

稻茬高度对谷林套播油菜生长发育及产量形成的影响

郑伟^{1,2}, 肖国滨¹, 肖小军¹, 李亚贞¹, 陈明¹, 刘小三¹, 黄天宝¹, 吴艳¹, 叶川¹, 朱昌兰²

(¹江西省红壤研究所/国家红壤改良工程技术研究中心/农业部江西耕地保育科学观测实验站, 江西进贤 331717; ²江西农业大学农学院/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/南方粮油作物协同创新中心, 南昌 330045)

摘要:【目的】在晚稻-油菜套种模式下, 稻茬高度对套种油菜田土壤蓄水保墒、套种油菜出苗及生长发育均具有重要影响。本研究旨在探求适宜套播油菜出苗、生长发育及高产的晚稻机收留茬高度, 为实现农艺、农机高效有机结合提供参考。【方法】试验于 2014—2016 年在江西省南昌市进贤县江西省红壤研究所进行, 以丰油 730 为试验材料, 在大田条件下设 4 个稻茬高度 (20、30、40、50 cm)。通过测定套播油菜成苗率、成株率、越冬期和盛花期农艺性状、叶片叶绿素含量、根系活力、产量及构成因素, 比较分析晚稻不同留茬高度对套播油菜生长发育、产量的影响。【结果】(1) 在 20—50 cm 范围内, 留茬高度增加有利于提高套播油菜出苗期密度, 且成苗率和成株率随着留茬高度增加先增加后下降, 以留茬 40 cm 处理最大, 成熟期密度也相对较大。与留茬 20 cm、30 cm 处理相比, 留茬 40 cm 处理成苗率和成株率分别提高了 13.73%、7.09% 和 13.18%、7.23%, 与留茬 50 cm 处理差异不大; (2) 留茬高度显著影响套播油菜生长发育。油菜总叶数、绿叶数、最大叶宽、根颈粗、单株干重等个体指标及顶部 3 片全展叶叶绿素含量和根系活力随留茬高度增加而下降, 最大叶长随留茬高度增加而增加, 叶面积指数和群体干重等群体指标随着留茬高度增加先增加后下降; (3) 套播油菜单株产量随着留茬高度增加而下降, 单位面积产量随着留茬高度增加先增加后下降, 以留茬高度 40 cm 产量最高; 相比产量最低的留茬 20 cm 处理, 增产 18.92%, 增产效果显著。留茬高度与套播油菜成熟期的一次分枝数、单株角果数、主序角果数、千粒重、单株干重、单株产量等产量相关性状关系密切, 均达到极显著或显著负相关。【结论】留茬过低, 成苗率和成株率低, 尽管个体生长发育较好, 但成熟期密度不足不利于高产群体构建; 留茬过高, 成苗率和成株率显著提高, 但个体生长发育偏弱, 不能发挥群体生长优势, 最终影响产量形成。在 4 个稻茬高度下, 留茬高度以 40 cm 为宜, 套播油菜群体生长和产量表现优势明显。

关键词: 晚稻; 稻茬高度; 谷林套播油菜; 生长发育; 产量

Effects of Rice Stubble Height on Growth, Development, and Yield Components of Interplanted Rapeseed in Rice

ZHENG Wei^{1,2}, XIAO GuoBin¹, XIAO XiaoJun¹, LI YaZhen¹, CHEN Ming¹, LIU XiaoSan¹,
HUANG TianBao¹, WU Yan¹, YE Chuan¹, ZHU ChangLan²

(¹Jiangxi Institute of Red Soil/National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement /Scientific Observational and Experimental Station of Arable Land Conservation in Jiangxi, Ministry of Agriculture, Jinxian 331717, Jiangxi; ²College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Nanchang 330045)

Abstract: 【Objective】 Under the pattern of interplanting rapeseed in late rice, standing stubble height affected soil water storage and preservation, interplanting rapeseed emergence rate, growth and development. This study aimed at finding out a proper

收稿日期: 2016-06-27; 接受日期: 2016-07-29

基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201503123)、江西省重大科技支撑计划项目 (20143ACF60009)、江西省科研院所基础设施配套项目 (20142BBA13036)

联系方式: 郑伟, E-mail: zw07917043299@163.com. 通信作者叶川, E-mail: yechuan555@sohu.com. 通信作者朱昌兰, E-mail: zhuchanglan@163.com

standing stubble height to promote emergence rate, growth and development, and finally to improve yield of interplanting rapeseed. These results provide practical references for reaching efficiency and organic combination of agronomy with agricultural machinery.

【Method】Fengyou 730, a elite rapeseed cultivar, was employed in a field experiment with four stubble height treatments during the 2014-2016 growing seasons at Jiangxi Institute of Red Soil, Jiangxi province. Four stubble height treatments were compared: 20, 30, 40 and 50 cm. The seedling rate, mature plant rate, agronomic traits at two growth stages (wintering stage and full bloom stage), chlorophyll content of leaves, root activity, yield were measured in this study. **【Result】**In the range of 20-50 cm, an increased stubble height could thoroughly promote the seedling density, the seedling rate and mature plant rate were increased at the initial stage but deteriorated under a further increased stubble height, the optimal seedling rate and mature plant rate were the treatment with stubble height of 40 cm, the mature density was relatively larger. The seedling rate and mature plant rate of 40 cm stubble height were 13.73%, 7.09% and 13.18%, 7.23% higher than that of 20 cm and 30 cm, respectively, but the differences were not significant between 40 cm and 50 cm. Stubble height significantly affected growth and development of interplanted rapeseed. The number of total leaves, number of green leaves, width of maximum leaf, crown diameter, the dry weight of individual plants and the chlorophyll content of the top 3 leaves, root activity were gradually fell, the length of maximum leaf was gradually increased, the leaf area index and dry matter of population plants were primitively increased and then subsequently fell with increasing of the stubble height. The yield per plant of interplanted rapeseed in rice was diminished, whereas the yield per area was heightened initially and diminished later with increasing of the stubble height, and the optimal rapeseed yield could be approached with stubble height of 40 cm. Compared with the stubble height of 20 cm, the yield increasing rate of the stubble height of 40 cm was 18.92%, the yield increased obviously. Stubble height was highly related to yield components of interplanted rapeseed in rice including primary branches, siliques per plant, siliques on main inflorescence, 1000-grain weight, dry matter weight per plant, and yield per plant with a substantial negative correlation or significant negative correlation. **【Conclusion】**A lower seedling rate, mature plant rate and mature density, but strong individuals under a lower stubble height as well as a higher mature density and weak individuals under a higher stubble height could result in yield reduction. Results of the study indicated that late rice stubble height of 40 cm was helpful to population growth and strongly improved the yield of interplanted rapeseed.

Key words: late rice; rice stubble height; interplanting rapeseed in rice; growth and development; yield

0 引言

【研究意义】长江流域是中国也是世界最大的油菜种植带, 稻-稻-油一年三熟种植是该流域三熟区主要的种植模式, 目前稻-稻-油三熟制油菜主要种植方式是在水稻收获后免耕直播, 该模式的优点是蓄水保墒、压缩农耗、降低成本等, 缺点是多数地区油菜播种前秸秆焚烧或无序利用、产生一系列环境问题^[1-3], 且播期偏晚, 与水稻的前后接茬紧, 季节矛盾比较突出。而近年来兴起的水稻套播油菜模式^[4-6], 即在水稻收获前即水稻钩头散籽时节, 将油菜种植撒播到稻田^[7], 该模式可实现水稻机收稻茬全量还田, 符合当今保护性耕作要求^[8-9], 且油菜播期提前, 在一定程度上可有效缓解稻油季节矛盾。目前, 水稻机收稻茬高度在 20 cm 左右, 而水稻群体生物量大, 机械收割后水稻秸秆覆盖量较大, 一般保持在 5.5—6.5 t·hm⁻²。前茬水稻机收时套播油菜刚出苗, 对田间秸秆覆盖量要求高, 而秸秆覆盖量多少与水稻机收稻茬高度直接相关, 若留茬过低, 稻草覆盖量大, 容易造成油菜沤苗死苗, 密度不足; 留茬过高, 水稻机收损失率大^[10],

同时遮光荫蔽, 套播油菜幼苗光照不充足, 不利于冬前壮苗, 最终影响高产。因此, 水稻留茬高度直接影响套播油菜冬前幼苗生长, 而冬前群体构建又是直播油菜获得高产的关键。因此, 通过寻求适宜的水稻机收留茬高度, 来改善留茬过高或过低导致的不利影响, 同时达到蓄水保墒的目的, 对促进油菜生长发育、提高产量等均有重要意义。**【前人研究进展】**CUTFORTH 等^[11-13]研究表明, 前茬作物收获留茬高度在 0—30 cm 时, 随茬高的增加, 后茬作物产量增加。但随着留茬高度增加, 其遮光效应也越来越明显, 导致后茬作物株高增加, 茎秆变细, 叶片变窄变长^[14-15]。江保寿^[16]、吴建富等^[17]研究表明, 适当的水稻机收留茬高度有利于套种紫云英幼苗生长和提高产量。高婕等^[18]研究表明, 前茬燕麦免耕留茬对后茬油菜田有很好的保温、保水作用, 且随留茬高度的增加作用效果更加明显。目前, 水稻机收割留茬高度对稻田套播油菜生长的影响研究还未见报道。**【本研究切入点】**在前茬水稻机收和稻草全量还田的前提下, 考虑到茬高和稻草覆盖量差异对套播油菜生长发育和产量形成的影响, 有必要明确适宜的水稻留茬高度, 以优化套播油菜群体质

量和提高产量。【拟解决的关键问题】本研究通过大田试验比较了不同水稻机收留茬高度对套播油菜生长发育、产量形成等方面的影响,从而探明套播油菜前茬水稻机收适宜的留茬高度,为实现农机、农艺的融合提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 试验田概况

套播油菜前茬水稻留茬高度定位试验于 2014—

2016 年在江西省红壤研究所 (28°35'N, 116°17'E) 进行, 试验地位于江西省南昌市进贤县张公镇, 为典型的低丘红壤区。该区域属亚热带季风湿润气候, 四季分明, 气候温和, 雨量充沛。多年平均气温 17.5℃, 多年平均降雨量 1 587 mm, 降水年内分布不均匀, 4—7 月为集中降雨期, 降雨量占全年降雨量 56%。试验期间气象数据由进贤县气象局提供 (图 1)。试验地土壤为第四纪红色黏土发育而成的红壤稻田, 地力均匀, 肥力中等, 试验田块土壤基本理化性状见表 1。

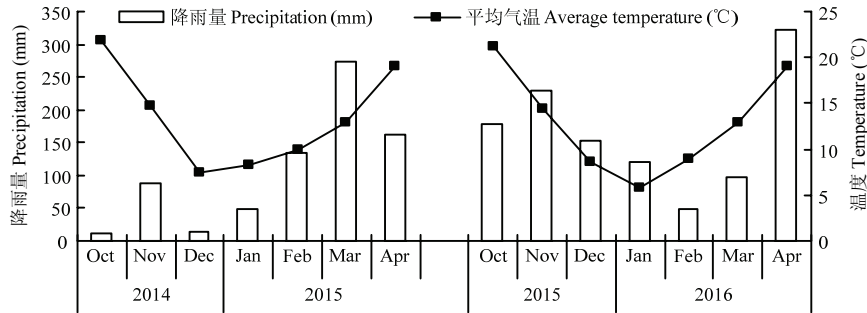


图 1 2014—2016 年试验进行期间月降雨量和月平均温度

Fig. 1 Monthly precipitation and average temperature at the study site from 2014 to 2016

表 1 试验田土壤基本理化性状

Table 1 Basic physical and chemical properties of the soils in the experiment fields

年度 Year	pH	有机质 Organic matter (g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen (g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus (g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium (g·kg ⁻¹)	速效氮 Available nitrogen (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available phosphorus (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium (mg·kg ⁻¹)
2014—2015	4.95	46.30	3.32	0.61	12.08	230.27	24.61	52.08
2015—2016	5.06	47.76	3.37	0.63	12.72	234.78	26.50	54.17

1.2 试验设计

套播油菜田前茬晚稻 2 年所用品种均为“五丰优 T025”, 2014 年晚稻收获时间为 10 月 21 日, 2015 年晚稻收获时间为 10 月 30 日 (2015 年受特殊气候影响, 江西早晚稻熟期推后, 晚稻收获大部分集中在 10 月底到 11 月上旬), 均采用履带全喂入式联合收割机留茬收获, 2 年平均产量 8 625kg·hm⁻², 年际间产量差异不显著。研究设 4 个水稻秸秆留茬高度: 20、30、40、50 cm, 分别用 H20、H30、H40、H50 表示, 其余部分随机收粉碎覆盖还田, 覆盖不均匀的区域人工撒均, 田间调查留茬 20、30、40、50 cm 处理的 2 年平均覆盖量分别为 5.9、4.3、3.0、2.1 t·hm⁻²。油菜与水稻共生期 5 d (即水稻收获前 5 d 套播油菜, 于 2014 年 10 月 16 日和 2015 年 10 月 25 日播种), 油菜品种

为“丰油 730”, 播种量 6 kg·hm⁻², 撒播。采用大区试验, 每处理小区面积 103.5 m² (5m×20.7 m), 重复 3 次。施肥量: 153.0 kg N·hm⁻²、60.0 kg P₂O₅·hm⁻²、72.0 kg K₂O·hm⁻²、硼砂 15 kg·hm⁻², 肥料分 2 次施用, 70%氮肥和全部磷、钾、硼肥 (氮磷钾比例为 18 : 10 : 12, 氮肥为尿素、磷肥为钙镁磷肥、钾肥为氯化钾) 拌种基施, 30%氮肥 (尿素) 元旦前追施。其他管理同一般直播大田油菜。

1.3 测定内容及方法

密度调查: 每处理小区选定 2 m² (1.0 m×2 m) 点用于全苗期 (2014 年试验为 10 月 22 日、2015 年试验为 11 月 1 日)、五叶期 (2014 年试验调查时间为 12 月 22 日、2016 年试验调查时间为 12 月 28 日)、越冬期苗数 (2015 年调查时间为 1 月 7 日,

2016 年调查时间为 1 月 14 日)、盛花期株数 (2015 年取样时间为 3 月 2 日, 2016 年取样时间为 3 月 6 日) 调查;

农艺性状: 越冬期、盛花期各小区选代表性点连续取 15 株植株, 测定主茎总叶片数、主茎绿叶数、根颈粗、叶面积指数、单株干重;

油菜叶片叶绿素含量测定: 油菜全苗后 20 d、30 d、五叶期、盛花期用 SPAD-502 叶绿素仪测定主茎顶部 3 片新展叶叶绿素含量。

根系活力测定: 油菜全苗后 20 d、30 d、五叶期、盛花期采根 (全苗后 20 d、30 d 每处理小区选定植株 15 株, 五叶期、盛花期每处理小区选定植株 5 株), 采根时尽可能将植株整个根系挖起用水浸泡洗净备用, 采用 TTC 法测定油菜根系活力 (测定时取主根和侧根根尖 5 mm 左右部分), 具体参照邹琦^[19]的方法;

考种: 各小区选代表性点连续取 20 株, 考察一次分枝数、角果数、角粒数、千粒重等, 单独脱粒计单株籽粒产量;

测产: 成熟期 (2015 年成熟收获时间为 4 月 28 日、2016 年成熟收获时间为 4 月 30 日) 各小区选 20 m² (4.0 m×5.0 m) 收获测定产量。叶面积指数、成苗率、成株率 (注: 成熟期株数以盛花期株数计) 计算具体参照郑伟等^[4]的方法。

1.4 数据分析

数据处理和统计分析采用 Excel 和 DPS7.05 软件, 两年度套播油菜各指标趋势相同, 除产量外, 采用 2 年度平均数据进行分析处理。

2 结果

2.1 留茬高度对谷林套播油菜各时期密度的影响

表 2 可见, 油菜各生育时期密度随着留茬高度增加而增加, 表现为 H50>H40>H30>H20。全苗期各处理间密度无显著差异。五叶期, 各处理密度相比于全苗期急剧下降, 且随水稻留茬高度增加, 各处理油菜成苗率随之先增加后下降, 表现为 H40>H50>H30>H20, 说明各处理密度降幅随着留茬高度增加先增加后下降, 留茬 20 cm (H20) 处理密度与留茬 30 cm (H30) 处理差异不明显, 与留茬 40 cm (H40)、50 cm (H50) 处理差异显著。成熟期密度和成株率变化与五叶期密度和成苗率变化规律一致。留茬 40 cm 与留茬 20 cm、30 cm 处理相比, 成苗率和成株率分别提高了 13.73%、7.09% 和 13.18%、7.23%, 但与留茬 50 cm 处理差异不大。

留茬高度 (SH) 相关回归分析表明 (表 3), 留茬高度与全苗期、五叶期、成熟期密度、成苗率、成株率均呈二次抛物线相关关系。

表 2 留茬高度对谷林套播油菜各时期密度、成苗率和成株率的影响

Table 2 Effect of stubble heights on density, seedling rate and mature plant rate of interplanted rapeseed in rice at different stages

留茬高度 Stubble height	密度 density ($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$)			成苗率 Seedling rate (%)	成株率 Mature plant rate (%)
	全苗期 Emergence stage of seedling	五叶期 Five leaf stage	成熟期 Maturity stage		
H20	67.03a	40.02b	30.35b	59.70	45.27
H30	68.37a	45.36ab	35.02ab	66.34	51.22
H40	69.03a	50.69a	40.35a	73.43	58.45
H50	70.70a	51.36a	40.69a	72.64	57.55

同列不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同

Different small letters in a column indicate significant difference at $P < 0.05$. The same as below

表 3 留茬高度与各期密度、成苗率、成株率的关系

Table 3 Relationship between stubble heights and density at different stages, seedling rate, mature plant rate

项目 Item	拟合方程 Fitting equation	决定系数 Coefficient of determination (R^2)
全苗期密度 Density of ES ($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$)	$y = 0.0008x^2 + 0.0587x + 65.612$	0.9801
五叶期密度 Density of FS ($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$)	$y = -0.0117x^2 + 1.2105x + 20.245$	0.9870
成熟期密度 Density of MS ($\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$)	$y = -0.0108x^2 + 1.1218x + 11.962$	0.9778
成苗率 Seedling rate (%)	$y = -0.0186x^2 + 1.7591x + 31.532$	0.9717
成株率 Mature plant rate (%)	$y = -0.0171x^2 + 1.63998x + 18.8591$	0.9607

ES: 全苗期; FS: 五叶期; FBS: 盛花期; x: 留茬高度。下同

ES: Emergence stage of seedling; FS: Five leaf stage; FBS: Full bloom stage; x: Stubble height. The same as below

2.2 留茬高度对套播油菜生长发育的影响

由表 4 可知, 留茬高度对套播油菜越冬期、盛花期长势具有显著影响。油菜主茎总叶数、绿叶数、最大叶宽、根颈粗、单株干重等个体指标随留茬高度增

加而下降, 即 $H_{20} > H_{30} > H_{40} > H_{50}$, 最大叶长随留茬高度增加而增加, 即 $H_{20} < H_{30} < H_{40} < H_{50}$ 。而叶面积指数和群体干重等群体指标随着留茬高度先增加后下降。

表 4 留茬高度对套播油菜生长发育的影响

Table 4 Effect of stubble heights on seedlings growth and development of interplanted rapeseed in rice

生育时期 Growth stage	留茬高度 Stubble height	总叶数 Number of totle leaves	绿叶数 Number of green leaves	最大叶长×宽 Length and width of maximum leaf (cm×cm)	叶面积指数 Leaf area index	根颈粗 Crown diameter (cm)	单株干重 Total dry weight per plant (g)	群体干重 (kg·hm ⁻²)
越冬期 WS	H20	9.0a	7.0a	15.9b×7.6a	1.53b	0.64a	3.15a	1101.32a
	H30	8.6ab	6.6ab	17.2ab×6.9b	1.66ab	0.57ab	2.79b	1155.38a
	H40	8.3bc	6.1bc	18.0a×6.4bc	1.72a	0.53bc	2.51c	1147.31a
	H50	7.8c	5.7c	18.5a×6.1c	1.64ab	0.47c	2.29c	1075.53a
盛花期 FBS	H20	14.7a	12.6a	21.5a×7.1a	2.05b	1.77a	10.87a	3298.04c
	H30	14.2ab	11.8ab	22.2a×6.8a	2.17b	1.69ab	10.21b	3573.54b
	H40	14.3ab	11.7ab	22.4a×6.5a	2.30a	1.59bc	9.54c	3851.07a
	H50	13.6b	11.2b	22.8a×6.3a	2.12b	1.51c	9.04c	3678.10b

WS: 越冬期。下同 WS: Wintering stage. The same as below

2.3 留茬高度对套播油菜叶片叶绿素含量的影响

表 5 表明, 套播油菜顶部 3 片新展叶叶绿素含量随着生育进程推进先增加后下降, 5 叶期叶绿素含量最高, 盛花期叶绿素含量下降, 各生育时期不同留茬处理叶绿素含量存在不同程度差异。叶绿素含量反映单位叶面积的光合单位数, 可衡量植株光合作用能力强弱。油菜随着留茬高度增加, 叶绿素含量逐渐下降, 即 $H_{20} > H_{30} > H_{40} > H_{50}$, 苗期各处理叶绿素含量差异较大。处理之间叶绿素含量差异随着生育进程的推进逐渐缩小, 至盛花期, 各留茬处理无明显差异。

表 5 留茬高度对套播油菜叶片叶绿素含量 (SPAD 值) 的影响

Table 5 Effect of stubble heights on chlorophyll content (SPAD value) in leaves of interplanting rapeseed in rice

留茬高度 Stubble height	全苗后 20 d 20 d after ES	全苗后 30 d 30 d after ES	5 叶期 FS	盛花期 FBS
H20	32.89a	37.85a	46.72a	39.01a
H30	31.32b	35.39b	45.86a	38.30a
H40	30.65bc	35.11b	43.89b	37.82a
H50	30.02c	34.50b	43.16b	37.54a

2.4 留茬高度对套播油菜根系活力的影响

根系活力大小直接反应了根系生长发育状况。表 6 表明, 根系活力与叶绿素含量表现一致, 随着生育进程推进先增加后下降, 5 叶期根系活力最高, 盛花

期根系活力下降。随着留茬高度增加, 根系活力逐渐下降, 即 $H_{20} > H_{30} > H_{40} > H_{50}$, 说明随着茬高下降, 覆盖量增加, 覆盖保墒等正效应增强, 促进了油菜苗根系生长发育。相关分析表明, 根系活力与绿叶数 ($r=0.9572^*$)、最大叶宽 ($r=0.9946^*$)、根颈粗 ($r=0.9986^{**}$)、单株干重 ($r=0.9969^{**}$)、叶绿素含量 ($r=0.9787^*$) 等个体指标呈极显著或显著正相关。

表 6 留茬高度对套播油菜根系活力的影响

Table 6 Effect of stubble heights on root activity of interplanted rapeseed in rice (ug·g⁻¹·h⁻¹)

留茬高度 Stubble height	全苗后 20 d 20 d after ES	全苗后 30 d 30 d after ES	5 叶期 FS	盛花期 FBS
H20	182.86a	244.58a	321.64a	155.11a
H30	148.10b	222.96b	299.41ab	140.28ab
H40	135.14c	202.44c	284.56ab	125.41bc
H50	116.20d	183.73d	267.97b	109.73c

2.5 留茬高度对套播油菜产量的影响

图 2 可见, 两年度产量随着留茬高度的增加先增加后下降, 表现为 $H_{40} > H_{30} > H_{50} > H_{20}$; 与处理 H20 相比, H30、H40、H50 处理两年度产量平均分别增加了 10.01%、18.92%和 7.28%, H40 处理与 H20 处理两年度产量均达显著差异水平, 其余处理间产量差异不显著。套播油菜产量和留茬高度的回归分析表

明, 2014—2015 年度产量与茬高之间呈一元二次抛物线关系, $Y=-0.8508X^2+64.38X+593.74$, 决定系数 $R^2=0.9144$, 获得最高产量 ($1\ 811.65\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 的茬高为 $37.8\ \text{cm}$; 2015—2016 年度产量与茬高之间呈一元二次抛物线关系, $Y=-0.7958X^2+60.24X+585.10$, 决定系数 $R^2=0.8768$, 获得最高产量 ($1\ 725.14\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 的茬高为 $37.9\ \text{cm}$; 本试验条件下, 水稻留茬高度为 $40\ \text{cm}$ 稻田三熟制套播油菜产量为 $1\ 808.90\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2.6 留茬高度对套播油菜产量相关性状的影响

表 7 可见, 不同留茬高度套播油菜产量相关性状存在不同程度差异。一次分枝数、单株角果数、主序角果数、千粒重、单株产量、单株干重等指标随留茬高度增加而下降, 而每角粒数随留茬高度增加先增加后下降。油菜单株产量与单位面积产量变化规律不同

表 7 留茬高度对套播油菜成熟期产量相关性状的影响

Table 7 Effect of stubble heights on yield-related traits of interplanted rapeseed in rice at mature stage

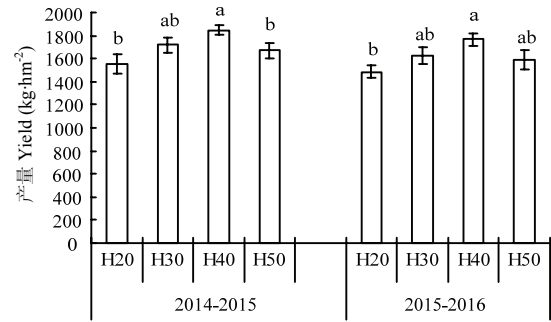
留茬高度 Stubble height	一次分枝数 Primary branches	单株角果数 Siliques per plant	主序角果数 Siliques on main inflorescence	每角粒数 Seeds per silique	千粒重 1000-grain weight (g)	单株产量 Yield per plant (g)	单株干重 Total dry weight per plant (g)
H20	4.5a	104.7a	48.6a	16.9a	3.39a	4.78a	21.87a
H30	4.2ab	98.8ab	45.9ab	17.5a	3.33b	4.41ab	19.57ab
H40	3.7ab	88.6bc	40.8ab	18.2a	3.29bc	3.97b	17.64ab
H50	3.3b	83.4c	37.5b	17.9a	3.24c	3.69b	16.70b

(图 2), 说明不同留茬高度导致的套播油菜密度变化是影响单位面积产量的主要因素。

表 8 表明, 套播油菜单株产量与一次分枝数、单株角果数、主序角果数、千粒重、单株干重等性状指标均达到极显著或显著正相关水平, 与成熟期密度呈显著负相关、与每角粒数负相关, 但未达到显著水平。各性状指标与单株产量相关系数的大小 (绝对值) 依次为单株角果数 > 主序角果数 > 一次分枝数 > 单株干重 > 千粒重 > 密度 > 每角粒数, 说明留茬高度对套播油菜单株产量的影响, 主要是通过影响油菜单株角果数等来实现。套播油菜产量与密度和每角粒数正相关, 差异不显著, 与其他个体指标均负相关, 差异也不显著, 说明留茬高度对套播油菜产量的影响, 是个体和密度协调的结果, 主要还是通过密度来实现。

2.7 套播油菜形态生理指标与产量相关性分析

表 9 表明, 单株产量与越冬期主茎总叶数、绿叶数、最大叶宽、根颈粗、单株干重、叶绿素、根系活力等个体形态生理指标呈显著或及显著正相关, 与最大叶长显著负相关; 产量与叶面积指数和群体干重等



不同小写字母表示处理间 0.05 水平差异显著

Different small letters mean significant differences under the treatments at 0.05 level

图 2 留茬高度对套播油菜产量的影响

Fig. 2 Effect of stubble heights on yield of interplanted rapeseed in rice

表 8 套播油菜产量构成与产量相关性分析

Table 8 Correlative analysis on yield components and yield of interplanted rapeseed

产量构成 Yield component	单株产量 Yield per plant	产量 Yield
密度 Density	-0.9753*	0.7364
一次分枝数 Primary branches	0.9941**	-0.4856
单株角果数 Siliques per plant	0.9975**	-0.5604
主序角果数 Siliques on main inflorescence	0.9950**	-0.5116
每角粒数 Seeds per silique	-0.8877	0.8823
千粒重 1000-grain weight	0.9924**	-0.5230
单株干重 Total dry weight per plant	0.9927**	-0.6484
单株产量 Yield per plant	1.0000	-0.5691

**表示 0.01 水平差异显著; *表示 0.05 水平差异显著, 产量为两年度平均。下同

** , significantly different at 0.01 level; * , significantly different at 0.05 level, the average yield of biennium. The same as below

群体指标呈正相关, 其中与叶面积指数显著正相关, 与除最大叶片长外其他个体指标均呈负相关。单株产量与

盛花期主茎总叶数、绿叶数、最大叶宽、根颈粗、单株干重、叶绿素、根系活力等个体形态生理指标呈正相关,除与主茎总叶数、绿叶数相关不显著外,其他均达到显著或极显著正相关,与最大叶长显著负相关;产量与叶面积指数及群体干重等群体指标也呈正相关,其中与叶面积指数极显著正相关。以上同样说明留茬高度对套播油菜产量的影响,是个体和密度协调所致。适宜的留茬高度可在保证较高群体密度的同时,充分发挥个体的生产潜力,从而优化群体质量。

表 9 套播油菜形态生理指标与产量相关性分析

Table 9 Correlative analysis on the morphological and physiological characters and yield of interplanted rapeseed

生育时期 Growth stage	形态生理指标 Morphological and physiological character	单株产量 Yield per plant	产量 Yield	
越冬期 WS	总叶数 No of totle leaves	0.9843*	-0.4352	
	绿叶数 No of green leaves	0.9984**	-0.5218	
	最大叶长 Length of maximum leaf	-0.9851*	0.6524	
	最大叶宽 Width of maximum leaf	0.9906**	-0.6406	
	叶面积指数 Leaf area index	-0.6810	0.9698*	
	根颈粗 Crown diameter	0.9883*	-0.5085	
	单株干重 Total dry weight per plant	0.9961**	-0.5895	
	群体干重 Dry matter weight of population	0.2375	0.6191	
	叶绿素 chlorophyll content	0.9921**	-0.5758	
	根系活力 Root activity	0.9934**	-0.5463	
	盛花期 FBS	总叶数 No of totle leaves	0.8742	-0.2322
		绿叶数 No of green leaves	0.9476	-0.5271
		最大叶长 Length of maximum leaf	-0.9682*	0.5680
最大叶宽 Width of maximum leaf		0.9993**	-0.5834	
叶面积指数 Leaf area index		-0.4832	0.9931**	
根颈粗 Crown diameter		0.9984**	-0.5218	
单株干重 Total dry weight per plant		0.9995**	-0.5624	
群体干重 Dry matter weight of population		-0.8331	0.9288	
叶绿素 chlorophyll content		0.9879*	-0.6505	
根系活力 Root activity		0.9955**	-0.4960	

3 讨论

有研究表明^[15], 前茬作物留茬高度增加, 有利于

后茬作物出苗。本研究发现, 留茬高度增加有利于提高套播油菜出苗期密度, 且成苗率和成株率随着留茬高度增加先增加后下降, 以留茬 40 cm 处理最大, 成熟期密度也相对较大。与留茬 20 cm、30 cm 处理相比, 成苗率和成株率分别提高了 13.73%、7.09%和 13.18%、7.23%, 与留茬 50 cm 处理差异不大。高留茬处理与低留茬处理相比, 成苗率和成株率高主要原因是高留茬处理下地表秸秆覆盖量相对较少, 有利于提高套播油菜苗期群体质量, 而低留茬处理下地表秸秆覆盖量相对较多, 尽管蓄水保墒效果好, 但对幼苗前期生长产生抑制, 沤苗死苗现象严重。在本试验条件下, 留茬 40 cm 处理可较好地协调稻草的蓄水保墒效应与遮光效应, 利于油菜出苗成株。

李俊等^[20]研究表明, 前茬水稻留茬高度对后茬油菜产量影响较小。本研究表明, 套播油菜单株产量随茬高增加呈下降趋势, 但群体产量随茬高的增加先增加后下降, 留茬 40 cm 处理产量最高, 与产量最低的 20 cm 留茬相比, 两年度平均增产 18.92%, 增产效果显著。其主要原因是留茬 40 cm 处理下套播油菜的成株率较高, 成熟期密度大, 单位面积角果多, 有利于优质群体的构建, 为最终高产奠定了基础。密度在作物群体、个体质量及最终产量的形成中起着极其重要的作用^[21]。本研究不同留茬高度导致套播油菜密度及个体与群体协调性差异, 最终造成了产量的差异。

CAPRIO 等^[22], CUTFORTH 等^[23]等研究指出, 由前茬作物茬高引起的太阳入射辐射和光照强度差异, 及由此造成的遮光效应差异与后茬作物生长发育密切相关。本试验研究表明, 留茬高度显著影响套播油菜生长发育。越冬期、盛花期油菜主茎总叶数、绿叶数、最大叶宽、根颈粗及单株干重等个体指标随留茬高度增加而下降, 最大叶长随留茬高度增加而增加, 叶面积指数和群体干重等群体指标随着留茬高度增加先增加后下降。套播油菜各生育时期顶部 3 片全展叶绿素含量随留茬高度增加而下降。苗期各处理叶绿素含量差异较大, 主要原因可能是随着茬高增加, 太阳入射辐射和光照强度减少, 引起遮光效应, 从而导致高茬处理叶绿素含量偏低。处理之间叶绿素含量差异随着生育进程的推进逐渐缩小, 至盛花期, 各留茬处理差异无明显差异。主要原因可能是一方面随着生育进程推进, 各留茬处理套播油菜株高逐渐增加, 遮光效应逐渐减小; 另一方面, 随着茬高增加, 套播油菜叶面积指数逐渐增大, 增加了叶片对光合有效辐射的截获, 光合作用增强。邹聪明等^[24]研究表明, 秸秆

覆盖促进了套种玉米苗期根系生长发育, 根系活力显著提高。本试验结果表明, 套播油菜各生育时期根系活力随留茬高度增加而下降, 说明随茬高下降, 覆盖量增加, 覆盖保墒等正效应增强, 促进了套播油菜苗根系生长发育。相关分析表明, 根系活力与地上部个体形态和生理指标相关显著, 说明不同留茬高度导致的根系生长差异也可能是引起地上部生长差异的重要原因。套播油菜形态生理指标与产量相关性分析表明, 适宜的留茬高度可在保证较高群体密度的同时, 充分发挥个体的生产潜力, 从而优化群体质量。

随着水稻机械收获技术的普及, 稻草全量还田成为趋势。本试验条件下, 留茬高度 40 cm 处理一方面有利于套播油菜生长发育和产量形成, 另一方面能保证较低的稻谷机收损失率^[10], 因此, 本研究结果具有一定的现实指导意义。此外, 套播油菜机收留茬导致的稻草覆盖量差异不仅与茬高有关, 还与水稻株高、群体繁茂性有关, 而且稻草的蓄水保墒效应与遮光效应还可能受水稻分布均匀度及株行距配置的影响, 因此相关研究还有待于进一步深化。

4 结论

晚稻低留茬处理, 油菜出苗密度小、成苗率和成株率低, 尽管个体生长发育较好, 但成熟期密度不足不利于高产群体构建; 高留茬处理, 出苗密度大, 成苗率和成株率显著提高, 但个体生长发育偏弱, 未能充分发挥套播油菜群体生长优势, 最终影响高产。留茬过低或过高均不利于套播油菜优质群体的构建, 试验表明留茬高度以 40 cm 为宜, 群体生长和产量表现优势明显。

References

- [1] YANG S, HE H, LU S, CHEN D, ZHU J. Quantification of crop residue burning in the field and its influence on ambient air quality in Suqian, China. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(9): 1961-1969.
- [2] RASHAD F M, SALEH W D, MOSELHY M A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: I. Composting, quality, stability and maturity indices. *Bioresource Technology*, 2010, 101(15): 5952-5960.
- [3] 赵建宁, 张贵龙, 杨殿林. 中国粮食作物秸秆焚烧释放碳量的估算. *农业环境科学学报*, 2011, 30(4): 812-816.
ZHAO J N, ZHANG G L, YANG D L. Estimation of carbon emission from burning of grain crop residues in China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(4): 812-816. (in Chinese)
- [4] 郑伟, 叶川, 肖国滨, 陈明, 李亚贞, 黄天宝, 肖小军, 刘小三, 朱昌兰. 油-稻共生期对谷林套播油菜苗期性状及产量形成的影响. *中国农业科学*, 2015, 48(21): 4254-4263.
ZHENG W, YE C, XIAO G B, CHEN M, LI Y Z, HUANG T B, XIAO X J, LIU X S, ZHU C L. Effects of symbiotic period on seedling traits and yield components of interplanting rapeseed in rice. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(21): 4254-4263. (in Chinese)
- [5] 雷海霞, 陈爱武, 张长生, 罗凯世, 陈新国, 夏起昕, 周广生, 吴江生, 田新初. 共生期与播种量对水稻套播油菜生长及产量的影响. *作物学报*, 2011, 37(8): 1449-1456.
LEI H X, CHEN A W, ZHANG C S, LUO K S, CHEN X G, XIA Q X, ZHOU G S, WU J S, TIAN X C. Effect of symbiosis period and seeding amount on growth and yield of rapeseed under sowing rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(8): 1449-1456. (in Chinese)
- [6] 刘翠莲, 刘雪基, 蔡建华, 刘维红. 播期、播量对稻田套播油菜产量及产量结构的影响. *江苏农业科学*, 2011, 39(4): 81-82.
LIU C L, LIU X J, CAI J H, LIU W H. Effects of seeding date and amount on yield and yield components of interplanting rapeseed in rice. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2011, 39(4): 81-82. (in Chinese)
- [7] 中国农业科学院油料作物研究所. 中国油菜栽培学. 北京: 农业出版社, 1990.
Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Chinese Rapeseed Cultivation Science*. Beijing: Agricultural Publishing House, 1990. (in Chinese)
- [8] 高旺盛. 论保护性耕作技术的基本原理与发展趋势. *中国农业科学*, 2007, 40(12): 2702-2708.
GAO W S. Development trends and basic principles of conservation tillage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(12): 2702-2708. (in Chinese)
- [9] 李媛媛, 陈源泉, 杨光立, 肖小平, 汤文光, 唐海明, 隋鹏, 高旺盛. 南方稻田保护性耕作模式的技术特征值及其量化分析——以湖南双季稻区为例. *中国农业科学*, 2011, 44(7): 1346-1357.
LI Y Y, CHENG Y Q, YANG G L, XIAO X P, TANG W G, TANG H M, SUI P, GAO W S. Technological characteristics and quantitative analysis of conservation tillage in paddy field of southern China—A case study in double cropping rice regions of Hunan province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(7): 1346-1357. (in Chinese)
- [10] 曾勇军, 吕伟生, 石庆华, 谭雪明, 潘晓华, 黄山, 商庆银. 水稻机收减损技术研究. *作物杂志*, 2014(6): 131-134.
ZENG Y J, LÜ W S, SHI Q H, TAN X M, PAN X H, HUANG S, SHANG Q Y. Study on mechanical harvesting technique for loss reducing of rice. *Crops*, 2014(6): 131-134. (in Chinese)
- [11] CUTFORTH H W, MCCONKEY B G, ULRICH D. Yield and water

- use efficiency of pulses seeded directly into standing stubble in the semiarid Canadian Prairie. *Canadian Journal of Plant Science*, 2002, 82(4): 681-686.
- [12] CUTFORTH H W, ANGADI S V, MCCONKEY B G. Stubble management and microclimate, yield and water use efficiency of canola grown in the semiarid Canadian Prairie. *Canadian Journal of Plant Science*, 2005, 86(1): 99-107.
- [13] CUTFORTH H, MCCONKEY B, ANGADI S, JUDIESCH D. Extra-tall stubble can increase crop yield in the semi-arid Canadian Prairie. *Canadian Journal of Plant Science*, 2011, 91(4): 783-785.
- [14] 王启现, 王璞, 王秀玲, 鲁来清. 麦茬管理对夏玉米幼苗生长及产量的影响. *中国农业生态学报*, 2003, 11(2): 89-92.
- WANG Q X, WANG P, WANG X L, LU L Q. Influences of different managements of winter wheat residues on seedling growth and yield of summer corn. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(2): 89-92. (in Chinese)
- [15] 高英波, 陶洪斌, 朱金城, 黄收兵, 徐彩龙, 盛耀辉, 王璞. 麦茬高度对机播夏玉米苗期生长及水分利用的影响. *中国农业科学*, 2015, 48(19): 3803-3810.
- GAO Y B, TAO H B, ZHU J C, HUANG S B, XU C L, SHENG Y H, WANG P. Effects of wheat stubble height on growth and water use efficiency of mechanized sowing summer maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(19): 3803-3810. (in Chinese)
- [16] 江保寿. 机收稻田紫云英高产高效栽培技术. *福建农业科技*, 2014(7): 50-51.
- JIANG B S. High yield and high efficient cultivation techniques of machine-harvesting milk vetch in rice field. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2014(7): 50-51. (in Chinese)
- [17] 吴建富, 曾研华, 周春火, 谭雪明, 潘晓华, 石庆华. 机收稻田皮带碾压区紫云英生长恢复技术研究. *作物杂志*, 2016(10): 82-85.
- WU J F, ZENG Y H, ZHOU C H, TAN X M, PAN X H, SHI Q H. Study on growth recovery techniques of rolling belt area in milk vetch after rice machine-harvesting. *Crops*, 2016(10): 82-85. (in Chinese)
- [18] 高婕, 李倩, 刘景辉, 崔凤娟, 李立军, 刘兵, 王健康. 免耕留茬对内蒙古后山地区油菜田土壤呼吸和水热变化的影响. *作物杂志*, 2012(3): 81-85.
- GAO J, LI Q, LIU J H, CUI F J, LI L J, LIU B, WANG J K. Effect of no-tillages with stubble on soil respiration, moisture and temperature on canola farmland at houshan area of Inner Mongolia. *Crops*, 2012(3): 81-85. (in Chinese)
- [19] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000, 62-63.
- ZHOU Q. *Plant Physiology Experiment Instruction*. Beijing: China Agriculture Press, 2000, 62-63. (in Chinese)
- [20] 李俊, 张春雷, 马霓, 李锋, 李光明. 栽培措施对冬油菜抗冻性和产量的影响. *江苏农业科学*, 2010(1): 95-97.
- LI J, ZHANG C L, MA N, LI F, LI G M. Effect of cultivation measures on frost resistance and yield of winter rapeseed. *Journal of Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010(1): 95-97. (in Chinese)
- [21] 韩自行, 张长生, 王积军, 张冬晓, 汤松, 陈爱武, 周广生, 胡立勇, 吴江生, 傅廷栋. 氮肥运筹对稻茬免耕油菜农艺性状及产量的影响. *作物学报*, 2011, 37(12): 2261-2268.
- HAN Z H, ZHANG C S, WANG J J, ZHANG D X, TANG S, CHEN A W, ZHOU G S, HU L Y, WU J S, FU T D. Effects of nitrogen application on agronomic traits and yield of rapeseed in no-tillage rice stubble field. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(12): 2261-2268. (in Chinese)
- [22] CAPRIO J M, GRUNWALD G K, SNYDER R D. Effect of standing stubble on soil water loss by evaporation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1985, 34(2): 129-144.
- [23] CUTFORTH H W, MCCONKEY B G. Stubble height effects on microclimate, yield and water use efficiency of spring wheat grown in a semiarid climate on the Canadian prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, 1997, 77(3): 359-366.
- [24] 邹聪明, 王国鑫, 胡小东, 张云兰, 薛兰兰, Shakeel Ahmad Anjum, 王龙昌. 秸秆覆盖对套作玉米苗期根系发育与生理特征的影响. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 496-500.
- ZOU C M, WANG G X, HU X D, ZHANG Y L, XUE L L, SHAKEEL A A, WANG L C. Effect of straw mulching on root development and physiological characteristics of intercropped maize at seedling stage. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 496-500. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)