

# 稻草覆盖还田对直播冬油菜生长及养分积累的影响

王昆昆, 刘秋霞, 朱芸, 李小坤, 任涛, 鲁剑巍, 丛日环\*

(华中农业大学资源与环境学院/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北武汉 430070)

**摘要:**【目的】冬油菜产量常受限于季节性干旱、冬季低温以及土壤肥力较低等因素。考虑到秸秆还田有培肥土壤的优势以及长江中下游地区稻草过剩的现实, 通过田间试验研究稻油轮作区稻草覆盖还田对直播冬油菜生长的影响, 探讨稻草整株覆盖还田对直播油菜生育期内密度、株高、根茎粗的变化特征及其对油菜产量和养分吸收量的影响。【方法】试验于 2014—2015 和 2015—2016 年在湖北省武汉市华中农业大学试验场进行, 共设置 4 个处理, 分别为: 1) 对照, 不施肥稻草不还田 (CK); 2) 不施肥稻草覆盖还田 (S); 3) 单施化肥 (NPK); 4) 稻草覆盖还田配施化肥 (NPK + S)。施肥处理 (NPK、NPK + S) 肥料用量为 N 180 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 75 kg/hm<sup>2</sup>、硼砂 15 kg/hm<sup>2</sup>。分别于油菜苗期、薹期、花期、角果期和成熟期取样, 测定油菜地上部生物量, 氮磷钾含量和积累量, 并在田间监测油菜生育期内密度、株高和根茎粗。【结果】稻草覆盖还田提高土壤最低温度 0.6~1.2℃(播后 95 天), 降低土壤最高温度 0.8~1.8℃(播后 184 天), 缩小土壤温度变幅 2.3℃(播后 95~184 天), 提高土壤平均含水量 8.0%~8.9%(播后 48~184 天)。与稻草不覆盖相比, 稻草覆盖还田减少冬油菜 80% 以上的出苗密度; 与出苗密度相比, 成熟期 CK、S、NPK 和 NPK + S 处理的密度分别降低 71.3%、40.3%、69.5% 和 32.1%, 稻草还田处理的油菜生育期内密度降低幅度小于稻草不还田处理。油菜成熟期 S 处理的根茎粗和株高分别比 CK 显著提高了 22.7% 和 8.3%, NPK + S 和 NPK 处理株高和根茎粗无明显差异。两年结果表明, S 处理的最大生物量较 CK 平均增加了 88.6%, 与 NPK 处理相比, NPK + S 处理的地上部苗期生物量降低 3.7%~27.9%, 角果期生物量平均增加 28.1%。CK 和 S 处理氮、磷和钾素积累量均在薹期—花期差异较大, 成熟期 S 处理的氮、磷积累量分别较 CK 高 28.6%~268.2%、93.3%~253.1%, 两年增产率分别为 218.8% 和 28.5%; 施肥处理 (NPK、NPK + S) 冬油菜氮、磷和钾积累量随生育期持续增加, 均在角果期达到最大值, 与 NPK 相比, NPK + S 处理分别提高成熟期油菜氮、磷和钾积累量 18.1%~19.1%、23.7%~36.9% 和 28.3%~56.9%, 两年分别增产 1811 和 1032 kg/hm<sup>2</sup>, 增产率分别达到 25.6% 和 20.3%。【结论】稻草覆盖还田能缓解气温骤变对土壤温度的影响, 保持土壤含水量, 缓解土壤干旱。稻草覆盖还田前期抑制直播冬油菜的出苗密度, 后期可维持冬油菜密度的稳定, 同时对冬油菜的生长、生物量、产量和养分吸收量有促进作用。

**关键词:** 稻草覆盖还田; 直播冬油菜; 密度; 产量; 养分吸收量

## Effects of straw mulching on growth and nutrients accumulation of direct-sown winter oilseed rape

WANG Kun-kun, LIU Qiu-xia, ZHU Yun, LI Xiao-kun, REN Tao, LU Jian-wei, CONG Ri-huan\*

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Cultivated Land Conservation in the Middle and Lower Reaches of the Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** 【Objectives】The yield of winter oilseed rape is limited by seasonal drought, low temperature in winter and low soil fertility. Based on the advantages of straw returning to soil and the quantity of the surplus rice straw in the middle and lower reaches of the Yangtze River, field experiment was conducted to study the effect of straw mulching during the growing season of direct-sown winter oilseed rape in the rice-rapeseed rotation area. Changes of plant density, plant height and rhizome thickness, oilseed rape yield and nutrients uptake under straw

收稿日期: 2018-05-29 接受日期: 2018-08-01

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200108); 国家油菜产业技术体系建设专项 (CARS-12); 中央高校基本科研业务费专项资金 (2662017JC010)。

联系方式: 王昆昆 E-mail: wangkk@webmail.hzau.edu.cn; \* 通信作者 丛日环 E-mail: congrh@mail.hzau.edu.cn

mulching were explored. **【 Methods 】** Two years (2014–2015 and 2015–2016) of field experiment were conducted at the test field of Huazhong Agricultural University in Wuhan, Hubei province. Four treatments were as followed: 1) Control (CK), without fertilization and no straw returning to field; 2) straw mulching to the field but no fertilization(S); 3) chemical fertilization only (NPK); 4) straw mulching and chemical fertilization (NPK + S). Fertilization treatments (NPK, NPK + S) recieved: N 180 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 75 kg/hm<sup>2</sup> and borax 15 kg/hm<sup>2</sup>. The samples were taken at seedling, bud-bolt, flowering, pod and maturity stages respectively to determine biomass, nitrogen, phosphorus, potassium contents and accumulation amount of oilseed rape. Oilseed rape density, plant height and rhizome thickness were measured in the field. **【 Results 】** The straw mulching could increase the soil minimum temperature by 0.6–1.2 degrees (95 days after sowing), and reduce the highest soil temperature by 0.8–1.8 degrees centigrade (184 days after sowing), reduce soil temperature variation by 2.3 degrees centigrade (95–184 days after sowing) and increase soil average moisture content by 8.0%–8.9% (48–184 days after sowing). Straw mulching reduced the seedling density of winter oilseed rape by more than 80% compared with no mulching. The density of CK, S, NPK and NPK + S at maturity stage decreased by 71.3%, 40.3%, 69.5% and 32.1% respectively, compared with those at emergence. The density reduction range of oilseed rape with straw mulching was less than that of no mulching during the growth period. The rhizome thickness and plant height of the S treatment were 22.7% and 8.3% higher than those of CK treatment at mature stage, respectively. No significant difference was showed between NPK + S and NPK treatments. Two years' field experiments showed that the maximum biomass of S treatment was increased by 88.6% on average compared with CK. Compared to the NPK treatment, the biomass of NPK + S treatment at seedling stage decreased by 3.7%–27.9%, but that in the pod stage increased by 28.1%. The CK and S treatments had significant differences in N, P and K accumulation at the bud-bolting and flowering stages. The accumulation of N, P of S treatment was higher than that of CK at maturity by 28.6%–268.2% and 93.3%–253.1% respectively, with the yield increment by 218.8% and 28.5% respectively. The accumulation of N, P and K in winter oilseed rape increased with the advance of growth season and reached the maximum at the pod stage with fertilization (NPK, NPK + S) treatments. The NPK + S treatment yielded N, P and K accumulation of 18.1%–19.1%, 23.7%–36.9% and 28.3%–56.9% higher than the NPK treatment at maturity stage, respectively. Compared with NPK treatment, oilseed rape yield of NPK + S increased by 1811 and 1032 kg/hm<sup>2</sup> during the two seasons, with the increasing rates of 25.6% and 20.3%, respectively. **【 Conclusions 】** Straw mulching could alleviate the effect of soil temperature fluctuation, maintain soil moisture content to alleviate soil dryness. Straw mulching inhibits the seedling density of oilseed rape at the early stage. However, in the later period, straw mulching could maintain rape density, promoting growth, biomass, yield and nutrient absorption of winter oilseed rape.

**Key words:** straw mulching; direct-sown winter oilseed rape; density; oilseed rape yield; nutrient uptake

油菜是我国重要的油料作物, 长江流域历来是我国冬油菜主产区, 种植面积及总产占全国油菜种植总量的 85%<sup>[1]</sup>。该地区 80% 的油菜前茬为水稻, 考虑到稻草还田在改善土壤环境和培肥土壤方面的优势以及长江中下游地区稻草资源量大的现实, 以及稻草覆盖还田在保水、保温和培肥地力方面的明显作用, 其可以作为保护性耕作的一种措施<sup>[2]</sup>。进行稻草还田不仅有可能促进油菜的生长, 也可以合理利用过剩的稻草, 达到一举两得的效果。大量研究表明, 稻草覆盖还田除了能够培肥土壤、提高作物

产量外, 还可以抑制土面水分无效蒸发, 达到蓄水保墒、提高水分利用效率的效果<sup>[3-8]</sup>, 同时在低温条件下能够缓解低温冻害, 保证作物安全越冬<sup>[9]</sup>。稻草覆盖还田还能有效抑制杂草生长, 增加土壤微生物数量, 提高土壤酶活性<sup>[10]</sup>。Su 等<sup>[6]</sup>研究结果显示, 稻草覆盖还田提高油菜产量 18.1%, 氮、磷和钾吸收量分别提高 23.7%、13.3% 和 24.2%。张刚等<sup>[11]</sup>研究表明, 秸秆全量还田配施适量氮肥, 可以提高水稻对氮肥的利用率, 增加产量, 同时减少氮肥损失。与秸秆不还田相比, 秸秆还田可提高水稻产量 3.8%~

12.9%<sup>[12]</sup>。张维维等<sup>[13]</sup>在贵州省绥远县稻-油轮作区研究发现, 秸秆还田提高油菜产量 15.0%, 增产效果明显。对于冬油菜, 有研究发现稻草覆盖对直播油菜的出苗率和群体密度有较为显著的负效应<sup>[2]</sup>。刘芳等<sup>[10]</sup>研究认为不同秸秆还田量均能不同程度提高直播油菜的株高和根茎粗等指标。随着长江中下游作物收获机械化程度不断提高, 籽粒收获与秸秆还田可同步进行。针对机械化种植和秸秆还田推行力度的不断加大, 前季作物稻草覆盖还田对于直播油菜出苗率、生长动态以及物质积累的影响程度尚不十分明晰。本文研究了两年的田间试验稻草覆盖还田对直播冬油菜生育期密度、株高、根茎值以及产量和养分吸收的影响, 以期对稻草覆盖还田条件下直播油菜栽培技术提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

田间试验于 2014 年 10 月至 2016 年 5 月在华中农业大学校内试验基地进行。供试土壤为水稻土, 耕层(0—20 cm)土壤基础理化性质: pH 6.96、有机质 5.43 g/kg、全氮 0.50 g/kg、速效磷 1.24 mg/kg、速效钾 110 mg/kg。该区属北亚热带季风性湿润气候, 无霜期 240 天。如图 1-a 所示, 2014—2015 和 2015—2016 两个年度分别在越冬期的 12 月和 11 月份遭遇较低温度, 其余月份平均温度与近 20 年(1995—2015 年)均值没有差异。此外, 2015—2016 油菜生育期间总日照时数为 809 h, 较 20 年平均总日照时数减少了 246 h, 其中 11、12、1 月份日照时数仅达到 20 年均值的 20%~51%(图 1-b); 两个年度油菜生育期内总降雨量分别为 852.0 和 528.8 mm(图 1-c)。

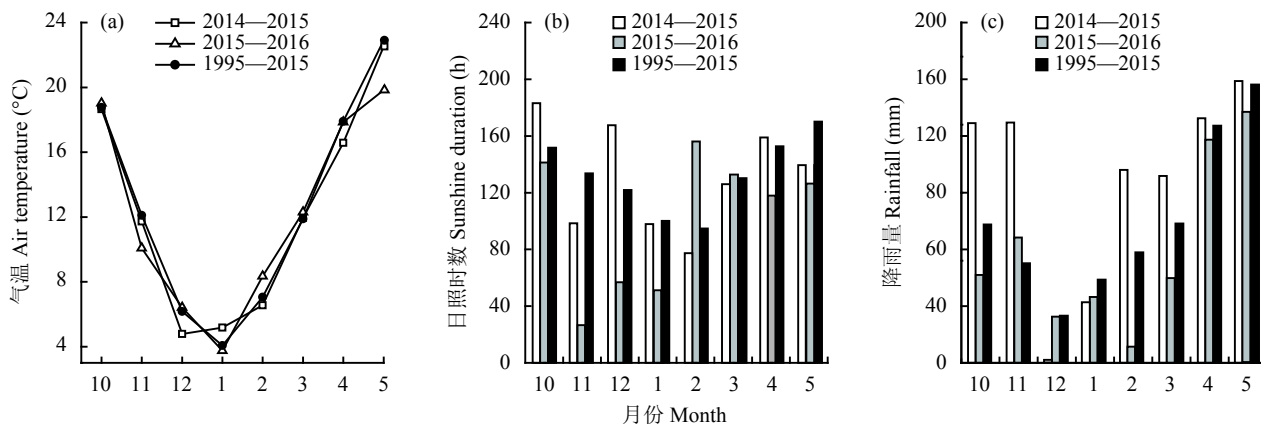


图 1 冬油菜季月均温、日照时数及月降雨量分布图

Fig. 1 Monthly mean temperature, sunshine duration and monthly rainfall during the winter oilseed rape season at the experimental site

### 1.2 试验设计

试验设置 4 个处理, 分别为: 1) 对照, 稻草不还田且不施肥(CK); 2) 稻草覆盖还田但不施肥(S); 3) 单施化肥(NPK); 4) 稻草覆盖还田配施化肥(NPK + S)。试验采用随机区组排列, 3 次重复, 小区面积 30 m<sup>2</sup>。肥料品种分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(含 K<sub>2</sub>O 60%)和硼砂(含 B 11%)。施肥处理(NPK、NPK + S)肥料用量: N 180 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 75 kg/hm<sup>2</sup>、硼砂 15 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥按照 60% 基肥 + 20% 提苗肥 + 20% 越冬肥施用, 磷、钾和硼肥均一次性基施。供试油菜品种为‘华油杂 62’, 播种量为 4.5 kg/hm<sup>2</sup>。2014—2015 年, 冬油菜于 2014 年 10 月 10 日播种, 2015 年 5 月 6 日收获, 生育期 209 天; 2015—2016 年, 冬油菜于 2015 年 10 月 23 日播种, 2016 年 5 月 3 日收获, 生育期 194 天。播种后即将前季收获的完整的稻草均匀铺在厢面上并轻轻压实。病虫害等其他田间管理措施同常规。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤样品 土壤基础样品均在作物种植前采用“S”形 10 点采样法采集, 取 0—20 cm 耕层土壤, 拣出杂草和碎石, 按照“四分法”取 1 kg 带回实验室于阴凉、通风处风干, 并用木槌磨细过 0.85 mm 筛后, 置于干燥处保存。土壤基础理化性质按常规方法测定<sup>[14]</sup>: pH 按照水土比 2.5 : 1, 电位法测定; 有机质用外加热—重铬酸钾容量法测定; 全氮用半微量开氏定氮法测定, 标准酸滴定; 速效磷用 0.5 mol/L 的 NaHCO<sub>3</sub> 浸提—钼锑抗比色法测定; 速效钾用 1 mol/L NH<sub>4</sub>OAc 浸提—火焰光度法测定; 2015—2016 年油菜季采用土壤水分—温度便携式测定仪监测土壤温度和含水量。

**1.3.2 植株样品** 油菜成熟期收获前每个小区按照  $0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m}$  样方取地上部植株样, 网袋悬挂风干脱粒后分别统计茎秆、籽粒、角壳的生物量, 各部分样品于  $60^\circ\text{C}$  烘干磨细后用于养分测定。植物样品养分测定采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  联合消煮, 流动注射分析仪(AA3, 德国 SEAL)测定植株氮、磷含量, 火焰光度法测定植株钾含量<sup>[20]</sup>。以各小区实际收获产量计产。

**1.3.3 密度及生长指标调查** 2015—2016 年冬油菜季, 于每个小区内选择有代表性的样方并固定, 样方面积为  $0.36\text{ m}^2$  ( $0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ ), 在固定的样方内调查密度。密度调查周期为 7~15 天。

株高为从子叶节至主茎顶端的长度, 每个重复选取有代表性的植株, 测量 5 株取平均值。

根茎粗用游标卡尺在子叶节下 1 cm 处测定, 每个重复选取有代表性的植株, 测量 5 株取平均值。

## 1.4 数据处理

试验数据采用 Origin 2017 和 SPSS 20 软件进行制图和统计分析, 最小显著法 (LSD) 检验试验数据的差异显著性水平 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻草覆盖还田对土壤温度和含水量的影响

油菜生育期土壤温度和含水量一直处于动态变化的状态 (图 2)。土壤温度在播种后 95 天达到最低, CK、S、NPK 和 NPK + S 处理的土壤最低温度

分别为 1.6、2.8、2.0 和  $2.6^\circ\text{C}$ , 稻草覆盖还田处理的土壤温度比稻草不还田处理高  $0.6\sim 1.2^\circ\text{C}$ 。播种后 102 天, 气温快速回升, 成熟期土壤温度最高, CK、S、NPK 和 NPK + S 处理的土壤温度分别为  $19.6$ 、 $18.8$ 、 $20.6$  和  $18.8^\circ\text{C}$ , 稻草覆盖还田处理土壤温度比稻草不还田处理低  $0.8\sim 1.8^\circ\text{C}$ 。油菜生育期 CK、S、NPK 和 NPK + S 处理的土壤温度变化分别为  $18.1$ 、 $16.0$ 、 $18.6$  和  $16.2^\circ\text{C}$ , 不同处理间差异显著, 稻草还田缩小土壤平均温度变幅  $2.3^\circ\text{C}$ , 表明稻草覆盖还田可以缓解气温骤变造成土壤温度变化。播种 87 天后, 不同处理间土壤含水量开始出现明显差异, 油菜生育期 CK、S、NPK 和 NPK + S 处理的土壤含水量平均分别为  $0.23$ 、 $0.25$ 、 $0.22$  和  $0.24\text{ m}^3/\text{m}^3$ , NPK + S 处理土壤含水量比 NPK 处理高  $8.0\%$ , S 处理比 CK 处理高  $8.9\%$ , 表明稻草覆盖还田对保持土壤含水量有积极作用。

### 2.2 稻草覆盖还田对直播冬油菜密度的影响

由图 3 可知, 直播冬油菜出苗后的密度整体呈逐渐降低趋势。播种后 23 天, CK、S、NPK 和 NPK + S 处理的密度分别为  $107$ 、 $59$ 、 $79$  和  $43\text{ 万株}/\text{hm}^2$ , NPK 处理出苗密度较 NPK + S 处理高  $83.7\%$ , CK 处理出苗密度较 S 处理高  $81.4\%$ , 稻草覆盖对于冬油菜出苗表现出明显的抑制效应。各处理在播种后 23—102 天 (苗期) 均存在较大幅度的密度消减。从蕾薹期到成熟期, CK 处理密度降低明显, 而其余处

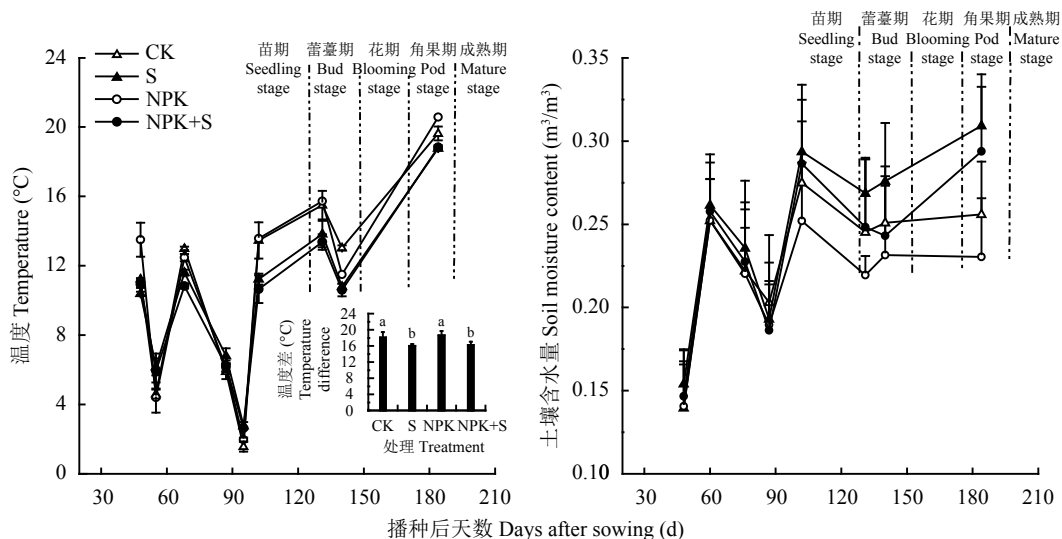


图 2 稻草覆盖还田下的土壤温度和含水量

Fig. 2 Soil temperature and moisture content of straw mulching treatments

[注 (Note): CK—对照 (稻草不还田且不施肥) Without fertilization and no straw returning to field; S—稻草覆盖还田但不施肥 Straw mulching without fertilization; NPK—单施化肥 Chemical fertilization only; NPK + S—稻草覆盖还田配施化肥 Combination of straw mulching and fertilizer application; 柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters above bars mean significant differences among the treatments at the 0.05 level.]

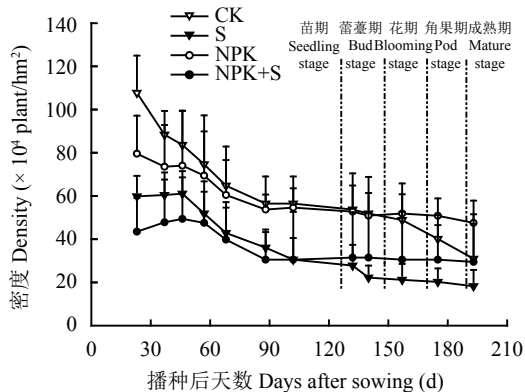


图3 稻草覆盖下的直播冬油菜生育期密度变化

Fig. 3 Variation of plant density of direct-sown winter oilseed rape in each treatment

[注 (Note): CK—对照 (稻草不还田且不施肥) Without fertilization and no straw returning to field; S—稻草覆盖还田但不施肥 Straw mulching without fertilization; NPK—单施化肥 Chemical fertilization only; NPK + S—稻草覆盖还田配施化肥 Combination of straw mulching and fertilizer application.]

理的密度变化平缓。成熟期 CK、S、NPK 和 NPK + S 处理密度分别为 31、18、48 和 30 万株/hm<sup>2</sup>, 与出苗密度相比, 各处理密度分别降低 71.3%、40.3%、69.5% 和 32.1%, 稻草还田处理的油菜生育期内密度降低幅度小于稻草不还田处理, 表明稻草覆盖可缓解冬油菜生长后期密度的削减。

### 2.3 稻草覆盖还田对直播冬油菜株高的影响

图 4 结果表明, 直播冬油菜株高基本呈“S”形曲线变化。在播种后 76 天内, 株高增加幅度较小, 各处理差异不显著。随后株高均开始迅速提高, S 处理的株高增长速度高于 CK 处理, 越冬期间 (播种后 76—132 天), S 处理的株高显著高于 CK 处理, 而 NPK 与 NPK + S 处理间差异不明显。各处理株高均在 157 天达到最大值, 随后保持稳定, CK、S、NPK 和 NPK + S 处理株高最大值分别为 78.6、85.1、128.5 和 123.6 cm, S 处理株高比 CK 提高 8.3%, 差异明显, NPK 处理株高比 NPK + S 处理提高 4.0%, 无明显差异。

### 2.4 稻草覆盖还田对直播冬油菜根茎粗的影响

蕾薹期前冬油菜的根茎粗整体呈缓慢增长的趋势 (图 5)。播种后 88~132 天, CK、S、NPK 和 NPK + S 处理根茎粗分别增长 0.7、1.7、1.8 和 3.1 mm, 稻草覆盖还田处理的根茎粗增长速率均高于不还田处理。进入蕾薹期—花期, 各处理的根茎粗快速增长, 角果期明显减慢, 成熟期根茎粗达到最大, 各处理根茎粗分别为 6.6、8.1、11.4 和 11.8 mm。与 NPK 处理相比, NPK + S 处理的根茎粗提高 3.5%,

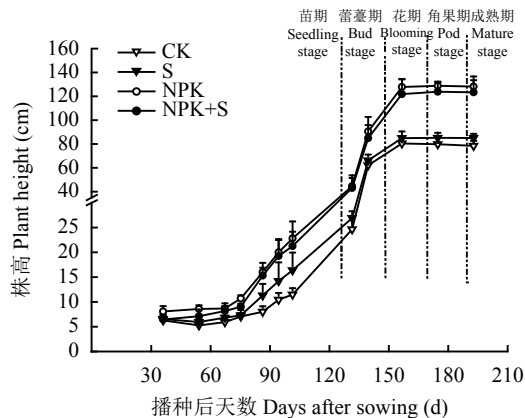


图4 稻草覆盖还田下的直播冬油菜株高

Fig. 4 Plant height of direct-sown winter oilseed rape of straw mulching treatments

[注 (Note): CK—对照 (稻草不还田且不施肥) Without fertilization and no straw returning to field; S—稻草覆盖还田但不施肥 Straw mulching without fertilization; NPK—单施化肥 Chemical fertilization only; NPK + S—稻草覆盖还田配施化肥 Combination of straw mulching and fertilizer application.]

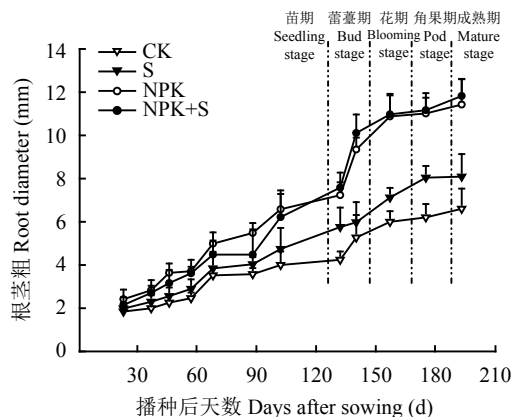


图5 稻草覆盖还田下的直播冬油菜根茎粗

Fig. 5 Rhizome of direct-sown winter oilseed rape of straw mulching treatments

[注 (Note): CK—对照 (稻草不还田且不施肥) Without fertilization no straw returning to field; S—稻草覆盖还田但不施肥 Straw mulching without fertilization; NPK—单施化肥 Chemical fertilization only; NPK + S—稻草覆盖还田配施化肥 Combination of straw mulching and fertilizer application.]

与 CK 处理相比, S 处理根茎粗显著提高 22.7%。

### 2.5 稻草覆盖还田对直播冬油菜生物量及养分积累量动态变化的影响

由图 6-a 和 6-e 可以看出, 两年施肥处理冬油菜生物量呈“S”形曲线变化。苗期增长较为缓慢, 进入蕾薹期后物质积累速率迅速增加, 各处理生物量和养分积累量均在角果期达到最大值。与 CK 处理相比, S 处理最大生物量平均增加了 88.6%, 与 NPK

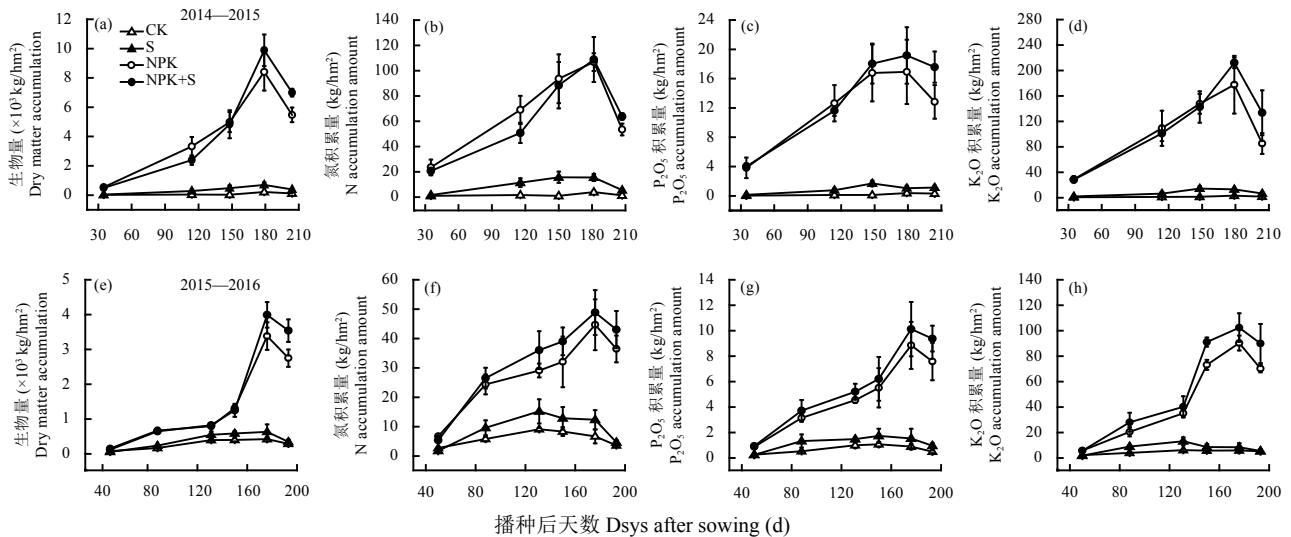


图 6 稻草覆盖还田下的直播冬油菜地上部生物量和养分积累量

Fig. 6 Biomass and nutrient accumulation of direct-sown winter oilseed rape of straw mulching treatments

[注 (Note): CK—对照 (稻草不还田且不施肥) Without fertilization and no straw returning to field; S—稻草覆盖还田但不施肥 Straw mulching without fertilization; NPK—单施化肥 Chemical fertilization only; NPK + S—稻草覆盖还田配施化肥 Combination of straw mulching and fertilizer application.]

处理相比, NPK + S 处理的苗期生物量降低 3.7%~27.9%, 角果期生物量平均增加了 28.1%, 稻草覆盖还田显著提高冬油菜最大物质积累。

2014—2015 年, S 和 CK 处理氮、磷和钾积累量在蕾薹期—花期差异较大, 成熟期 S 处理的氮、磷和钾积累量分别较 CK 处理高 268.2%、253.1% 和 364.5%; NPK + S 处理油菜氮、磷和钾积累量均在播种 150 天后逐渐高于 NPK 处理, 至成熟期, NPK + S 处理氮、磷和钾积累量分别较 NPK 处理提高 19.1%、36.9% 和 56.9%。2015—2016 年, 成熟期 S 处理的氮、磷和钾积累量分别较 CK 处理高 28.6%、93.3% 和 5.4%; NPK + S 处理在油菜播种后 88 天即表现出较高的养分吸收能力, 其氮、磷和钾积累量始终高于 NPK 处理, 至成熟期, NPK + S 处理的氮、磷和钾积累量分别较 NPK 处理提高 18.1%、23.7% 和 28.3%。

## 2.6 稻草覆盖还田对直播冬油菜产量和养分吸收的影响

表 1 结果表明, 油菜产量的年度间波动很大, 同一处理不同年度间的产量波动范围在 11~723 kg/hm<sup>2</sup> 之间, 这反映出不同年度间因播期和气候变化对直播冬油菜产量的影响很大。在 2014—2015 和 2015—2016 年, S 处理冬油菜产量较 CK 处理分别增产 218.8% 和 28.5%; 与 NPK 处理相比, NPK + S 处理增产率分别为 25.6% 和 20.3%, 稻草还田显著

提高冬油菜产量。方差分析结果表明, 施肥和稻草还田对冬油菜产量、生物量和养分吸收量的影响达到显著或极显著水平, 2015—2016 年施肥和稻草还田对油菜生物量和钾吸收量有极显著的交互作用。

## 3 讨论

虽然稻草覆盖还田对油菜的出苗率和群体数量有一定的抑制作用, 但是稻草覆盖还田能促进油菜个体生长发育。本研究发现直播冬油菜的株高和根茎粗均表现出稻草覆盖还田处理高于不还田处理, 尤其是在不施肥条件下, 稻草还田处理较 CK 处理的株高和根茎粗分别提高 8.3% 和 22.7%。有研究表明, 稻草覆盖能分别增加直播油菜不同生育期的株高和根茎粗 4.1%~27.8% 和 1.3%~12.7%<sup>[10]</sup>。王宁等<sup>[15]</sup>研究同样发现秸秆还田可以增加 8.6% 的作物根茎粗, 降低植株株高与根茎粗的比值, 进而增强植株的抗倒伏性。此外, 有研究指出油菜生长后期稻草覆盖还田能够缓解土壤养分供应不足对油菜生长的抑制作用, 促进油菜个体植株的生长发育<sup>[2]</sup>。同时, 稻草覆盖还田通过影响土壤对光能的吸收转化和热量的传导过程从而影响土壤温度的变化, 既可阻止太阳直射, 又可减少土壤热量散失, 对土壤具有调温保墒的作用<sup>[16]</sup>。本研究发现, 稻草覆盖还田可以提高土壤最低温度 0.6~1.2℃, 降低土壤最高温度 0.8~1.8℃, 缩小土壤温度变幅 2.3℃ 左右, 缓解

表 1 稻草覆盖还田下的直播冬油菜产量和养分吸收 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

Table 1 Yield and nutrient uptake of direct-sown winter oilseed rape of straw mulching treatments

处理 Treatment	2014—2015					2015—2016				
	产量 Yield	生物量 Biomass	养分吸收量 Nutrient uptake			产量 Yield	生物量 Biomass	养分吸收量 Nutrient uptake		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
CK	32 c	114 c	1.5 c	0.3 c	1.4 c	88 c	267 c	3.5 c	0.5 c	5.0 c
S	102 c	394 c	5.5 c	1.1 c	6.4 c	113 c	323 c	4.5 c	0.9 c	5.3 c
NPK	1468 b	5477 b	51.8 b	12.8 b	84.9 b	931 b	2739 b	36.4 b	7.6 b	70.0 b
NPK + S	1843 a	6996 a	61.7 a	17.6 a	133.3 a	1120 a	3532 a	43.0 a	9.4 a	89.8 a
方差分析 ANOVA										
NPK	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
S	**	**	**	**	**	*	**	ns	*	**
NPK × S	*	*	ns	*	*	ns	**	ns	ns	**

注 (Note): CK—对照, 稻草不还田且不施肥 Without fertilization no straw returning to field; S—稻草覆盖还田但不施肥 Straw mulching without fertilization; NPK—单施化肥 Chemical fertilization only; NPK + S—稻草覆盖还田配施化肥 Combination of straw mulching and fertilizer application; 同列数据后不同小写字母表示处理间在 5% 水平差异显著 Values followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 5% level; \*— $P < 0.05$ ; \*\*— $P < 0.01$ ; ns—不显著 Not significant.

了气温骤变造成土壤温度变化; 与稻草不还田相比, 稻草覆盖还田能够提高土壤含水量 8.0%~8.9%。可见, 稻草覆盖还田提供的相对稳定的土壤环境对于油菜个体生长同样具有较强的保护作用。

秸秆还田对油菜的产量和生物量具有促进作用, 主要是提高了单株角果数和每角粒数<sup>[17]</sup>。秸秆还田不仅能在低温冻害天气下增加油菜产量和生物量, 而且能缓解土壤养分亏缺<sup>[18]</sup>。本试验结果表明, 冬油菜苗期增长较为缓慢, 进入蕾薹期后物质积累速率迅速增加, 氮、磷和钾积累量也随之变化, 至角果期达到最大值。施肥情况下, 稻草覆盖还田油菜产量和生物量有显著提升, 两年分别提高 20.3%~25.6% 和 27.7%~29.0%, 成熟期冬油菜的氮、磷和钾积累量分别增加 18.1%~19.1%、23.7%~36.9% 和 28.3%~56.9%, 明显的增产效应可能与秸秆覆盖还田缓解了油菜越冬期极端低温和阶段性干旱有关。在油菜生育中后期, 稻草还田与不还田相比能够维持油菜生长的稳定, 对油菜的产量和生物量也有促进作用。这可能是由于稻草还田一段时间后释放的养分缓解了土壤养分供应不足。Dai 等<sup>[19]</sup>的田间试验发现, 稻草还田促进了油菜对氮、磷和钾的吸收。秸秆还田可提高土壤有机质、全氮和速效养分含量, 提高土壤肥力<sup>[19-20]</sup>。也有研究表明, 秸秆还田还能够促进土壤酸性磷酸酶活性增长, 磷酸酶加快有机磷向无机磷转化的速度, 从而促进作物对无机

磷的吸收<sup>[21-22]</sup>。

此外, 播期对油菜生长发育影响较大。不同播期光温条件存在一定差异, 会影响油菜生长发育过程中光合产物的转移。研究表明, 晚播条件下油菜光合产物的转移能力下降, 进而引起产量的降低<sup>[23-24]</sup>。油菜在整个生育期间, 产量与平均温度呈正相关, 尤其在开花前期的营养生长阶段较高的温度有利于产量的形成<sup>[25]</sup>。王文军等在研究油菜产量的气象模拟中发现, 花期极端最低气温 (0℃) 将使油菜遭受冻害, 此时每降低或者上升 1℃, 产量将减少或提升 63  $\text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[26]</sup>。本试验中施肥条件下 2015—2016 年油菜的产量与养分吸收量显著低于 2014—2015 年, 主要原因是 2015—2016 年油菜播期较晚导致冬前未建立强大的营养群体, 无法形成大分枝和多分枝。另外, 2015—2016 年油菜生育期内降水量较少, 越冬期极端低温天气多 (1 月份月平均气温较 2014—2015 年低 1.3℃), 前期日照不足 (11、12 和 1 月份日照时数不足平均值一半) 等原因, 也导致两年产量有较大差异。

## 4 结论

1) 稻草覆盖还田提高土壤最低温度 0.6~1.2℃, 降低土壤最高温度 0.8~1.8℃, 缩小土壤平均温度变幅 2.3℃, 缓解气温骤变对土壤温度的影响, 提高土壤平均含水量 8.0%~8.9%, 保持土壤含水量, 缓解土壤干旱。

2) 稻草覆盖前期抑制直播冬油菜的出苗密度, 后期可维持冬油菜密度的稳定, 稻草覆盖还田能够提高冬油菜个体根茎粗和株高, 促进冬油菜的生长。尤其是在不施肥条件下, 稻草覆盖还田可分别增加根茎粗 22.7%、株高 8.3%。

3) 稻草覆盖还田能够显著提高冬油菜氮、磷、钾积累量和产量。两年施肥试验结果表明, 秸秆还田较不还田处理冬油菜氮、磷、钾积累量和产量分别提高 18.1%~19.1%、23.7%~36.9%、28.3%~56.9% 和 20.3%~25.6%。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.  
National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.
- [2] 苏伟. 稻草还田对油菜生长, 土壤肥力的综合效应及其机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学博士学位论文, 2014.  
Su W. The effects and mechanism of rice straw retaining on winter oilseed rape growth and soil fertility[D]. Wuhan: PhD Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2014.
- [3] 武际. 水旱轮作条件下秸秆还田的培肥和增产效应[D]. 武汉: 华中农业大学博士学位论文, 2012.  
Wu J. Effects of straw return on soil fertility and crop yields in paddy-upland rotation system[D]. Wuhan: PhD Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2012.
- [4] Huang S, Zeng Y, Wu J, *et al.* Effect of crop residue retention on rice yield in China: A meta-analysis[J]. *Field Crops Research*, 2014, 154(3): 188–194.
- [5] 刘禹池, 曾祥忠, 冯文强, 等. 稻-油轮作下长期秸秆还田与施肥对作物产量和土壤理化性状的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1450–1459.  
Liu Y C, Zeng X Z, Feng W Q, *et al.* Effects of long-term straw mulch and fertilization on crop yields and soil physical and chemical properties under rice-rapeseed rotation[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(6): 1450–1459.
- [6] 苏伟, 鲁剑巍, 周广生, 等. 稻草还田对油菜生长、土壤温度及湿度的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(2): 366–373.  
Su W, Lu J W, Zhou G S, *et al.* Influence of straw returning on rapeseed (*Brassica napus* L.) growth, soil temperature and moisture[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(2): 366–373.
- [7] 陈红琳, 陈尚洪, 王昌桃, 等. 成都平原不同秸秆还田量对土壤水分及机播油菜生长的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2015, (2): 264–268.  
Chen H L, Chen S H, Wang C T, *et al.* Effects of different amounts of straw returning on soil water and the growth of mechanized sowing rapeseed in Chengdu Plain[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, (2): 264–268.
- [8] 孙丽敏, 李春杰, 何萍, 等. 长期施钾和秸秆还田对河北潮土区作物产量和土壤钾素状况的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(5): 1096–1102.  
Sun L M, Li C J, He P, *et al.* Effects of long-term K application and straw returning on crop yield and soil K status in fluvo-aquic soil of Hebei Province[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(5): 1096–1102.
- [9] 张学昆, 张春雷, 廖星, 等. 2008年长江流域油菜低温冻害调查分析[J]. *中国油料作物学报*, 2008, 30(1): 122–126.  
Zhang X K, Zhang C L, Liao X, *et al.* Investigation on 2008' low temperature and freeze injure on winter oilseed rape along Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2008, 30(1): 122–126.
- [10] 刘芳. 基于水稻秸秆覆盖还田的免耕直播油菜栽培模式研究[D]. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2012.  
Liu F. Study on cultivation mode of no-tillage direct-seeding based on rice straw mulching[D]. Wuhan: MS Thesis of Huazhong Agricultural University, 2012.
- [11] 张刚, 王德建, 俞元春, 等. 秸秆全量还田与氮肥用量对水稻产量、氮肥利用率及氮素损失的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22(4): 877–885.  
Zhang G, Wang D J, Yu Y C, *et al.* Effects of straw incorporation plus nitrogen fertilizer on rice yield, nitrogen use efficiency and nitrogen loss[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2016, 22(4): 877–885.
- [12] 张磊, 戴志刚, 鲁明星, 等. 秸秆还田方式对水稻产量及养分吸收的影响[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(1): 51–55.  
Zhang L, Dai Z G, Lu M X, *et al.* The effect of straw returning on rice yield and nutrient absorption[J]. *Hubei Agricultural Science*, 2017, 56(1): 51–55.
- [13] 张维维, 周燕, 崔祥开. 稻草还田在油菜栽培中的效应研究[J]. *北京农业*, 2015, (21): 46.  
Zhang W W, Zhou Y, Cui X K. Study on the effect of rice straw returning to rape cultivation[J]. *Beijing Agriculture*, 2015, (21): 46.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.  
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis(3rd Edition.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [15] 王宁, 曹敏建, 于海秋, 等. 秸秆还田对玉米生长发育及产量的影响[J]. *园艺与种苗*, 2006, 26(2): 82–84.  
Wang N, Cao M J, Yu H Q, *et al.* Effect of straws return to field on growth, development and yield of maize[J]. *Horticulture & Seed*, 2006, 26(2): 82–84.
- [16] 杨滨娟, 黄国勤. 秸秆还田配施化肥对土壤温度、根际微生物及酶活性的影响[J]. *土壤学报*, 2014, (1): 150–157.  
Yang B J, Huang G Q. Effects of straw incorporation plus chemical fertilizer on soil temperature, root micro-organisms and enzyme activities[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, (1): 150–157.
- [17] 刘秋霞, 任涛, 张萌, 等. 秸秆还田与氮磷钾化肥配施对直播冬油菜产量及其构成因子的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2016, (6): 68–73.  
Liu Q X, Ren T, Zhang M, *et al.* Effects of straw incorporation with nitrogen, phosphate and potassium fertilization on yield and yield components of direct-sown winter oilseed rape[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016, (6): 68–73.
- [18] 戴志刚. 秸秆养分释放规律及秸秆还田对作物产量和土壤肥力的影响[D]. 武汉: 华中农业大学硕士学位论文, 2009.  
Dai Z G. Study on nutrient release characteristics of crop residue and



- effect of crop residue returning on crop yield and soil fertility[D]. Wuhan: MS Thesis of Huazhong Agricultural University, 2009.
- [19] 戴志刚, 鲁剑巍, 余宗波, 等. 不同耕作模式下秸秆还田对作物产量及田间养分平衡的影响[J]. 中国农技推广, 2011, (12): 39–41.
- Dai Z G, Lu J W, Yu Z B, *et al.* Effect of different modes of tillage under straw returning on crop yield and field nutrient balance[J]. China Agricultural Technology Extension, 2011, (12): 39–41.
- [20] Mitra B, Mandal B. Effect of nutrient management and straw mulching on crop yield, uptake and soil fertility in rapeseed (*Brassica campestris*)-greengram (*Vignaradiata*)-rice (*Oryza sativa*) cropping system under Gangetic plains of India[J]. Archives of Agronomy & Soil Science, 2012, 58(2): 213–222.
- [21] 战厚强, 颜双双, 王家睿, 等. 水稻秸秆还田对土壤磷酸酶活性及速效磷含量的影响[J]. 作物杂志, 2015, (2): 78–83.
- Zhan H Q, Yan S S, Wang J R, *et al.* Effects of rice straw returning on activities of soil phosphatase and available P values in soil[J]. Crops, 2015, (2): 78–83.
- [22] Pant H K, Warman P R. Enzymatic hydrolysis of soil organic phosphorus by immobilized phosphatases[J]. Biology & Fertility of Soils, 2000, 30(4): 306–311.
- [23] 廖桂平, 官春云. 不同播期对不同基因型油菜产量特性的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 853–858.
- Liao G P, Guan C Y. Effects of different sowing date on yield components in different genotypes of rape[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(6): 853–858.
- [24] Akhter M T, Mannan M A, Kundu P B, Paul N K. Effects of sowing time and weed management on the yield and yield components of three varieties of rapeseed (*Brassica Campestris* L.)[J]. Bangladesh Journal of Botany, 2016, 45(5): 963–969.
- [25] 朱耕如. 油菜花角期气候浅析[J]. 中国油料作物学报, 1987, (3): 1–5.
- Zhu G R. Analysis of the horn climate of rape[J]. Chinese Journal of Oil Crops Sciences, 1987, (3): 1–5.
- [26] 王文军, 董明达, 唐继云. 油菜产量的气象模拟分析[J]. 作物杂志, 2010, (3): 30–33.
- Wang W J, Tong M D, Tang J Y. Meteorological simulation analysis of rape yield[J]. Crops, 2010, (3): 30–33.