

西南紫色土丘陵区不同耕作方式对土壤水热条件、 有机碳含量及蚕豆产量的影响

陈 娇¹,黄召存¹,熊 瑛^{1,2},王龙昌¹,马淑敏¹,邢毅¹,张小短¹

(1. 西南大学农学与生物科技学院,南方山地农业教育部工程研究中心,三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400716;

2. 河南科技大学农学院,河南 洛阳 471003)

摘 要:在重庆北碚西南大学试验农场开展大田试验,设置传统耕作(T)、垄作(R)、传统耕作+半量秸秆覆盖(TS₁)、垄作+半量秸秆覆盖(RS₁)、传统耕作+全量秸秆覆盖(TS₂)、垄作+全量秸秆覆盖(RS₂)6个不同处理,研究不同耕作方式对蚕豆土壤水热条件、有机碳含量和蚕豆产量的影响及其相关关系。结果表明:秸秆覆盖下的土壤温度在低温时显著高于平作,在高温时则显著低于平作,而垄作的土壤温度与平作间没有明显的差异;在苗期、分枝期、开花期和成熟期,RS₂处理土壤水分均显著高于R处理;在分枝期、开花期和成熟期TS₂处理土壤水分均显著高于T处理;垄作和秸秆覆盖能提高土壤的有机碳含量,不同处理间的有机碳含量表现出RS₂>TS₂>RS₁>TS₁>R>T的趋势;垄作和秸秆覆盖能提高蚕豆的产量,与对照T相比,R、TS₁、RS₁、TS₂、RS₂处理的蚕豆产量分别增产3.55%、9.20%、9.88%、10.78%、12.54%;蚕豆产量与土壤有机碳含量呈显著正相关。

关键词:耕作方式;垄作;秸秆覆盖;水热条件;土壤有机碳;蚕豆;产量

中图分类号:S152;S153;S643.6 **文献标志码:**A

Effects of different tillage modes on soil hydrothermal condition, organic carbon content and broad bean yield in purple soil hilly region of Southwest China

CHEN Jiao¹, HUANG Zhao-cun¹, XIONG Ying^{1,2}, WANG Long-chang¹,
MA Shu-min¹, XING Yi¹, ZHANG Xiao-duan¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University/Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education / Engineering Research Center of South Upland Agriculture, Ministry of Education, Chongqing 400716, China;

2. College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

Abstract: The field trial was conducted in the experimental farm in Southwest University in Beibei, Chongqing, China, with six treatments including T (Traditional tillage), R (Ridge tillage), TS₁ (Traditional tillage + half amount of straw mulching), RS₁ (Ridge tillage + half amount of straw mulching), TS₂ (Traditional tillage + whole amount of straw mulching), and RS₂ (Ridge tillage + whole amount of straw mulching), so as to investigate the effects of different tillage modes on soil hydrothermal condition, organic carbon content and yield of broad bean and the correlations between them. The main conclusions were as follows: (1) Soil temperature under straw mulching was significantly higher than traditional tillage in cold days, while significantly lower than traditional tillage in hot days. However, there was no remarkable difference between ridge tillage and traditional tillage. During seedling stage, branch stage, blooming stage and mature stage, soil water content under RS₂ treatment was significantly higher than under R treatment; and soil water content with TS₂ treatment was significantly higher than with T treatment during branch stage, blooming stage and mature stage. (2) Ridge tillage and straw mulching could increase the content of soil organic carbon, and the content ranked as RS₂>TS₂>RS₁>TS₁>R>T. (3) Ridge tillage and straw

mulching could increase the yield of broad bean. Comparing with T, the treatments of R, TS₁, RS₁, TS₂ and RS₂ increased the yield by 3.55%, 9.20%, 9.88%, 10.78% and 12.54%, respectively. (4) Soil organic carbon and broad bean yield were significantly positively correlated with each other.

Keywords: tillage modes; ridge tillage; straw mulching; hydrothermal condition; soil organic carbon; yield of broad bean

土壤作为陆地生态系统最大的碳库,土壤呼吸作为陆/气间碳通量的重要组成部分,是影响大气 CO₂浓度的关键因素之一^[1-2],而土壤呼吸受土壤温度、水分、土壤肥力、植被类型、耕作方式的影响^[3]。农田土壤有机碳库是土壤肥力的重要指标,是作物高产稳产的基础^[4]。据估计,全球陆地碳贮量的 10%以上都是农田土壤碳贮量。农田土壤碳贮量作为陆地土壤碳库最活跃的部分,对农田管理措施反应敏感,对固定大气 CO₂、减缓温室效应有巨大潜力。农田土壤有机碳固定是一个十分复杂的过程,受气候、土壤性质以及人为活动的影响。已有研究表明,合理的耕作方式、施肥可以促进农田土壤固碳^[5-6],提高有机碳含量,是实现温室气体减排的有效措施^[7-8]。我国农作物秸秆资源十分丰富,2008 年全国以玉米、小麦为主的秸秆总量高达 94 283.12 万 t,且逐年增加^[9],但秸秆处理的不合理带来了许多的生态环境危害,如加剧温室效应、造成大气环境质量下降、能源大量浪费、引起火灾等^[10]。所以,如何合理有效地利用废弃秸秆已成为我国农业生产面临的关键问题。农作物秸秆中含有丰富的碳源^[11],还田则是其中较为有效的秸秆利用方式,不仅可以有效降低秸秆燃烧带来的资源浪费和环境问题,而且还可以增加土壤的有机质含量^[11-12],提高土壤质量,减少温室气体的排放^[13-14],促进农业可持续发展^[15]。已有研究表明,秸秆覆盖、垄作为主的保护性耕作在保土保水、改善土壤肥力、提高作物产量方面的效益显著^[16-18],但对于西南紫色土丘陵区旱作农田保护性耕作对蚕豆田土壤水热条件和有机碳变化方面尚缺乏深入研究。本试验选择紫色土丘陵区蚕豆/玉米/甘薯旱三熟模式中的蚕豆为研究对象,探讨不同耕作方式对土壤水热条件、有机碳含量和蚕豆产量的影响以及它们之间的相关关系,为蚕豆生产选择合理的耕作方式奠定科学基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验地位于重庆市北碚区西南大学教学试验

农场,北纬 29°51',东经 106°27',海拔 244 m,属亚热带季风湿润气候,年均太阳总辐射量为 87 108 kJ · cm⁻²,年均总日照时数 1 276.7 h,多年平均气温 18℃,≥10℃积温 5 979.5℃,夏季最高气温达 40℃左右,无霜期达 359 d,多年平均降雨量 1 133.7 mm。试验地土壤为旱地紫色土,坡度较缓,地力相对均匀。土壤容重 1.21 g · cm⁻³,pH 值为 6.47,土壤有机质含量 28.00 g · kg⁻¹,全氮含量 1.68 g · kg⁻¹,全磷含量 1.46 g · kg⁻¹,全钾含量 34.54 g · kg⁻¹,速效磷含量 18.13 mg · kg⁻¹,速效钾含量 270.23 mg · kg⁻¹,碱解氮含量 35.23 mg · kg⁻¹。

试验地已连续 6 年开展旱三熟种植模式下的垄作和秸秆覆盖保护性耕作研究,每年的耕作处理保持一致。本研究于 2013 年 11 月至 2014 年 5 月以“蚕豆/玉米/甘薯”旱三熟种植模式中蚕豆农田为研究对象设置田间试验。其中参试作物为蚕豆 (*Vicia faba* L.),品种为“陵西一寸”;于 2013 年 11 月初种植,2014 年 5 月收获;蚕豆采取撬窝点播,种植在垄上,每条带 2 行,每行 12 窝,每窝 3 株,各处理均施复合肥 225 kg · hm⁻²(含 N15%、P₂O₅15%、K₂O15%),作为基肥在播种的同时施入。试验共设 6 个处理(如表 1),采用随机区组排列,每个小区的面积为 28.8 m²,长 8.0 m,宽 3.6 m。每个小区均分四厢共八个条带,每个条带宽度为 1.0 m,长度为 3.6 m。每个处理重复 3 次。覆盖处理所用的玉米秸秆,收获后直接覆盖于小区内,半量覆盖处理下的小区覆盖秸秆 10.8 kg(折合 3 750 kg · hm⁻²),全量覆盖处理下的小区覆盖秸秆 21.6 kg(折合 7 500 kg · hm⁻²)。田间管理措施同常规。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 土壤水分及温度测定 分别在蚕豆的苗期(2013 年 12 月 3 日)、分枝期(2014 年 1 月 3 日)、现蕾期(2014 年 2 月 3 日)、结荚期(2014 年 3 月 6 日)、成熟期(2014 年 5 月 1 日),钻取 0~20 cm 垄上耕层土壤,每个小区随机选取 5 个采样点。土壤水分采用干燥恒重法测定,取平均值。

土壤温度采用 PC2850 测定 20 cm 处垄上土壤温度,每个小区随机取 5 个点,取平均值。

表1 试验处理描述
Table 1 Treatment descriptions

代码 Code	处理 Treatment	具体措施 Specific measure
T	平作 Traditional tillage	整个试验期平作 Traditional tillage during the whole experimental period
R	垄作 Ridge tillage	整个试验期起垄, 垄高 20cm, 作物种植在垄上 Ridge tillage during the whole experimental period, 20cm high, the crops were planted on the ridge
TS ₁	平作+秸秆半量覆盖 Traditional tillage + half amount of straw mulching	整个试验期平作, 覆盖玉米秸秆量为 3 750 kg · hm ⁻² Traditional tillage during the whole experimental period, with 3 750 kg · hm ⁻² straw covered.
RS ₁	垄作+秸秆半量覆盖 Ridge tillage + half amount of straw mulching	整个试验期起垄, 覆盖玉米秸秆量为 3 750 kg · hm ⁻² Ridge tillage during the whole experimental period, with 3 750 kg · hm ⁻² straw covered
TS ₂	平作+秸秆全量覆盖 Traditional tillage + whole amount of straw mulching	整个试验期平作, 覆盖玉米秸秆量为 7 500 kg · hm ⁻² Traditional tillage during the whole experimental period, with 7 500 kg · hm ⁻² straw covered
RS ₂	垄作+秸秆全量覆盖 Ridge tillage + whole amount of straw mulching	整个试验期起垄, 覆盖玉米秸秆量为 7 500 kg · hm ⁻² Ridge tillage during the whole experimental period, with 7 500 kg · hm ⁻² straw covered

1.2.2 土壤有机碳含量测定 在蚕豆各生育期按照 5 点法取样, 每个处理 3 个重复, 以植株为中心, 以 15 cm 为半径将整个植株从土壤中挖出, 带回实验室后, 抖掉与根系松散结合的土壤, 作为非根际土壤, 然后用镊子刮取附在根系上的一薄层 (<10 mm) 土壤作为根际土壤^[19]。并将取得的土样弄碎混匀, 按 4 分法取样, 用塑料袋包好, 除去杂物后, 自然风干研磨。称取过 0.25 mm 筛的土样 0.15~0.2 g 于 900℃ 燃烧, 采用日本岛津总有机碳 (TOC) 分析仪 (SSM-5000A)。测定有机碳含量。经测定本试验地的土壤 pH 值低于 6.5, 偏酸性, 无机碳含量忽略不计, 总碳即为有机碳含量。

1.2.3 蚕豆产量、百粒重测定 产量: 于蚕豆收获期按小区收获, 产量为各小区蚕豆籽粒的风干重。百粒重: 随机选 100 粒蚕豆称其重量, 重复 3 次, 取其平均值。

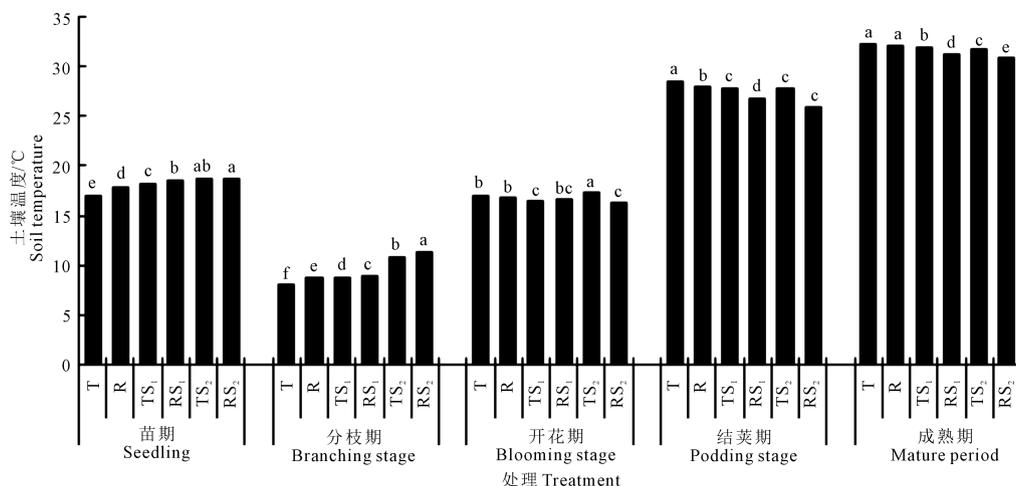
1.3 数据分析

用 Excel 2007 软件进行数据记录与处理, 并制作图表, 用 SPSS 17.0 软件进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式下土壤水热条件的变化

蚕豆整个生育期, 大气温度是先降低后上升, 土壤温度也随之先下降后上升 (图 1)。在苗期和分枝期, 各处理间土壤温度呈现 RS₂>RS₁>R, TS₂>TS₁>T 趋势, 而在结荚期和成熟期, 各处理间土壤温度呈现 RS₂<RS₁<R, TS₂<TS₁<T 趋势; 垄作与平作没有明显的趋势。且在苗期、分枝期、结荚期和成熟期, RS₂、RS₁、R 之间差异均达显著水平 ($P<0.05$); 在苗期、分枝期、开花期和成熟期, TS₂、TS₁、T 之间差异均达显著水平 ($P<0.05$)。说明秸秆覆盖在低温时具有“增温效应”, 而高温时则有“降温效应”,



注: 柱状图上不同小写字母表示同一时期不同处理间差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Notes: Small letters on the histogram show significant difference at $P<0.05$ among different treatments at same stage. The same below.

图1 不同处理土壤温度的动态变化

Fig.1 Dynamic changes of soil temperature under different treatments

而垄作的土壤温度与平作间没有明显的差异。

由图 2 可知,土壤水分在整个生育期一直保持在 20.09%~31.83%之间,总体表现为 $RS_2 > TS_2 > RS_1 > TS_1 > R > T$ 。在苗期、分枝期、开花期和成熟期, RS_2 土壤水分均显著高于 R ($P < 0.05$); 在分枝期、开花期和成熟期 TS_2 土壤水分均显著高于 T ($P < 0.05$); 在相同秸秆覆盖量下,分枝期 RS_2 土壤水分显著高于 TS_2 ($P < 0.05$), 开花期和成熟期, RS_1 土壤水分显著高于 TS_1 ($P < 0.05$), 其余时期垄作和平作差异均不显著。可见,垄作和秸秆覆盖可以在田间起到保墒作用,秸秆覆盖效果更为明显。

2.2 不同耕作方式对根际和非根际土壤有机碳含量的影响

由图 3 可知,整个生育时期各处理蚕豆根际土壤有机碳含量均高于对照 T , 但不同时期差异程度不同。在苗期, TS_2 和 RS_2 处理下的有机碳含量与 T 处理之间达到极显著差异 ($P < 0.01$), 分别比其高出 12.26%、14.09%; 与 TS_1 和 R 达到了显著性差异 ($P <$

0.05); 而 R 、 TS_1 、 RS_1 之间没有显著性差异。在分枝期, RS_2 处理下的有机碳含量与 T 处理之间达到极显著差异 ($P < 0.01$), 比其高出 21.23%; TS_2 的有机碳含量比 T 处理下增加 15.61%, 达到显著性差异 ($P < 0.05$); 而 R 、 TS_1 、 RS_1 与 T 无显著性差异。在开花期, RS_2 处理的有机碳含量比 T 、 R 、 TS_1 分别增加 21.04%、15.73%、18.64%, 且达到了极显著性差异 ($P < 0.01$); TS_2 的有机碳含量比 TS_1 、 R 分别增加了 13.04%、9.94%, 均达到了显著性差异 ($P < 0.05$)。在结荚期, RS_2 处理的有机碳含量比 T 、 R 、 TS_1 分别高出 22.39%、18.24%、18.24%, 且达到了极显著性差异 ($P < 0.01$); RS_1 和 TS_2 处理与 T 处理之间达到了显著性差异 ($P < 0.05$), 有机碳含量分别增加了 13.85%、14.71%。在成熟期, 各处理之间的差异显著性与结荚期一致。说明以 T 为对照, RS_2 、 TS_2 、 RS_1 、 TS_1 、 R 各处理均能提高蚕豆根际土壤有机碳含量, 其中以 RS_2 效果最为显著。无论在垄作或平作下, 全量秸秆覆盖均能显著提高蚕豆根际土壤有机碳

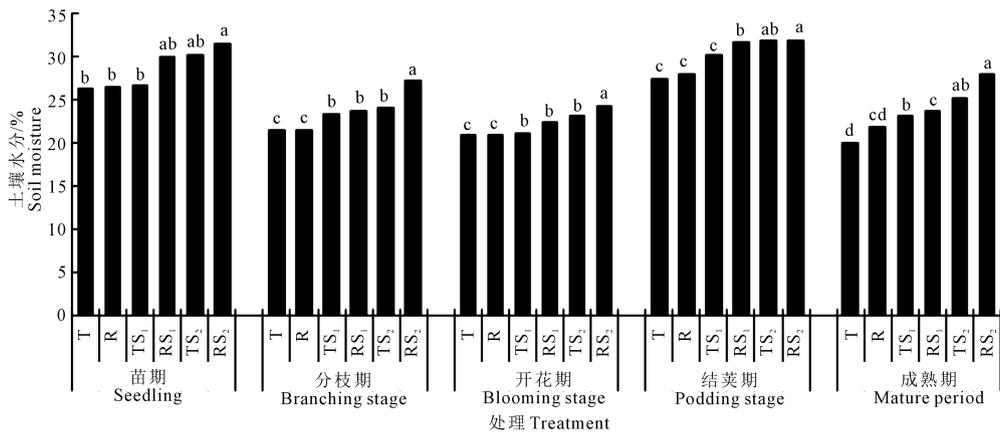
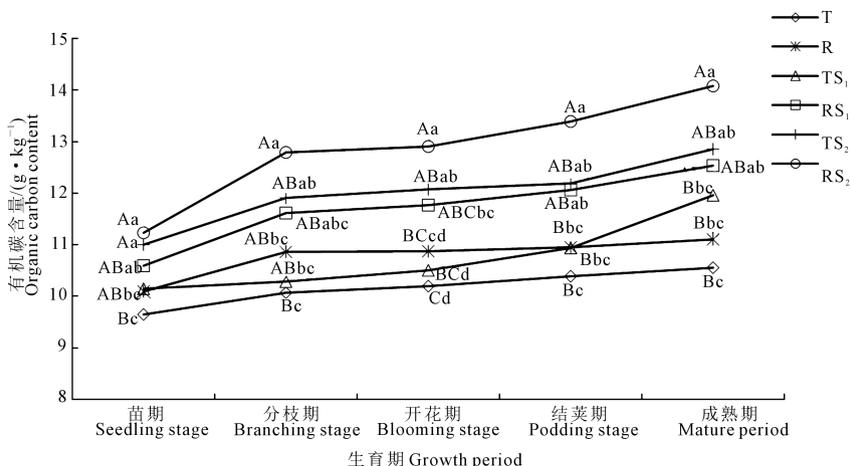


图 2 不同处理下土壤水分的动态变化

Fig.2 Dynamic changes of soil moisture under different treatments



注:不同小写字母表示同一时期不同处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平,不同大写字母表示同一时期不同处理间差异达 $P < 0.01$ 显著水平,下同。

Note: Small and capital letters indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level respectively among different treatments at same stage. The same below.

图 3 不同处理下根际土壤有机碳含量动态变化

Fig.3 Dynamic changes of organic carbon content of rhizosphere soil under different treatment

含量;在相同秸秆覆盖量下,垄作与平作差异不显著。

图4为非根际土壤有机碳含量的动态变化。在整个生育期内,RS₂处理的非根际土壤有机碳含量与T处理之间都达到了极显著差异($P<0.01$)。在苗期,TS₁、RS₁、TS₂处理和T、R之间都达到了显著性差异($P<0.05$)。在分枝期,RS₂处理极显著高于T、R、TS₁处理($P<0.01$),显著高于RS₁处理($P<0.05$);RS₁处理极显著高于T、R处理($P<0.01$),显著高于TS₁处理($P<0.05$);R处理显著高于T处理($P<0.05$)。在开花期,TS₂显著高于T处理($P<0.05$),RS₂显著高于T、R($P<0.05$)处理,其他处理间无明显差异。在结荚期,RS₂、RS₁、TS₂处理显著高于T处理($P<0.05$),其他处理间无明显差异。在

成熟期,RS₂、RS₁和TS₂处理极显著高于T、R、TS₁处理($P<0.01$)处理,其他处理间无明显差异。说明以T为对照,RS₂、TS₂、RS₁、TS₁、R各处理均能提高蚕豆非根际土壤有机碳含量,其中以RS₂效果最为显著。无论在垄作或平作下,全量秸秆覆盖均能显著提高蚕豆非根际土壤有机碳含量;在相同秸秆覆盖量下,垄作与平作差异不显著。

由图3、图4可以看出,在秸秆覆盖处理下(RS₂、TS₂、RS₁、TS₁),土壤根际、非根际有机碳含量随蚕豆的生育进程均基本呈上升趋势。这可能是由于0~20cm耕层土壤有机碳含量的变化主要受到耕作因素的影响,随着蚕豆生育进程,覆盖在土壤表层的秸秆进一步腐解,土壤有机质含量增加,进而增加土壤有机碳含量。

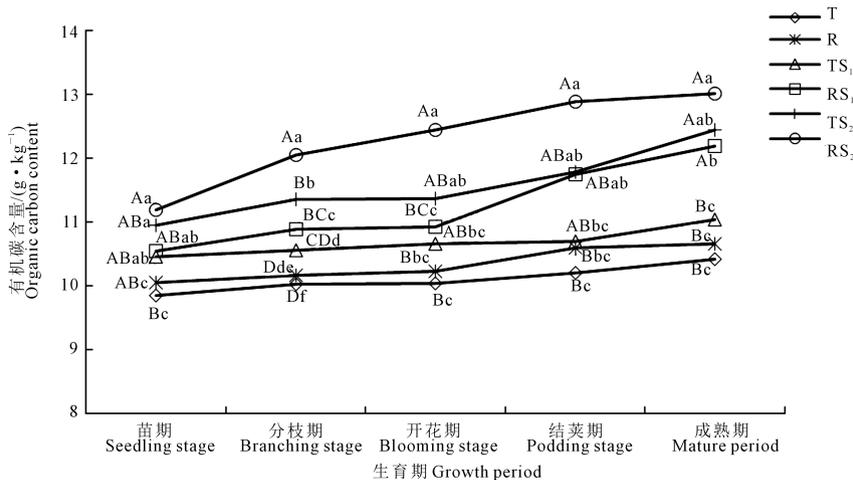


图4 不同处理下非根际土壤有机碳含量动态变化

Fig.4 Dynamic changes of organic carbon content of non-rhizosphere soil under different treatment

2.3 不同耕作方式对蚕豆产量的影响

由图5、图6可知,不同耕作方式对蚕豆产量和百粒重的影响不同。T、R、TS₁、RS₁、TS₂、RS₂处理的蚕豆产量分别为3 349、3 468、3 657、3 680、3 710、3 769 kg·hm⁻²,与对照T相比,R、TS₁、RS₁、TS₂、RS₂处理的蚕豆产量分别增产3.55%、9.20%、9.88%、10.78%、12.54%。表明不同耕作方式对蚕豆产量影响存在差异,垄作和秸秆覆盖都有利于提高产量,在相同耕作方式下,全量秸秆覆盖>半量秸秆覆盖>无秸秆覆盖。不同耕作方式下蚕豆的百粒重保持在56.10~65.80 g之间,以T为对照,R、TS₁、RS₁、TS₂、RS₂的百粒重比对照增加0.10%、3.03%、4.11%、6.92%、14.7%。说明垄作和秸秆覆盖也能提高蚕豆的百粒重,其中RS₂效果最为显著。而蚕豆的百粒重是产量的重要构成因素,提高百粒重是蚕豆增产的关键。

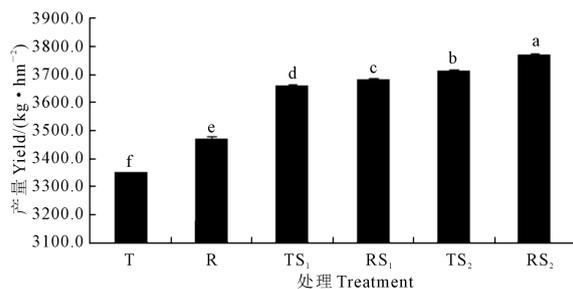


图5 不同耕作方式对蚕豆产量的影响

Fig.5 Effects of tillage modes on yield of broad bean

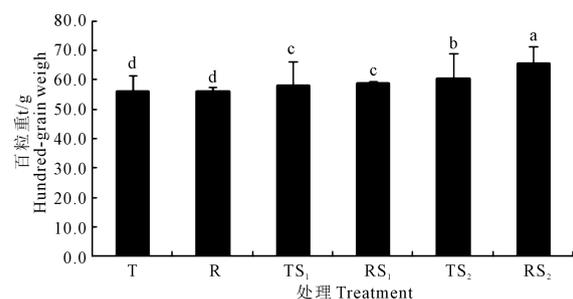


图6 不同耕作方式对蚕豆百粒重的影响

Fig.6 Effects of tillage modes on hundred-grain weight of broad bean

2.4 土壤有机碳含量与蚕豆产量之间的相关性

相关分析表明,蚕豆根际土壤和非根际土壤有机碳含量与蚕豆产量均呈显著正相关($P < 0.05$),相关系数分别为 0.865 和 0.892。可见,垄作和秸秆覆盖下,蚕豆产量的增加与蚕豆根际和非根际土壤有机碳含量的增加存在密切的关系。

3 讨论

西南紫色土丘陵区虽然降水资源较丰富,但季节性干旱发生频率较高,其中冬旱、春旱常常对蚕豆生产构成威胁^[16]。本试验研究表明,垄作处理各生育期的含水量高于传统耕作,说明垄作可以有效地提高蚕豆根际土壤的含水量,为植株生长提供充足的水分。而秸秆覆盖处理的含水量一直高于传统耕作,是因为秸秆覆盖既可以减少水分的蒸发,同时秸秆本身也可以吸收大量的水分,起到保墒的作用,从而提高土壤的含水量。因而,垄作和秸秆覆盖均有利于克服季节性干旱对蚕豆生产的影响。

垄作在土壤的温度方面与传统耕作没有显著差异,并没有表现出郭仁卿研究得出的垄作可以增温的效果^[20],其原因在于,在冬季和春季,西南丘陵区太阳辐射较差,限制了垄作增温效应的发挥。在苗期和分枝期,秸秆覆盖处理的土壤温度明显高于不覆盖处理,是因为当大气温度较低时,秸秆覆盖阻止了土壤与外界的直接接触,起到保温作用,秸秆覆盖量越多,保温效果越好;在结荚期和成熟期,秸秆覆盖处理的土壤温度明显低于不覆盖处理,是因为大气温度较高,秸秆覆盖使土壤避免了太阳的直射,起到降温作用,秸秆覆盖量越多,降温效果越好,这与蔡太义的研究结果一致^[21-22]。因而,秸秆覆盖可以有效地缓解温度剧烈波动对蚕豆生长发育造成的不利影响。

土壤有机碳是指进入土壤的植物、动物及微生物体的遗体、排泄物、分泌物及其分解、合成的有机物质中的碳。首先,它是植物养分的来源,在有机碳分解过程中将逐步地释放出植物生长所必需的氮、磷、硫等营养元素;其次,有机碳可以改善土壤的结构性能及物理、化学和生物学性质^[23]。前人研究^[24-25]认为秸秆覆盖强化了土壤有机质的积累,改善了土壤碳库组成,垄作能够提高土壤表层有机质含量。崔凤娟研究^[26]认为秸秆覆盖对于提高土壤有机碳库的贡献大于传统耕作。本研究表明,垄作和秸秆覆盖都能提高土壤的有机碳含量,其中 RS_2

处理下效果最好,且根际土壤中的有机碳含量稍大于非根际土壤。从苗期到成熟期,土壤有机碳含量有一定的上升趋势,其增加幅度为 0.047~0.168 个百分点,这可能是因为,随着秸秆的腐烂,土壤中的有机质增加。

土壤有机碳是反映土壤肥力的重要指标^[27],土壤肥力好,则促进作物产量提高,作物生产力与土壤质量的高低密切相关。许多研究表明,保护性耕作可以提高作物产量 15%~17%。孙向辉研究^[28]得出垄作栽培小麦产量较传统平作有显著提高。薛兰兰研究^[29]结果表明,秸秆覆盖既可提高油菜的株高,又可提高产量。本试验中,与 T 处理相比,不同保护性耕作方式对蚕豆的产量都有促进作用。 RS_2 处理下的蚕豆产量最高,而蚕豆的百粒重是产量的重要构成因素, RS_2 处理下百粒重也最大,说明垄作和秸秆覆盖都有利于提高产量,且秸秆覆盖量越大,产量越高。同时本研究表明,蚕豆产量与蚕豆根际、非根际土壤有机碳均呈显著正相关,说明垄作和秸秆覆盖在促进土壤固碳的同时也提高了蚕豆的产量。

4 结论

1) 秸秆覆盖在低温时具有“增温效应”,而高温时则有“降温效应”,而垄作的土壤温度与平作间没有明显的差异。垄作和秸秆覆盖在田间均起到保墒作用。

2) 垄作和秸秆覆盖能提高土壤的有机碳含量,其中 RS_2 效果最显著。随着蚕豆的生长,土壤的有机碳含量随之缓慢增加。不同处理间的有机碳含量表现出 $RS_2 > TS_2 > RS_1 > TS_1 > R > T$ 的趋势。

3) 垄作和秸秆覆盖能提高蚕豆的产量和百粒重。与对照 T 相比,R、 TS_1 、 RS_1 、 TS_2 、 RS_2 处理的蚕豆产量分别增加 3.55%、9.20%、9.88%、10.78%、12.54%,百粒重分别增加 0.10%、3.03%、4.11%、6.92%、14.7%。

4) 蚕豆产量与土壤有机碳含量呈显著正相关。

参考文献:

- [1] 方精云,王妮. 作为地下过程的土壤呼吸:我们理解了多少?[J]. 植物生态学报, 2007, 31(3):345-347.
- [2] Davidson E A, Janssens I A, Luo Y Q. On the variability of respiration in terrestrial ecosystems: Moving beyond Q10 [J]. Global Change Biology, 2006, 129(2):154-164.
- [3] 杨庆朋,徐明,刘洪升,等. 土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性[J]. 生态学报, 2011, 31(8):2301-2311.

- [4] Lal R. Soil science and the carbon civilization [J]. Soil Science Society of America Journal, 2007, 71(5): 1425-1437.
- [5] Huang X X, Gao M, Wei C F, et al. Tillage effect on organic carbon in a purple paddy soil [J]. Pedosphere, 2006, 16(5): 660-667.
- [6] Sainju U M, Singh B P, Whitehead W F, et al. Carbon supply and storage in tilled and non-tilled soils as influenced by cover crops and nitrogen fertilization [J]. Journal of Environment Quality, 2006, 35(4): 1507-1517.
- [7] Yoo G, Wander M. Tillage effects on aggregate turnover and sequestration of particulate and humified soil organic carbon [J]. Soil Science Society of America Journal, 2008, 72(3): 670-676.
- [8] Lu F, Wang X, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's crop land [J]. Global Change Biology, 2009, 15(2): 281-305.
- [9] 毕于运, 王红彦, 王道龙, 等. 中国稻草资源量估算及其开发利用[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 137-143.
- [10] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对剖面土壤肥力质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 587-592.
- [11] Bakken L R. Microbial growth and immobilization/mineralization of N in the rhizosphere [J]. Symbiosis (Rehovot), 1990, 9(1-3): 37-41.
- [12] 毕明丽, 宇万太, 姜子绍, 等. 施肥和土壤管理对土壤微生物生物量碳、氮和群落结构的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 32-42.
- [13] 刘世平, 聂新涛, 张洪程, 等. 稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 48-51.
- [14] 吴建富, 潘晓华, 石庆华, 等. 不同耕作方式对水稻产量和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 496-502.
- [15] 卜毓坚. 不同耕作方式和稻草还田量对晚稻生长发育与土壤肥力的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [16] 王龙昌, 谢小玉, 张臻, 等. 论西南季节性干旱区节水型农作制度的构建[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(02): 1-6.
- [17] 张云兰, 王龙昌, 邹聪明, 等. 高温伏旱区麦/玉/薯三熟制保护性耕作旱地土壤水分动态及产量效应[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 16-21.
- [18] 邹聪明, 胡小东, 张云兰, 等. 保护性耕作农田耕层土壤养分含量动态变化研究[J]. 农机化研究, 2011, 33(2): 97-101.
- [19] 胡小加. 根际微生物与植物营养[J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(3): 77-79.
- [20] 郭仁卿, 梁光, 刘汉中. 垄作对土壤热状况的影响[J]. 土壤肥料, 1991, (3): 23-25.
- [21] 蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 等. 中国旱作农区不同量秸秆覆盖综合效应研究进展 I. 不同量秸秆覆盖的农田生态环境效应[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 29(5): 63-68.
- [22] 郭朝晖, 张杨珠, 黄子尉. 根际微域营养研究进展(1)[J]. 土壤通报, 1999, 30(1): 46-50.
- [23] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [24] 蔡太义. 渭北旱原不同量秸秆覆盖对农田环境及春玉米生理生态的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [25] 高明. 稻田长期垄作免耕下土壤肥力及环境效应的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2001.
- [26] 崔凤娟, 刘景辉, 李立军, 等. 免耕秸秆覆盖对土壤活性有机碳库的影响[J]. 西北农业学报, 2012, (21) 09: 195-200.
- [27] 徐明岗, 梁国庆, 张夫道, 等. 中国土壤肥力演变[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [28] 孙向辉. 垄作栽培对冬小麦根际土壤环境及产量和品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2006.
- [29] 薛兰兰. 秸秆覆盖保护性种植的土壤养分效应和作物生理生化响应机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.