

双季稻区冬季覆盖作物残茬还田 对水稻生物学特性和产量的影响

唐海明 汤文光 肖小平* 杨光立

(湖南省农业科学院 土壤肥料研究所 湖南 长沙 410125)

摘要: 研究冬季不同覆盖作物还田后水稻生物学特性和产量经济性状的变化,对合理利用冬闲稻田,发展冬季覆盖作物,以及科学评价不同种植模式具有重要意义。本研究采用田间小区试验方法,研究冬季不同覆盖作物处理(免耕直播黑麦草-双季稻、免耕直播紫云英-双季稻、免耕直播油菜-双季稻、免耕稻草覆盖马铃薯-双季稻和冬闲-双季稻)残茬还田对水稻生物学特性和产量经济性状的影响。结果表明:冬季覆盖作物残茬还田后,早、晚稻分蘖期至成熟期,各处理植株根系、茎、叶干质量均高于对照,但与对照均无显著差异;早稻齐穗期和成熟期,免耕直播紫云英-双季稻处理穗干质量均显著高于对照和其它处理;晚稻齐穗期和成熟期,免耕稻草覆盖马铃薯-双季稻处理穗干质量显著高于对照和其它处理。早稻有效穗分别比对照增加 31.45、37.30、15.25、28.60 万/hm²,结实率分别增加 4.83%、12.29%、11.35% 和 8.39%,千粒质量分别增加 0.87、0.31、0.54、0.93 g,产量分别增加 420.70、424.72、282.76、317.25 kg/hm²;晚稻有效穗分别比对照增加 30.20、33.55、13.45、36.90 万/hm²,结实率分别增加 2.38%、5.03%、1.56% 和 6.05%,千粒质量分别增加 0.63、0.72、0.38、0.78 g,产量分别增加 248.28、427.60、179.32、455.18 kg/hm²。在双季稻田种植冬季覆盖作物,采用冬季覆盖作物残茬还田可促进水稻生长发育和干物质积累,改善水稻产量构成因素,有利于水稻产量的增加。

关键词: 冬季覆盖作物; 双季稻; 残茬还田; 生物学特性; 产量

中图分类号: S511.4⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)02-0213-07

Effects of Straw Recycling of Winter Covering Crop on Biological Characteristics of Plants and Yield of Rice in Paddy Field

TANG Hai-ming, TANG Wen-guang, XIAO Xiao-ping*, YANG Guang-li

(Soil and Fertilizer Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China)

Abstract: To learn the biological characteristics of plants and yield traits of rice in paddy fields with different double rice cropping patterns will significantly benefit the exploitation of winter fallow paddy with covering crops and the assessment of rice cropping patterns. Therefore, the effects of straw recycling of winter covering crops on biological characteristics of plants and yield traits of rice in paddy fields were studied. The field experiments were conducted with plot field trial. The treatments included ryegrass with no-tillage and double rice cropping (T₁), Chinese milk vetch with no-tillage and double rice cropping (T₂), rape seed with no-tillage and double rice cropping (T₃), potato with straw mulching and no-tillage and double rice cropping (T₄) and fallow and double rice cropping (CK). The results showed that straw recycling of winter covering

收稿日期: 2011-10-09 修回日期: 2011-11-25

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201103001)和国家“十一五”科技支撑计划项目(2008BAD95B02)

作者简介: 唐海明(1980—)男,助理研究员,博士,主要从事耕作生态学和农作制研究, E-mail: tanghaiming66@163.com;

* 通讯作者, 肖小平, 研究员, E-mail: hntfsxxping@163.com。

crops significantly increased the dry weight of root, stem and leaves of plant both during the early and later rice growing seasons compared with the CK. The T_2 treatment had the largest dry weight of panicle during the early rice heading stage and mature stage, while the T_4 treatment had the largest dry weight of panicle during the later rice heading stage and mature stage. Compared with the control, the number of effective tillers of early rice with T_1 , T_2 , T_3 and T_4 increased by $31.45 \times 10^4/\text{hm}^2$, $37.30 \times 10^4/\text{hm}^2$, $15.25 \times 10^4/\text{hm}^2$ and $28.60 \times 10^4/\text{hm}^2$, seed setting rate increased by 4.83%, 12.29%, 11.35% and 8.39%, 1 000-grain weight increased by 0.87, 0.31, 0.54 and 0.93 g, respectively. Therefore the grain yields of early rice increased by $420.70 \text{ kg}/\text{hm}^2$, $424.72 \text{ kg}/\text{hm}^2$, $282.76 \text{ kg}/\text{hm}^2$ and $317.25 \text{ kg}/\text{hm}^2$, respectively. The number of effective tillers of later rice with T_1 , T_2 , T_3 and T_4 increased by $30.20 \times 10^4/\text{hm}^2$, $33.55 \times 10^4/\text{hm}^2$, $13.45 \times 10^4/\text{hm}^2$ and $36.90 \times 10^4/\text{hm}^2$, seed setting rate increased by 2.38%, 5.03%, 1.56% and 6.05%, 1 000-grain weight increased by 0.63, 0.72, 0.38 and 0.78 g, respectively. Therefore the grain yields of later rice increased by $248.28 \text{ kg}/\text{hm}^2$, $427.60 \text{ kg}/\text{hm}^2$, $179.32 \text{ kg}/\text{hm}^2$ and $455.18 \text{ kg}/\text{hm}^2$, respectively. As a whole, straw recycling of winter covering crops will significantly promote the growth and development and dry matter accumulation of rice under double rice cropping systems, and thereby improve yield and yield components of rice.

Key words: winter cover crop; double rice cropping; straw recycling; biological characteristics; grain yield

据统计,我国南方稻区约有冬闲田 2 000 万 hm^2 ^[1],土地、温度、光照、水分、肥力等自然资源丰富,适宜发展多熟制生产。改革开放以来,随着经济发展、农村剩余劳动力战略转移和农村产业结构调整,冬季农业生产呈逐渐下降的变化趋势,导致冬闲田面积急剧加大,冬季稻田覆盖度进一步降低,造成了资源和能量的浪费,严重制约了该区域农业的可持续发展。农田冬季覆盖作物是可持续农业发展的重要组成部分,有利于提高土壤有机质含量、土壤质量、土壤养分利用和作物产量、减少土壤侵蚀,并且能够抑制杂草生长^[2-5]。若能充分利用南方稻田冬、春自然资源,进行稻田冬季覆盖作物栽培,可增加冬季稻田绿色作物覆盖度,减少冬季裸露,增加单位面积生物产量和土壤有机碳,抑制硝态氮淋溶,增加碳、氮蓄积,改善农田生态环境,有利于确保粮油作物生产安全。目前,关于我国南方稻田不同冬季覆盖作物对土壤养分、土壤生物特征影响的研究较多^[6-9],对水稻植株生物学特性、生理生化及产量性状的研究较少^[10-11],缺乏对水稻整个生育期植株生物学特性的系统研究。因此,本文以冬闲-双季稻为对照,初步探讨了免耕直播黑麦草-双季稻、免耕直播紫云英-双季稻、免耕直播油菜-双季稻和免耕稻草覆盖马铃薯-双季稻 4 种不同冬季覆盖作物对水稻植株生物学特性及产量经济性状的影响,以期为合理利用南方冬闲田,发展冬季覆盖作物生产提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验地点位于湖南省长沙县干杉乡大屋组(28°08'18" N, 113°12'0" E),海拔 42 m。试验土壤为第四纪红壤母质发育的红黄泥。试验前耕层土壤基础养分性状为:有机质含量 33.9 g/kg,全氮 2.02 g/kg,全磷 0.64 g/kg,全钾 9.2 g/kg,碱解氮 172.0 mg/kg,有效磷 84.0 mg/kg,速效钾 87.0 mg/kg, pH 值 5.4。试验地属于亚热带季风性湿润气候,年平均气温为 17.1 °C,年降水量在 1 500 mm 左右,≥10 °C 的活动积温 5 300~6 500 °C,无霜期 260~310 d。

1.2 试验设计及田间管理

设冬闲-双季稻(CK)、免耕直播黑麦草-双季稻(T_1)、免耕直播紫云英-双季稻(T_2)、免耕直播油菜-双季稻(T_3)和免耕稻草覆盖马铃薯-双季稻(T_4) 5 个处理,每处理 3 次重复,随机区组排列,小区面积 24.2 m^2 。小区四周加设保护行,小区间采用完全阻渗处理。即在小区四周和田埂用塑料膜(厚 0.06 mm)围墙,至土表下 25~30 cm 深,以防止侧渗对试验的影响。于 2009 年 10 月 8 日进行黑麦草和紫云英播种,黑麦草供试品种为“多花黑麦草超高”,播种量为 $22.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$;紫云英品种为“宁波大

桥”播种量为 37.5 kg/hm²;油菜品种为“湘杂油 7 号”,于 10 月 12 日进行免耕直播,播种量为 3.0 kg/hm²;马铃薯品种为“东农 303”,11 月 30 日播种 6.9 万株/hm²。冬季作物播种和移栽前,基肥均施 N 75 kg/hm²和 P₂O₅ 45 kg/hm²;于 11 月 25 日对黑麦草、紫云英和油菜追施 N 55.2 kg/hm²;12 月 1 日对紫云英追施 P₂O₅ 32.4 kg/hm²;2010 年 2 月 5 日对油菜追施 N 55.2 kg/hm²,同时黑麦草第一次刈割后,追施 N 55.2 kg/hm²;3 月 7 日,黑麦草进行第 2 次刈割后追施 N 55.2 kg/hm²;4 月 23 日,冬季作物翻压(冬闲田杂草、黑麦草和紫云英还田量分别为 694.05、22 500.0、22 500.0 kg/hm²);4 月 30 日,油菜收获后,部分秸秆直接翻压还田(还田量为 7 500.0 kg/hm²);5 月 3 日,马铃薯收获后,部分秸秆和稻草直接翻压还田(还田量分别为 6 000 和 15 000 kg/hm²)。早稻供试品种为“株两优 211”,于 2010 年 4 月 18 日播种,5 月 11 日移栽插秧,插秧 7 d 后追施尿素 150.0 kg/hm²,7 月 22 日收获。晚稻供试品种为“丰源优 299”,于 7 月 2 日播种,7 月 24 日移栽插秧,插秧 7 d 后追施尿素 192.0 kg/hm²,10 月 29 日收获。水分管理采用传统的前期淹水、中期烤田、后期干湿交替的管理模式,其他管理措施同常规大田生产。

1.3 测定项目、方法和数据处理

水稻移栽后,分别于早稻分蘖期(6 月 4 日)、孕穗期(6 月 16 日)、齐穗期(6 月 28 日)和成熟期(7

表 1 不同冬季覆盖作物还田对早稻植株干物质积累的影响

Tab. 1 Effects of straw recycling of winter covering crops on biomass accumulation of early rice

项目 Item	处理 Treatment	生育期 Growth stage			
		分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	齐穗期 Heading stage	成熟期 Mature stage
根系干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of root	T ₁	0.55 ± 0.08a	0.55 ± 0.10a	0.87 ± 0.34a	0.65 ± 0.12a
	T ₂	0.61 ± 0.10a	0.65 ± 0.02a	0.96 ± 0.12a	0.75 ± 0.17a
	T ₃	0.40 ± 0.07a	0.50 ± 0.14a	0.74 ± 0.16a	0.54 ± 0.34a
	T ₄	0.42 ± 0.05a	0.54 ± 0.04a	0.80 ± 0.16a	0.60 ± 0.17a
	CK	0.38 ± 0.11a	0.50 ± 0.10a	0.71 ± 0.07a	0.50 ± 0.12a
茎干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of stem	T ₁	0.40 ± 0.04a	1.15 ± 0.06a	1.22 ± 0.11a	1.08 ± 0.04a
	T ₂	0.37 ± 0.02a	1.12 ± 0.04a	1.18 ± 0.16a	1.05 ± 0.04ab
	T ₃	0.33 ± 0.05a	0.98 ± 0.03a	1.04 ± 0.04a	0.96 ± 0.04ab
	T ₄	0.35 ± 0.01a	0.99 ± 0.06a	1.17 ± 0.13a	0.98 ± 0.01ab
	CK	0.30 ± 0.02a	0.93 ± 0.01a	1.00 ± 0.25a	0.93 ± 0.07b
叶干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of leaf	T ₁	0.31 ± 0.01a	0.52 ± 0.03a	0.45 ± 0.05a	0.40 ± 0.02a
	T ₂	0.33 ± 0.01a	0.54 ± 0.04a	0.46 ± 0.04a	0.42 ± 0.01a
	T ₃	0.34 ± 0.01a	0.54 ± 0.04a	0.47 ± 0.03a	0.43 ± 0.02a
	T ₄	0.36 ± 0.03a	0.57 ± 0.06a	0.52 ± 0.03a	0.43 ± 0.04a
	CK	0.31 ± 0.02a	0.52 ± 0.01a	0.43 ± 0.02a	0.39 ± 0.02a
穗干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of panicle	T ₁	—	—	1.41 ± 0.09ab	2.78 ± 0.11ab
	T ₂	—	—	1.51 ± 0.04a	2.88 ± 0.09a
	T ₃	—	—	1.30 ± 0.12ab	2.63 ± 0.15ab
	T ₄	—	—	1.35 ± 0.12ab	2.68 ± 0.21ab
	CK	—	—	1.21 ± 0.02b	2.38 ± 0.18b

T₁: 免耕直播黑麦草 - 双季稻; T₂: 免耕直播紫云英 - 双季稻; T₃: 免耕直播油菜 - 双季稻; T₄: 免耕稻草覆盖马铃薯 - 双季稻; CK: 冬闲田 - 双季稻。同列中的不同小写字母代表差异显著 ($P \leq 0.05$)。“—”为未测出。

T₁: Ryegrass with no-tillage and double rice cropping; T₂: Chinese milk vetch with no-tillage and double rice cropping; T₃: Rape seed with no-tillage and double rice cropping; T₄: Potato with straw mulching and no-tillage and double rice cropping; CK: Fallow and double rice cropping. Different lowercase letters in each column are significant differences at $P \leq 0.05$. “—” was not detected.

月 21 日) 晚稻分蘖期(8 月 22 日)、孕穗期(9 月 8 日)、齐穗期(9 月 17 日)和成熟期(10 月 28 日) 8 个时期,每个小区随机选择 5 穴水稻植株,每穴以植株为中心,取长 25 cm、宽 16 cm、深 20 cm 的土块,将根系用清水冲洗干净,注意避免丢失根量,用滤纸吸干附着水,在 105 °C 下杀青 10 min 后置于 70 °C 恒温下烘至恒质量,分别测定植株根系、地上部分(茎、叶、穗)的干质量。

同时,分别在早、晚稻收获前,于每小区随机选择 5 穴进行水稻植株的株高、有效穗数、穗长、每穗总粒数、结实率和千粒质量等指标的调查,计算其平均值;同时,测定各小区的水稻实际产量。

用 Excel 进行试验数据处理,用 DPS 统计软件进行试验数据的方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同冬季覆盖作物对早稻植株干物质积累的影响

不同冬季覆盖作物还田后对水稻植株干物质积累具有一定的影响。表 1 表明,早稻分蘖期至成熟期,各处理植株根系、茎、叶干质量均高于对照,但与对照均无显著差异,根系干质量大小顺序为 $T_2 > T_1 > T_4 > T_3$,茎干质量为 $T_1 > T_2 > T_4 > T_3$,叶干质量为 $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ 。齐穗期和成熟期, T_2 处理穗干质量均显著高于对照和其它处理,大小顺序为 $T_2 > T_1 > T_4 > T_3$ 。

表 2 不同冬季覆盖作物还田对晚稻植株干物质积累的影响

Tab.2 Effects of straw recycling of winter covering crops on biomass accumulation of later rice

项目 Item	处理 Treatment	生育期 Growth stage			
		分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	齐穗期 Heading stage	成熟期 Mature stage
根系干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of root	T ₁	0.68 ± 0.26a	1.63 ± 0.35a	1.19 ± 0.26a	0.71 ± 0.02ab
	T ₂	0.67 ± 0.08a	1.19 ± 0.22a	1.00 ± 0.20a	0.67 ± 0.09ab
	T ₃	0.56 ± 0.11a	1.08 ± 0.23a	0.99 ± 0.44a	0.60 ± 0.07ab
	T ₄	0.77 ± 0.12a	1.84 ± 0.27a	1.36 ± 0.09a	0.72 ± 0.08a
	CK	0.53 ± 0.04a	1.05 ± 0.26a	0.93 ± 0.11a	0.51 ± 0.01b
茎干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of stem	T ₁	0.79 ± 0.06a	1.66 ± 0.17a	1.73 ± 0.16a	1.28 ± 0.03bc
	T ₂	0.85 ± 0.13a	1.72 ± 0.13a	1.89 ± 0.14a	1.42 ± 0.02ab
	T ₃	0.80 ± 0.03a	1.68 ± 0.14a	1.82 ± 0.08a	1.34 ± 0.03bc
	T ₄	0.99 ± 0.01a	1.74 ± 0.16a	1.90 ± 0.06a	1.55 ± 0.03a
	CK	0.69 ± 0.05a	1.58 ± 0.16a	1.59 ± 0.21a	1.24 ± 0.11c
叶干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of leaf	T ₁	0.69 ± 0.04b	0.88 ± 0.07ab	0.69 ± 0.07ab	0.62 ± 0.03ab
	T ₂	0.71 ± 0.02b	0.90 ± 0.03ab	0.79 ± 0.05ab	0.66 ± 0.02ab
	T ₃	0.75 ± 0.04ab	0.97 ± 0.03ab	0.94 ± 0.08ab	0.67 ± 0.05ab
	T ₄	0.84 ± 0.02a	1.02 ± 0.04a	0.98 ± 0.03a	0.71 ± 0.02a
	CK	0.66 ± 0.02b	0.80 ± 0.05b	0.63 ± 0.04b	0.58 ± 0.02b
穗干质量/(g·株 ⁻¹) Dry weight of panicle	T ₁	—	—	1.39 ± 0.03ab	2.86 ± 0.23abc
	T ₂	—	—	1.54 ± 0.04ab	2.95 ± 0.07ab
	T ₃	—	—	1.28 ± 0.04b	2.51 ± 0.05bc
	T ₄	—	—	1.75 ± 0.04a	3.32 ± 0.20a
	CK	—	—	1.12 ± 0.10c	2.33 ± 0.26c

T₁: 免耕直播黑麦草 - 双季稻; T₂: 免耕直播紫云英 - 双季稻; T₃: 免耕直播油菜 - 双季稻; T₄: 免耕稻草覆盖马铃薯 - 双季稻; CK: 冬闲田 - 双季稻。同列中的不同小写字母代表差异显著 ($P \leq 0.05$)。“—”为未测出。

T₁: Ryegrass with no-tillage and double rice cropping; T₂: Chinese milk vetch with no-tillage and double rice cropping; T₃: Rape seed with no-tillage and double rice cropping; T₄: Potato with straw mulching and no-tillage and double rice cropping; CK: Fallow and double rice cropping. Different lowercase letters in each column are significantly differences at $P \leq 0.05$. “—” was not detected.

2.2 不同冬季覆盖作物对晚稻植株干物质积累的影响

表 2 表明 晚稻分蘖期至齐穗期 各处理植株根系干质量均高于对照 但与对照均无显著差异 其大小顺序为 $T_4 > T_1 > T_2 > T_3$; 成熟期 T_4 处理植株根系干质量显著高于对照。分蘖期至齐穗期 各处理植株茎干质量均高于对照 其大小顺序为 $T_4 > T_2 > T_3 > T_1$; 成熟期 T_4 处理植株茎干质量显著高于对照和其它处理。晚稻各生育期 T_4 处理植株叶干质量均显著高于对照及其它处理 其大小顺序为 $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ 。齐穗期和成熟期 T_4 处理穗干质量均显著高于对照和其它处理 大小顺序为 $T_4 > T_2 > T_1 > T_3$ 。

2.3 不同冬季覆盖作物对水稻经济性状的影响

表 3 中显示 不同冬季覆盖作物还田对早稻产量性状有一定的影响。其中 T_2 和 T_4 处理早稻的株高高于对照和其它处理; 不同处理早稻有效穗数均高于对照 分别比对照增加 31.45 37.30 15.25 28.60 万/hm²; 各处理的穗长均明显高于对照; 不同处理的每穗总粒数均高于对照 分别比对照增加 1.3 4.5 10.5 1.2 粒/穗 但差异不明显; T_2 和 T_3 处理的结实率均显著高于对照和其它处理; 各处理的千粒质量分别比对照增加 0.87 0.31 0.54 0.93 g; 早稻产量均明显高于对照 分别比对照增加 420.70 424.72 282.76 317.25 kg/hm² 其顺序为 $T_2 > T_1 > T_4 > T_3$ 。

表 3 不同冬季覆盖作物还田对早稻产量及其构成因素的影响

Tab.3 Effects of straw recycling of winter covering crops on yield and yield components of early rice

项目 Item	处理 Treatment				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	CK
株高/cm Plant height	84.47 ± 1.25a	86.11 ± 1.68a	84.02 ± 3.20a	88.93 ± 2.19a	85.87 ± 1.07a
有效穗/(万·hm ⁻²) Number effective tillers	263.40 ± 7.77a	269.25 ± 7.14a	247.20 ± 7.52a	260.55 ± 6.12a	231.95 ± 7.60b
穗长/cm Panicle length	24.23 ± 0.35a	24.26 ± 0.20a	23.80 ± 0.31a	24.56 ± 0.24a	23.59 ± 0.96a
每穗总粒数/粒 Spikelet number per panicle	164.4 ± 15.2a	167.6 ± 2.9a	173.6 ± 3.1a	164.3 ± 7.8a	163.1 ± 9.1a
结实率/% Seed setting rate	64.46 ± 1.03ab	69.05 ± 2.67a	68.47 ± 1.09a	66.65 ± 2.27ab	61.49 ± 1.11b
千粒质量/g 1000 grain weight	24.91 ± 0.67a	24.35 ± 0.22a	24.58 ± 0.44a	24.97 ± 0.72a	24.04 ± 0.77a
产量/(kg·hm ⁻²) Grain yield	6 241.51 ± 115.20a	6 245.53 ± 114.78a	6 103.57 ± 161.30a	6 138.06 ± 190.49a	5 820.81 ± 41.95a

同行中的不同小写字母代表差异显著 ($P \leq 0.05$)。

Different lowercase letters in each line are significantly differences at $P \leq 0.05$.

表 4 表明 T_1 和 T_2 处理晚稻的株高高于对照和其它处理; 各处理晚稻的有效穗数均明显高于对照 分别比对照增加 30.20 33.55 13.45 36.90 万/hm²; T_4 处理晚稻的穗长为最长 显著高于对照和其它处理; 各处理的每穗总粒数均高于对照 分别比对照增加 11.17 23.34 9.40 27.84 粒/穗 其中 T_2 和 T_4 处理均显著高于对照; T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 处理的结实率均高于对照 其中 T_4 和 T_2 处理结实率均显著高于对照; 各处理的千粒质量分别比对照增加 0.63 0.72 0.38 0.78 g; 晚稻产量均明显高于对照 分别比对照增加 248.28 427.60 179.32 455.18 kg/hm² 其顺序为 $T_4 > T_2 > T_1 > T_3$ 。

表 4 不同冬季覆盖作物还田对晚稻产量及其构成因素的影响

Tab.4 Effects of straw recycling of winter covering crops on yield and yield components of later rice

项目 Item	处理 Treatment				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	CK
株高/cm Plant height	87.97 ± 0.29a	87.39 ± 1.45a	85.53 ± 1.37a	85.07 ± 0.64a	86.67 ± 0.33a
有效穗/(万·hm ⁻²) Number effective tillers	334.7 ± 24.12a	338.05 ± 18.65a	317.95 ± 5.80a	341.40 ± 13.40a	304.50 ± 34.98a
穗长/cm Panicle length	20.78 ± 0.15b	21.01 ± 0.18ab	20.70 ± 0.11b	21.41 ± 0.15a	20.60 ± 0.06b
每穗总粒数/粒 Spikelet number per panicle	142.00 ± 4.77ab	154.17 ± 8.20a	140.23 ± 3.45ab	158.67 ± 6.36a	130.83 ± 9.49b
结实率/% Seed setting rate	74.30 ± 0.43ab	76.22 ± 2.71a	73.70 ± 1.17ab	76.96 ± 5.77a	72.57 ± 2.76b
千粒质量/g 1000 grain weight	25.98 ± 0.47a	26.07 ± 0.74a	25.73 ± 0.65a	26.13 ± 0.37a	25.35 ± 0.57a
产量/(kg·hm ⁻²) Grain yield	7 089.80 ± 90.45ab	7 269.12 ± 13.79a	7 020.84 ± 205.98ab	7 296.70 ± 49.73a	6 841.52 ± 159.07b

同行中的不同小写字母代表差异显著 ($P \leq 0.05$)。

Different lowercase letters in each line are significantly differences at $P \leq 0.05$.

3 结论与讨论

前人开展了不同栽培方式、灌溉方式、覆盖方式和施肥水平对水稻生物学特性及干物质生产、积累

与分配等方面进行了相关研究^[12-19]。张鸿等^[20]研究认为,覆膜栽培可增加水稻根系质量。任成礼等^[21]研究表明,施用化学肥料可极显著地提高水稻植株各部位生物学产量。在本研究中,各处理早、晚稻植株的根系、地上部分(茎和叶)干质量均高于冬闲,这可能是不同冬季作物残茬还田后在土壤中进行分解,为水稻地下部分的生理活动提供了大量能源和增加了土壤中的营养物质,增强了水稻植株地下和地上部分的生理活性^[11],使根系的吸收、合成及运输能力大幅度上升,促进了植株对营养物质的吸收和水稻的生长,增加了植株地下和地上部分干物质积累。在早稻生育期,各处理不同部位干物质积累量大小顺序不同,这可能受还田冬季作物还田量、秸秆类型及秸秆在土壤中分解速率差异的影响,由于紫云英和黑麦草在稻田土壤中较易腐烂、分解,在分解过程中促进了微生物的活性^[8],增加了稻田土壤养分,为水稻植株提供相应的营养物质,从而增加了紫云英-双季稻和黑麦草-双季稻处理早稻植株根系和茎干物质的积累。同时,受不同还田作物秸秆还田量及作物秸秆在晚稻生育期分解程度的影响,各处理晚稻植株不同部位干物质的积累有所差别。其中,马铃薯地上茎和油菜的秸秆在早稻生育后期和晚稻整个生育期中的分解进程较缓慢、持续时间较长;且由于马铃薯处理在早稻翻耕时,不仅有马铃薯的部分地上茎翻压还田,还有部分覆盖稻草翻压还田,相应地增加了稻田土壤的营养物质,能为晚稻生长发育提供较多的营养物质,从而增加了马铃薯-双季稻晚稻植株地下和地上部的生长和干物质的积累。在冬闲田-双季稻处理中,冬季生长的杂草翻压后也能增加稻田的部分土壤养分。齐穗期和成熟期,各处理早、晚稻的穗干质量均高于冬闲,这可能是由于冬季作物残茬还田后,增加了土壤中营养物质,为水稻生长提供了良好的条件,增加了水稻植株营养物质的积累,生长后期能为水稻穗(库)的生长提供充足的营养物质,从而增加了水稻的穗干质量。各处理早、晚稻的穗干质量大小顺序不同,这可能与其在生育后期水稻植株各部位的干物质分配、茎鞘转运率差异及植株根系、剑叶生理活动强弱有关^[11]。

通过对稻田不同冬季覆盖作物种植模式的调整,不但具有节水增效、培肥地力的功能,还具有减少病虫害和防止杂草的作用。谢红梅等^[22]研究表明:与传统的种植模式相比,水稻-秋菜-春马铃薯、水稻-秋马铃薯/油菜和水稻-秋菜-小麦3种植模式下水稻个体长势好,群体发育的结构合理,分蘖较多、穗大、着粒数亦高,千粒质量和产量均有所提高。陈启德等^[23]通过定位试验研究表明,不同冬季绿肥覆盖,水稻产量增加范围在5%~26%。陈尚洪等^[24]通过油菜秸秆还田腐解特征及对土壤肥力影响的试验研究表明,秸秆含有丰富的养分,经腐解后给土壤提供了大量的氮、磷、钾。本试验研究结果表明:冬季覆盖作物残茬还田后,不仅有利于改善稻田土壤的生物活性,而且能增加土壤有机质和有效养分含量^[6],有利于培肥土壤,促进水稻植株对养分的吸收和生长发育,能有效地提高水稻的有效穗数及结实率(各处理早稻结实率分别比对照增加4.83%、12.29%、11.35%和8.39%,晚稻结实率分别比对照增加2.38%、5.03%、1.56%和6.05%),改善水稻的产量构成因素,从而不同程度地提高水稻产量。4种不同冬季覆盖作物的早稻产量分别比对照增加7.23%、7.30%、4.86%和5.45%;晚稻产量分别比对照增加3.63%、6.25%、2.62%和6.65%,这与王丽宏等^[7]的研究结果相一致。

本文主要是针对4种不同冬季覆盖作物残茬还田后对水稻植株生物学特性及产量经济性状的影响进行了初步分析比较,尚需对其增产的土壤微生物活动和土壤主要理化性状的变化影响的作用机理作进一步研究。

参考文献:

- [1]徐琪,杨林章,董元华,等.中国稻田生态系统[M].北京:中国农业出版社,1998:6-25.
- [2]Rittera W F, Scarborough R W, Chirside A E M. Winter cover crops as a best management practice for reducing nitrogen leaching[J]. Journal of Contaminant Hydrology, 1998, 34(1/2): 1-15.
- [3]Wrland L J, Jackson L E, Chaney W E, et al. Winter cover crops in vegetable cropping system: Impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, pests and management costs[J]. Agriculture Ecosystems Environment, 1996, 59: 1-17.
- [4]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]. Biological Agriculture & Horticulture, 1996, 13(1): 63-81.
- [5]Hermawan B, Bomke A A. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation[J]. Soil and Tillage Research, 1997, 44(1/2): 109-120.
- [6]唐海明,肖小平,汤文光,等.冬季覆盖植物对南方稻田土壤养分和水稻生长的影响[J].江西农业大学学报,2010,32

(1): 9-14.

- [7] 王丽宏, 胡跃高, 杨光立, 等. 南方冬季覆盖作物的碳蓄积及其对水稻产量的影响 [J]. 生态环境学报, 2006, 15(3): 616-619.
- [8] 王丽宏, 曾昭海, 杨光立, 等. 前茬冬季覆盖作物对稻田土壤的生物特征影响 [J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 164-167.
- [9] 卜洪震, 王丽宏, 肖小平, 等. 双季稻区稻田不同土壤类型的微生物群落多样性分析 [J]. 作物学报, 2010, 36(5): 826-832.
- [10] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 冬季覆盖作物对南方稻田水稻生物学特性及产量性状的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2010, 12(3): 108-113.
- [11] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 冬季覆盖作物对南方稻田水稻生理生化及生长特性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1176-1182.
- [12] 陈鸿飞, 林瑞余, 梁义元, 等. 不同栽培模式早稻-再生稻头季干物质积累运转特性研究 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 129-133.
- [13] 邓环, 曹凑贵, 程建平, 等. 不同灌溉方式对水稻生物学特性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 602-606.
- [14] 周广生, 徐才国, 靳德明, 等. 分蘖期节水处理对水稻生物学特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(9): 1767-1773.
- [15] 路兴花, 吴良欢, 庞林江. 覆膜后土壤水分对水稻生物学特性和产量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2009, 21(5): 463-467.
- [16] 张水清, 钟旭华, 黄农荣, 等. 稻草覆盖还田对华南双季晚稻物质生产和产量的影响 [J]. 中国水稻科学, 2011, 25(3): 284-290.
- [17] 黄元财, 王术, 吴晓冬, 等. 肥水条件对不同类型水稻干物质积累与分配的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(4): 346-349.
- [18] 吴建富, 曾研华, 潘晓华, 等. 机械化稻草含量还田对水稻产量和土壤碳库管理指数的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(5): 835-839.
- [19] 曾研华, 吴建富, 何虎, 等. 机械化稻草含量还田下双季早稻生长发育、产量及品质的响应 [J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(5): 840-844.
- [20] 张鸿, 樊立柱. 川西平原雨养条件下地膜水稻生物学效应研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23(6): 1824-1828.
- [21] 任成礼, 王明辉, 姜亦梅, 等. 施用化学肥料对水稻根、茎叶等生物量构成的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 1997, 19(2): 62-67.
- [22] 谢红梅, 朱钟麟, 郑家国, 等. 不同种植模式对水稻生长特性的影响 [J]. 核农学报, 2006, 20(1): 79-82.
- [23] 陈启德, 汪云滨, 曾庆曦, 等. 稻田种植绿肥的增产效果及对土壤肥力的影响 [J]. 西南农业学报, 1995, 8(1): 117-123.
- [24] 陈尚洪, 朱钟麟, 吴婕, 等. 紫色土丘陵区秸秆还田的腐解特征及对土壤肥力的影响 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 141-144.

(上接第 212 页)

- [6] 周开达, 黎汉云, 李仁端, 等. 杂交水稻主要性状配合力、遗传力的初步研究 [J]. 作物学报, 1982, 8(3): 145-151.
- [7] 李贵勇, 袁平荣, 杨从党, 等. 滇型不育系和恢复系的配合力分析 [J]. 云南农业大学学报, 2010, 25(6): 751-757.
- [8] 李国鹏, 郭建夫, 汤能, 等. 籼型三系杂交稻主要农艺性状配合力研究 [J]. 广东农业科学, 2007, 10(2): 3-8.
- [9] 吕建群, 陈林, 曾宪平, 等. 7 个籼型新不育系和 7 个新恢复系的配合力及利用价值评价 [J]. 西南农业学报, 2009, 22(1): 12-18.
- [10] 黄福灯, 刘鑫, 李春寿, 等. 不同籼稻杂交组合籽粒植酸含量的配合力分析 [J]. 浙江农业学报, 2010, 22(6): 711-715.
- [11] Allahgholipour M, Ali A J. Gene action and combining ability for grain yield and its components in rice [J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2006, 28(3): 39-53.
- [12] 刘克琦, 杨玉梁, 郭龙平, 等. 含维生素 A 西系特种杂交稻主要农业性状的配合力分析 [J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(2): 247-253.
- [13] 宋宇, 邹小云, 贺浩华. 籼型三系杂交水稻产量及其相关性状的配合力分析 [J]. 江西农业大学学报, 2004, 10(5): 719-725.
- [14] 洪德林, 杨开晴, 潘恩飞. 粳稻不同生态类型间的杂种优势及其亲本的配合力分析 [J]. 中国水稻科学, 2002, 16(3): 216-220.
- [15] 吕建群, 陈林, 戴怀根, 等. 5 个越南水稻恢复系主要农艺性状的配合力及遗传力 [J]. 四川农业大学学报, 2010, 12(4): 145-142.
- [16] 谭美林, 冯明友, 张家洪, 等. 杂交水稻亲本主要农艺性状配合力及遗传力分析 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37(3): 6-8.
- [17] 黄凤林, 杨冬奇, 彭国兴, 等. 籼型三系杂交水稻品质性状配合力与遗传力研究 [J]. 作物研究, 2009, 23(2): 67-70.