowing dates of covering crops. MS: *Medicago sativa*, MO: *Melilotus officinalis*, TR: *Trifolium repens*, VR: *Vicia villosa* Roth. The same below.

图6 覆盖作物不同播期条件下的生物产量

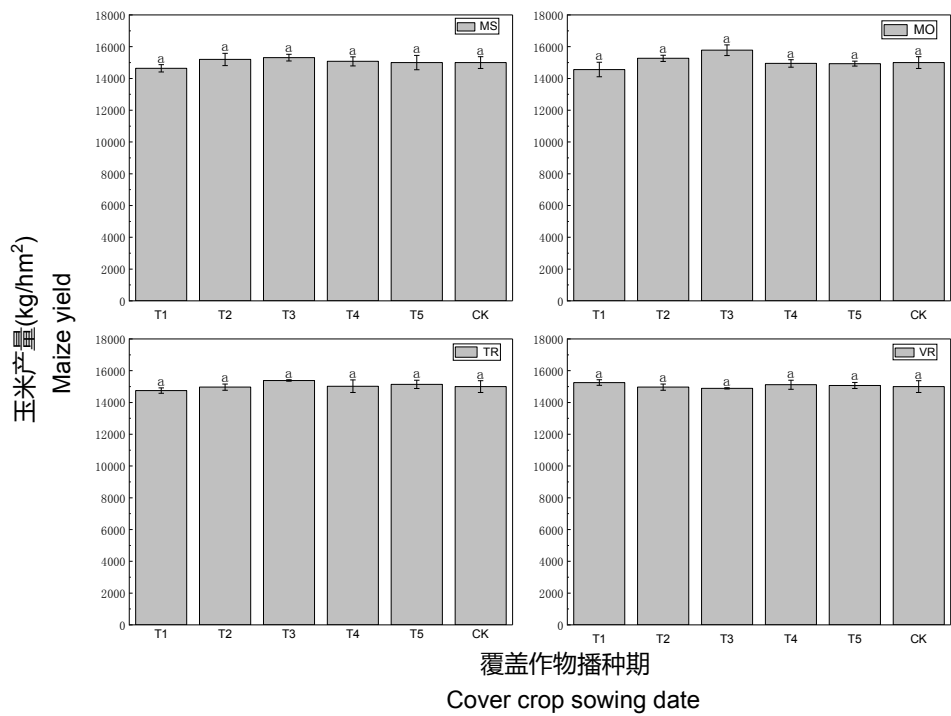
Fig.6 Effect of planting period on biomass accumulation of cover crops

播期影响覆盖作物生物产量(图6)。不同覆盖作物生物产量,紫花苜蓿在播期T₂处理的生物产量最高,与播期T₂相比,播期T₁、T₃、T₄和T₅生物产量分别降低9.16%、24.35%、59.48%和61.91%。黄花草木樨播期T₂干物质量最高,与播期T₂相比,T₁、T₃、T₄和T₅生物产量分别降低29.34%、59.05%、65.77%和69.15%。白车轴草在播期T₁处理的干物质量最高,与播期T₁相比,播期T₂、T₃、T₄和T₅干物质量分别降低83.87%、250.92%、268.12%和293.42%。长柔毛

野豌豆在播期T₂处理的生物产量最高,与播期T₂相比,播期T₁、T₃、T₄和T₅生物产量分别降低15.75%、43.42%、48.58%和55.25%。

2.4 覆盖作物不同播期条件下主栽作物玉米的产量

4种覆盖作物在5个不同播种期处理的玉米产量如图7。结果显示,4种覆盖作物在不同播期条件下主栽作物玉米产量差异均未达到显著水平。



注:T1、T2、T3、T4、T5 分别代表覆盖作物的5个播种期;CK 为宽窄行玉米垄间不种植覆盖作物处理。MS 表示紫花苜蓿;MO 表示黄花草木樨;TR 表示白车轴草;VR 表示长柔毛野豌豆。
Note: T1, T2, T3, T4, T5 represent five sowing dates of covering crops, CK is a wide-narrow row maize ridge without covering crops. MS, *Medicago sativa*; MO, *Melilotus officinalis*; TR, *Trifolium repens*; VR, *Vicia villosa* Roth.

图7 覆盖作物不同播期条件下的玉米产量

Fig.7 Effects of different planting dates of cover crops on maize yield

2.5 玉米田种植覆盖作物秸秆碳氮特点

表1 覆盖作物秸秆碳氮特点

Table 1 Characteristics of carbon and nitrogen in straw mulched crops

覆盖作物种类 Cover crop type	秸秆C产量(kg/km²) C content per unit area	秸秆N产量(kg/km²) Straw N content per unit area	秸秆(C/N) C/N of cover crop straw
紫花苜蓿	1529.93±7.34 b	94.7±1.33 c	16.15:1 a
黄花草木樨	2195.44±1.49 a	160.7±3.12 a	13.66:1 b
白车轴草	596.23±8.02 d	51.4±0.89 d	11.60:1 c
长柔毛野豌豆	1113.24±10.8 c	111.4±1.56 b	9.99:1 d

注:数值以平均值表示。不同小写字母表示多重比较(Duncan)差异显著性(P<0.05)。
Note: Values are expressed as averages. The lowercase letters indicated a significant difference in Duncan(P<0.05).

4种覆盖作物中,黄花草木樨秸秆内C、N含量最高;白车轴草秸秆内C、N含量最低。与黄花草木樨相比,紫花苜蓿、长柔毛野豌豆、白车轴草秸秆内C含量分别降低30.31%、49.29%、72.84%;秸秆内N含量降低41.05%、30.70%、68.03%。4种覆盖作物秸秆内,长柔毛野豌豆秸秆的C/N最低,紫花苜蓿秸秆的C/N最高。

3 结论与讨论

豆科覆盖作物的固氮和增加农田地表覆盖的特点可起到保土和改善土壤肥力的效果。有报道显示,豆科覆盖作物长柔毛野豌豆可以为免耕玉米提供的氮源相当于施用90~100 kg/hm²的氮肥,豆科覆盖作物绿白车轴草可以为粒用高粱达到最高产量提供生长期间所需氮素且无需补施氮肥^[21-22]。本研究结果显示,在东北黑土区种植豆科覆盖作物,与对照相比可以显著增加作物秸秆内氮素含量以及降低秸秆内碳氮比。

覆盖作物种植是否可以提高主栽作物的产量与种植模式有关^[23]。构建一个适宜的生长环境(水、温度、光等),避免或降低覆盖植物与主栽作物之间的竞争,是实现覆盖作物与主栽作物“双赢”的基础^[24]。春玉米采用宽窄行模式种植可改善冠层的通风透光能力,有效改善冠层中下部的通风透光条件,为中下部叶片的光合作用提供良好的条件^[25]。本模式中采用创新的宽窄行模式种植玉米,在农田中形成双行玉米窄行苗带、玉米秸秆覆盖条带和覆盖作物生长苗带,形成相应的玉米种植微区、秸秆还田微区和覆盖作物微区。在玉米种植苗带上,玉米适当密植,虽扩大行距但缩小株距,保证地块玉米播种株数不变,确保玉米产量;秸秆还田带不种植玉米和覆盖作物,可以为秸秆腐解创造良好条件;覆盖作物条带由于宽窄行的田间配置,使其具有良好的光照条件,保证覆盖作物生长良好。因此,本模式在保证玉米产量的同时,实现耕地种养的有机结合,既能达到资源空间上的合理利用,又能达到保护黑土地的目的。

覆盖作物播期影响主栽作物生长和最终产量^[26-27]。覆盖作物种植时间太早,会导致其与主栽作物争夺土壤上层养分,覆盖作物种植时间可以晚于主栽作物;覆盖作物种植时间过晚,主栽作物地上部冠层截获的光线多,覆盖作物的生长会受到主栽作物冠层内部光线限制而生长缓慢,不利于覆盖作物的生长和生物产量的形成。有研究表明,玉米V5后播种覆盖作物不会对玉米产量产生负面影响,但

V2时期播种覆盖作物会降低产量^[28]。Schmitt等研究表明,在美国中北部玉米田中,在玉米V4~V6时期播种覆盖作物黑麦草和萝卜最为适宜^[29]。覆盖作物适宜播期与区域的地理位置和气候条件等因素有关。本研究结果显示,豆科覆盖作物紫花苜蓿、黄花草木樨和长柔毛野豌豆在6月7日播种、白车轴草在5月28日播种可以获得较高生物产量,且其株高、茎粗、叶片光合能力均表现最佳。株高和茎粗对单株生物量影响较大,过早播种覆盖作物生长期长,但植株矮小、分枝少;过晚播种覆盖作物生长期短,茎秆纤细、营养体较小、多为单枝,且随着播种期的延迟,覆盖作物生长期内玉米遮荫时间也相对延长,玉米对覆盖作物的产生荫蔽作用也随之增强,会降低覆盖作物叶片的叶绿素含量,严重影响覆盖作物生长^[30]。

东北黑土区新型宽窄行种植模式种植覆盖作物,在保障玉米稳产的同时,适宜播种内种植覆盖作物可以保证覆盖作物正常生长,并获得良好生物产量。播期影响东北黑土区玉米田覆盖作物的生物产量,豆科覆盖作物紫花苜蓿、黄花草木樨和长柔毛野豌豆在6月7日播种、白车轴草在5月28日播种可以获得较高生物产量。

参考文献:

- [1] 张兴义,李健宇,郭孟洁,等.连续14年黑土坡耕地秸秆覆盖免耕水土保持效应[J].水土保持学报,2022,36(3):44-50.
ZHANG X Y, LI J Y, GUO M J, et al. Effects of straw mulching and no tillage for continuous 14 years on soil and water conservation in mollisols sloping farmland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, 36(3): 44-50. (in Chinese)
- [2] 汪景宽,徐香茹,裴久渤,等.东北黑土地区耕地质量现状与面临的机遇和挑战[J].土壤通报,2021,52(3):695-701.
WANG J K, XU X R, PEI J B, et al. Current situations of black soil quality and facing opportunities and challenges in Northeast China [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(3): 695-701. (in Chinese)
- [3] 李荣,勉有明,侯贤清,等.秸秆还田配施氮肥对土壤性质及玉米水氮利用效率的影响[J].作物学报,2023,49(10):2820-2832.
LI R, MIAN Y M, HOU X Q, et al. Effects of straw returning with nitrogen application on soil properties, water and nitrogen use efficiency of maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(10): 2820-2832. (in Chinese)
- [4] 王幸,吴存祥,齐玉军,等.麦秸处理和播种方式对夏大豆农艺性状及土壤物理性状的影响[J].中国农业科学,2016,49(8):1453-1465.
WANG X, WU C X, QI Y J, et al. Effects of straw management and sowing methods on soybean agronomic traits and soil physical properties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(8): 1453-1465. (in Chinese)
- [5] 宫亮,孙文涛,王聪翔,等.玉米秸秆还田对土壤肥力的影响

- [J]. 玉米科学, 2008(2): 122–124, 130.
- GONG L, SUN W T, WANG C X, et al. Effects of application maize straw on soil physical characteristics and yield[J]. Journal of Maize Sciences, 2008(2): 122–124, 130. (in Chinese)
- [6] 赵亚丽, 于淑婷, 穆心愿, 等. 深耕加秸秆还田下施氮量对土壤碳氮比、玉米产量及氮效率的影响[J]. 河南农业科学, 2016, 45(10): 50–54.
- ZHAO Y L, YU S T, MU X Y, et al. Effects of nitrogen application rate on soil c/n, maize yield and nitrogen efficiency under condition of deep tillage and straw returning[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2016, 45(10): 50–54. (in Chinese)
- [7] 张进良. 玉米秸秆还田对土壤中微生物群落的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(12): 2744–2746.
- ZHANG J L. Influence of corn straw returning on the microbial community structure in soil[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(12): 2744–2746. (in Chinese)
- [8] 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 maize/soybean intercropping model[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(3): 95–101. (in Chinese)
- [9] KABELKA D, KINCL D, VOPRAVIL J, et al. Impact of cover crops in inter-rows of hop gardens on reducing soil loss due to water erosion[J]. Plant, Soil and Environment, 2021, 67(4): 230–235.
- [10] CORRE-HELLOU G, DIBET A, HAUGGAARD-NIELSEN H, et al. The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability [J]. Field Crops Research, 2011, 122(3): 264–272.
- [11] VINCENT-CABOUD, LAURA, 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: 1–15.
- [12] YANG X M, DRURY C F, REYNOLDS W D, et al. Legume cover crops provide nitrogen to corn during a three-year transition to organic cropping[J]. Agronomy Journal, 2019, 111(6): 3253–3264.
- [13] 刘晓冰, 宋春雨, Stephen J. Herbert, 等. 覆盖作物的生态效应[J]. 应用生态学报, 2002(3): 365–368.
- LIU X B, SONG C Y, STEPHEN J H, et al. Ecological effects of cover crops[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002(3): 365–368. (in Chinese)
- [14] 昭日格图, 陆洪省, 小松崎将一. 覆盖作物在农田耕作中的应用研究[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2010, 25(3): 296–299.
- ZHAO RI GE TU, LU H S, MASAKAZU KOMATSUZAKI. The study on the application of the cover crops in the upland fields operation[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities, 2010, 25(3): 296–299. (in Chinese)
- [15] BALKCOM K, SCHOMBERG H, REEVES W, et al. Managing cover crops in conservation tillage systems[J]. Managing Cover Crops Profitably, 2007, 3: 44–61.
- [16] VERRET V, GARDARIN A, PELZER E, et al. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis[J]. Field Crops Research, 2017, 204: 158–168.
- [17] UCHINO H, IWAMA K, JITSUYAMA Y, et al. Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems[J]. Field Crops Research, 2009, 113(3): 342–351.
- [18] HARTWIG N L, AMMON H U. Cover crops and living mulches[C]. Weed Science, 2002, 50 (6): 688–699.
- [19] ZHANG D, ZHANG C, REN H, et al. Trade-offs between winter wheat production and soil water consumption via leguminous green manures in the Loess Plateau of China[J]. Field Crops Research, 2021, 272: 108278.
- [20] BRUST J. Weed suppression with cover crops and under sown crops in modern cropping systems[J]. 2015.
- [21] 刘胜群. 一种基于秸秆和覆盖作物还田的东北地区玉米-覆盖作物休耕轮耕栽培方法[P]. 吉林省专利: CN202211110054.4, 2023-06-09.
- [22] BLEVINS R L, 董 珂. 作为免耕玉米和粒用高粱氮源的豆类覆盖作物[J]. 国外农学-杂粮作物, 1991(2): 37–40.
- BLEVINS R L, DONG K. Crops covered with beans as nitrogen sources for no-tillage corn and grain sorghum[J]. Horticulture & Seed, 1991(2): 37–40. (in Chinese)
- [23] SERAN T H, BRINTHA I. Review on maize based intercropping[J]. Journal of Agronomy, 2010, 9(3): 135–145.
- [24] VERRET V, GARDARIN A, PELZER E, et al. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis[J]. Field Crops Research, 2017, 204: 158–168.
- [25] 刘武仁, 郑金玉, 罗 洋, 等. 玉米宽窄行种植技术的研究[J]. 吉林农业科学, 2007(2): 8–10, 13.
- LIU W R, ZHENG J Y, LUO Y, et al. Research on planting technique with wide/narrow row alternation for maize[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2007(2): 8–10, 13. (in Chinese)
- [26] SANDLER L N, NELSON K A, DUDENHOEFFER C J, et al. Effect of radish overseeded planting date on interseeded soybean and corn yield[J]. Crop, Forage & Turfgrass Management, 2015, 1(1): 1–10.
- [27] UCHINO H, IWAMA K, JITSUYAMA Y, et al. Yield losses of soybean and maize by competition with interseeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems[J]. Field Crops Research, 2009, 113(3): 342–351.
- [28] RUIS S J, BLANCO-CANQUI H, CREECH C F, et al. Cover crop biomass production in temperate agroecozones[J]. Agronomy Journal, 2019, 111(4): 1535–1551.
- [29] SCHMITT M B, BERTI M, SAMARAPPULI D, et al. Factors affecting the establishment and growth of cover crops intersown into maize (*Zea mays* L.)[J]. Agronomy, 2021, 11(4): 712.
- [30] 谭婷婷, 范元芳, 李盛蓝, 等. 套作模式下玉米荫蔽对大豆叶片叶绿体结构及光合特性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(10): 2360–2367.
- TAN T T, FAN Y F, LI S L, et al. Effects of maize shading on chloroplast structure and photosynthetic characteristics of soybean leaves under intercropping pattern[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(10): 2360–2367. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)