

引用格式:

吴裕如,王承,艾亥麦提·艾麦尔江,杨友才.油菜秸秆还田及氮肥减量对夏玉米生长发育及产量的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2020,46(6):641-648.

WU Y R, WANG C, AIMAIERJIANG A, YANG Y C. Effects of rape straw returning and reduction of nitrogen fertilizer on the growth and yield of summer maize[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2020, 46(6): 641-648.

投稿网址: http://xb.hunau.edu.cn



## 油菜秸秆还田及氮肥减量对夏玉米生长发育及产量的影响

吴裕如,王承,艾亥麦提·艾麦尔江,杨友才\*

(湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙410128)

**摘要:**于2018、2019连续2年在湖南省桃源县木塘垅乡设计3种油菜秸秆还田量(移除、半量还田、全量还田)与3种氮肥施用量(减氮40%、减氮20%、当地常规施氮量)2因素裂区试验,探究不同油菜秸秆还田量和氮肥施用量处理对夏玉米生长发育和产量形成的影响。结果表明:夏玉米生育期随着秸秆还田量的增加和施氮量的增加略有延长;在秸秆还田的第1年,叶面积指数、地上部总生物量、产量、氮肥偏生产力等变化主要与施氮量有关,秸秆作用不明显;第2年,大多数指标均以秸秆半量还田+减氮20%的组合效果最好,其吐丝期叶面积指数、成熟期地上部总生物量、实际产量较秸秆移除+常规施氮组合的分别提高18.8%、8.2%、7.6%,在同一施氮量下,秸秆还田处理的氮肥偏生产力较秸秆移除处理的高;2年的油菜秸秆还田及氮肥减量处理对玉米的各农艺性状影响均不大,大多数指标差异无统计学意义。可见,秸秆还田具有良好的减氮增效的作用,可在洞庭湖区油菜-夏玉米复种模式下推广,且以油菜秸秆半量还田+氮肥减量20%的组合为宜。

**关键词:**夏玉米;油菜;秸秆还田;减氮;叶面积指数;生物量;农艺性状;氮肥偏生产力;产量

中图分类号:S513;S141.4 文献标志码:A 文章编号:1007-1032(2020)06-0641-08

### Effects of rape straw returning and reduction of nitrogen fertilizer on the growth and yield of summer maize

WU Yuru, WANG Cheng, Aihaimaiti AIMAIERJIANG, YANG Youcai\*

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** A two-factors split zone design including three types of rape straw returning (straw removal, straw half returning and straw full returning) and three types of nitrogen fertilizer application (reduction 40% of nitrogen fertilizer, reduction 20% of nitrogen fertilizer and conventional nitrogen application) were performed for two consecutive years, 2018 and 2019, in Mutangyuan Township, Taoyuan County, Hunan Province, aiming to investigate the effects of different amount of rape straw returning and nitrogen fertilizer application on the growth and yield formation of summer maize. Results showed that the growth period of maize increased slightly with the enhancement of straw returning and nitrogen fertilizer applied. In the first year of straw returning to field, changes in leaf area index, total above-ground biomass, grain yield and partial factor productivity of nitrogen fertilizer were mainly related to the amount of nitrogen fertilizer applied, and the effect of straw was not obvious. In the second year, most of the indicators of the combination of straw half returning and reduction 20% of nitrogen fertilizer were the best. The leaf area index at the spinning stage, the total above-ground biomass at maturity, and grain actual yield were increased by 18.8%, 8.2%, and 7.6% respectively, compared with the conventional nitrogen application treatments with straw removal. Under the same nitrogen application, the partial productivities of nitrogen

收稿日期:2020-03-05

修回日期:2020-04-06

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0300308)

作者简介:吴裕如(1994—),女,湖南常德人,硕士研究生,主要从事农业生态研究,1206343504@qq.com; \*通信作者,杨友才,博士,教授,主要从事农业生态和作物栽培研究, yangyc163@163.com

fertilizer with straw returning were higher. Rape straw returning and nitrogen fertilizer reduction treatments had little effect on the agronomic characteristics of maize in 2 years, and most of the indicators were not statistically different. It can be concluded that straw returning has a good effect of reducing nitrogen fertilizer using and increasing yield. This discovery can be applied into the rape-summer maize multiple cropping mode in the Dongting Lake area, and the combination of rape straw half returning and reduction 20% of nitrogen fertilizer is appropriate.

**Keywords:** summer maize; rape; straw returning; reduction of nitrogen fertilizer; leaf area index; biomass; agronomic characteristics; partial productivity of nitrogen fertilizer; grain yield

作物秸秆中含有农作物生长需要的氮、磷等营养元素,可作为农业生产中的肥料资源<sup>[1]</sup>。秸秆还田对维持农田肥力、减少化肥使用、提高陆地土壤碳汇能力有积极作用<sup>[2]</sup>。氮素是农作物必需的大量营养元素,其含量丰缺程度是影响农作物产量的重要指标之一,且氮肥用量是影响秸秆分解和养分释放的重要因素<sup>[3]</sup>。作物秸秆分解时,配合施用氮肥,能够避免微生物在分解秸秆过程中与作物竞争土壤中的氮素,促进秸秆分解,提高养分释放,但氮肥对作物秸秆分解的作用与秸秆特性、氮肥用量和土壤特性等有关<sup>[4-5]</sup>。在秸秆还田条件下,如何科学合理地施用氮肥是秸秆利用和优化施肥研究的关键问题<sup>[6]</sup>。

油菜是中国南方的一种重要的冬季作物,常与水稻、烤烟、玉米等作物进行轮作复种。前茬作物秸秆还田是废弃物资源化利用的一条重要途径,同时对后茬作物的产量、品质及土壤环境的改善有重要影响。有研究<sup>[7-10]</sup>指出,油菜秸秆还田能提高烤烟的品质,可增加水稻的有效穗数、穗粒数,促进水稻增产,同时能提升土壤有机质、碱解氮、速效钾的含量等。随着产业结构的调整,油菜-夏玉米复种模式在湖南洞庭湖区的使用面积在不断扩大<sup>[11]</sup>,油菜秸秆还田后,对后茬作物玉米的生长发育和产量的影响还鲜有报道。本研究中,以油菜秸秆还田量和氮肥施用量为考察变量,探究其对玉米生长及产量性状的影响,旨在为油菜秸秆还田和氮肥合理施用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试玉米品种为郑单 958。

### 1.2 试验设计

试验于 2018、2019 年在湖南省桃源县木塘垸

乡(E111°34',N29°1')同一地块进行。试验地 0~20 cm 土壤基本理化性状:有机质、全氮、全磷分别为 13.47、1.17、0.41 g/kg,碱解氮、有效磷分别为 55.58、8.35 mg/kg。

试验采用油菜秸秆还田量(S)与氮肥施用量(N) 2 因素裂区设计,以油菜秸秆还田量作为主区,氮肥施用量作为副区。设移除(S0)、半量还田(S1)和全量还田(S2) 3 个不同秸秆还田量;设减氮 40%(N1)、减氮 20%(N2)和当地常规施氮量(N3) 3 个不同施氮量水平。9 个处理,3 次重复,共 27 个小区。小区面积 19.2 m<sup>2</sup>。播种 4 行,行距、株距分别为 50、22.5 cm,种植密度为 75 000 株/hm<sup>2</sup>。秸秆还田量根据当地实收情况进行测算,3 个秸秆还田量 S0、S1、S2 分别约为 0、3、6 t/hm<sup>2</sup>(干质量)。油菜秸秆的有机碳量为 347.5~373.5 g/kg,总氮量为 9.1~9.6 g/kg。氮肥用量按当地习惯施肥进行测算,按折合纯氮 3 个氮肥水平 N1、N2、N3 分别为 187.0、249.4、311.7 kg/hm<sup>2</sup>。氮肥运筹基肥、追肥质量比为 6:4,追肥在 12 叶展期 1 次追施。其他田间管理措施与当地种植习惯保持一致。

### 1.3 测定的指标及方法

#### 1.3.1 生育时期调查

记录各处理的播种期、出苗期、拔节期(6 叶展)、大喇叭口期(12 叶展)、吐丝期(开花期)、成熟期等生育期。

#### 1.3.2 叶面积指数及叶片数测定

三叶间苗后,选择小区内长势一致、能代表小区平均水平的 10 株进行标记,记载叶龄,统计叶片数,并分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、成熟期按长宽系数法测量叶面积,计算叶面积指数。

#### 1.3.3 地上部总生物量的测定

在各生育时期,每个小区随机取具代表性的玉

米植株 5 株,去掉地下部,称植株鲜质量后,105 °C 杀青 0.5 h,80 °C 恒温箱中烘干至恒重,称得干物质质量,即地上部总生物量。

### 1.3.4 植株形态和产量性状指标及氮肥偏生产力的测定

在玉米成熟后,调查株数、总叶片数、穗数、空秆数及倒伏情况,并测量株高、穗位高、茎粗等形态指标,计算倒伏倒折率及空秆率。每小区收获右边 2 整行,测定实际产量,按实际收获的平均穗重选择 10 穗带回实验室进行考种,考察穗行数、穗粒数、百粒质量等穗粒性状,并计算理论产量。参照文献[12]的方法计算氮肥偏生产力。

### 1.4 数据处理和统计分析

运用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理。利用

SPSS 22.0 作方差分析,用 Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对供试夏玉米生育期的影响

从各处理的生育期表现(表 1)看,2 年的生育期均以秸秆移除+减氮 40%的 S0N1 最短,为 105 d;随着秸秆还田量的增加和施氮量的增加,生育期略有延长,均以全量还田或常规施氮处理的生育期最长,2018、2019 年分别为 107、109 d;各处理生育期总体变化不大,2018 年各处理间仅相差 2 d,2019 年仅相差 4 d,可见,秸秆还田和增施氮肥情况下能适当延长生育期。2019 年各处理的生育期普遍较 2018 年各处理长 1~2 d,主要是由于 2019 年前期出苗后遇到大雨,受到短时间的淹,拔节期明显推迟所致。

表 1 油菜秸秆还田及氮肥减量处理下的夏玉米生育期

年份	处理	播种日期	6 叶展	12 叶展	吐丝期	成熟期	全生育期/d
2018	S0N1	05-17	06-12	07-03	07-10	08-29	105
	S0N2	05-17	06-12	07-03	07-10	08-30	106
	S0N3	05-17	06-12	07-03	07-11	08-31	107
	S1N1	05-17	06-12	07-03	07-10	08-30	106
	S1N2	05-17	06-12	07-03	07-10	08-30	106
	S1N3	05-17	06-12	07-02	07-10	08-30	106
	S2N1	05-17	06-12	07-03	07-10	08-31	107
	S2N2	05-17	06-12	07-03	07-10	08-31	107
	S2N3	05-17	06-12	07-02	07-10	08-31	107
2019	S0N1	05-24	06-24	07-12	07-23	09-05	105
	S0N2	05-24	06-24	07-13	07-25	09-07	107
	S0N3	05-24	06-24	07-14	07-27	09-09	109
	S1N1	05-24	06-24	07-12	07-25	09-07	107
	S1N2	05-24	06-24	07-13	07-26	09-08	108
	S1N3	05-24	06-24	07-14	07-27	09-09	109
	S2N1	05-24	06-24	07-14	07-27	09-09	109
	S2N2	05-24	06-24	07-14	07-27	09-09	109
	S2N3	05-24	06-24	07-14	07-27	09-09	109

### 2.2 供试夏玉米全生育期叶面积指数的动态变化

由表 2 可知,玉米叶面积指数 6 叶展前处于缓慢增长阶段,6 叶展后迅速增长,在吐丝期达到最大值,随后逐渐下降,到成熟期降到最低。在不同生育时期,各处理间均表现有较大的差异性,在生育前期,6 叶展期间,随着施氮量的增加叶面积指数增加,不同秸秆还田量的叶面积指数差异不明显;随着玉米进入生长旺盛期,叶面积指数增长也

发生较大变化,2018 年吐丝期中,随着秸秆还田量的增加叶面积指数下降,各处理间以 S0N3 的叶面积指数最大,较最低的 S2N1 高 58.6%,即施氮量最多且没有秸秆还田的生长最好,这主要原因可能是此时正处于秸秆分解的高峰期,需要吸收大量的氮素维持 C 与 N 的平衡;2019 年的表现则不同,吐丝期时,S1N2 的叶面积指数最大,较最低的 S0N1 高 27.7%,较 S0N3 的高 18.8%,即叶面积指

数以秸秆半量还田+减氮 20%的组合最佳,这可能与第 1 年还田的秸秆已充分腐解并能补充提供部分氮素有关。

表 2 油菜秸秆还田及氮肥减量处理下夏玉米的叶面积指数

Table 2 The leaf area index of summer maize under different treatments of rape straw returning and nitrogen fertilizer reduction

年份	处理	叶面积指数			
		6 叶展	12 叶展	吐丝期	成熟期
2018	S0N1	1.41d	2.33cd	4.03c	1.21e
	S0N2	1.53cd	2.97a	4.81b	1.55cd
	S0N3	1.71abc	2.99a	5.33a	1.89ab
	S1N1	1.57cd	2.47bc	3.65cd	1.36de
	S1N2	1.68abc	2.77ab	4.71b	2.08a
	S1N3	1.80a	3.01a	4.72b	1.45de
	S2N1	1.11e	2.11d	3.36d	1.72bc
	S2N2	1.59bcd	2.95a	3.53d	1.76bc
	S2N3	1.78ab	2.28cd	3.66cd	1.75bc
2019	S0N1	0.43cd	2.02bc	3.47c	0.78cd
	S0N2	0.43cd	2.24abc	3.57c	0.94bc
	S0N3	0.61a	2.30ab	3.73abc	1.09b
	S1N1	0.36d	1.93c	3.49c	0.57d
	S1N2	0.49bc	2.09abc	4.43a	1.46a
	S1N3	0.51bc	2.43a	4.28ab	1.51a
	S2N1	0.45bcd	2.10abc	3.63bc	0.88bc
	S2N2	0.50bc	2.23abc	3.75abc	0.78bcd
	S2N3	0.56ab	2.17abc	3.97abc	0.73cd

同年度内同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著。

### 2.3 供试夏玉米全生育期地上部总生物量的动态变化

由表 3 可知,玉米的地上部总生物量随生育进程的推进而增加。2018 年,在玉米成熟期,S0N3 的地上部总生物量最大,为 18 693 kg/hm<sup>2</sup>,较最低的 S2N1 高 4.7%,差异有统计学意义;在同一秸秆还田量下,地上部总生物量随施氮量增加而增加,同一施氮水平下,地上部总生物量随秸秆还田量的增加而减少。2019 年,成熟期 S1N2、S1N3、S2N3 处理的地上部总生物量显著高于其他处理的;以 S1N2 的地上部总生物量最大,达 18 978 kg/hm<sup>2</sup>,较最低的 S0N1 高 25.2%,较 S0N3 的高 8.2%。

表 3 油菜秸秆还田及氮肥减量处理下夏玉米的地上部总生物量

Table 3 The total aboveground of summer maize biomass under different treatments of rape straw returning and nitrogen fertilizer reduction

年份	处理	总生物量/(kg·hm <sup>-2</sup> )				
		6 叶展	12 叶展	吐丝期	吐丝后 20 d	成熟期
2018	S0N1	919	4 490	11 040	14 720ab	18 396ab
	S0N2	828	4 643	11 197	14 929ab	18 661a
	S0N3	914	5 282	11 216	14 954a	18 693a
	S1N1	868	4 988	10 846	14 461ab	18 077ab
	S1N2	952	3 478	11 039	14 719ab	18 399ab
	S1N3	995	3 968	11 016	14 688ab	18 400ab
	S2N1	759	4 545	10 711	14 281b	17 851b
	S2N2	932	5 342	10 846	14 462ab	18 077ab
	S2N3	900	4 067	11 036	14 715ab	18 360ab
2019	S0N1	755b	3 084d	9 093e	12 124d	15 156d
	S0N2	894ab	4 070ab	10 334cd	13 779bc	17 224bc
	S0N3	854ab	3 644abcd	10 519c	14 026b	17 532bc
	S1N1	920ab	3 448cd	10 080d	13 439c	16 799c
	S1N2	963a	4 192a	11 387a	15 183a	18 978a
	S1N3	855ab	3 485bcd	11 159b	14 879a	18 599a
	S2N1	907ab	4 100a	10 470c	13 960bc	17 450bc
	S2N2	753b	2 414e	10 473c	13 965bc	17 456b
	S2N3	893ab	3 818abc	11 050b	14 734a	18 417a

同年度内同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著。

### 2.4 供试夏玉米收获期的农艺性状

由表 4 可知,2018 年,玉米的总叶片数、株高、倒伏倒折率均在各处理间的差异无统计学意义,各处理的总叶片数为 21.0~22.0 株高为 234.4~244.5 cm,倒伏倒折率为 1.63%~4.58%;空秆率以 S2N2 的最高,S0N1 的最低,秸秆移除和半量还田的各处理间的空秆率差异无统计学意义。2019 年,茎粗、倒伏倒折率在各处理间的差异无统计学意义,茎粗为 19.17~21.06 mm,倒伏倒折率为 0.00%~0.56%;总叶片数以 S0N2 和 S1N2 的最高,较最低的 S2N3 多出 8.8%,各处理间差异较小;株高以 S1N3 的最高,较最低的 S2N1 高出 11.6%,在减氮条件下,以 S2 的株高最低,空秆率为 0.00%~5.13%,以 S1N1 的最高,S0N1、S0N2 的最低。空秆主要集中在秸秆还田的处理中,差异较小。总体来看,2 年的油菜秸秆还田及氮肥减量处理对玉米的各农艺性状影响均不大,大多数指标差异无统计学意义。

表 4 油菜秸秆还田及氮肥减量处理下夏玉米的农艺性状

年份	处理	总叶片数	株高/cm	茎粗/mm	倒伏倒折率/%	空秆率/%
2018	S0N1	22.0	236.6	25.64a	3.49±0.79	(1.52±0.11)b
	S0N2	21.3	242.0	21.42ab	1.63±1.08	(1.42±0.41)b
	S0N3	21.0	243.2	26.62a	2.25±1.26	(2.29±0.12)b
	S1N1	22.0	243.2	22.38ab	2.42±1.25	(1.77±1.00)b
	S1N2	21.3	243.2	21.84ab	2.89±1.70	(3.12±1.16)b
	S1N3	21.3	237.2	18.76b	3.27±1.27	(2.55±0.76)b
	S2N1	21.3	244.5	23.00ab	2.42±1.28	(2.67±2.01)b
	S2N2	22.0	244.3	21.50ab	4.57±1.92	(6.04±1.56)a
	S2N3	21.3	234.4	18.49b	4.58±2.79	(3.84±2.88)ab
2019	S0N1	20.3ab	222.7ab	20.30	0.00	0.00c
	S0N2	21.0a	221.3b	19.17	0.00	0.00c
	S0N3	20.7b	221.0b	19.34	0.00	(0.56±0.56)bc
	S1N1	20.3ab	228.3ab	19.24	0.23±0.23	(5.13±2.60)a
	S1N2	21.0a	219.4bc	20.90	0.00	(4.17±0.69)ab
	S1N3	19.7ab	233.7a	21.53	0.00	(2.37±0.99)abc
	S2N1	19.7ab	209.4c	20.34	0.56±0.56	(2.47±1.23)abc
	S2N2	20.7ab	216.7bc	20.85	0.00	(2.72±1.43)abc
	S2N3	19.3b	223.8ab	21.06	0.09±0.07	(4.59±1.12)ab

同年度内同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著。

## 2.5 供试夏玉米的产量及构成因素

由表 5 可知, 2 年各处理的穗行数间差异无统计学意义, 2018、2019 年的穗行数分别为 13.7~14.8、12.5~13.9。2018 年各处理间的穗粒数差异较明显, 以 S0N3 的最高, 较最低的 S2N1 高 10.4%; 在秸秆移除和半量还田情况下, 穗粒数以常规施氮的较高, S0N3 的穗粒数显著高于 S0N1 和 S0N2 的, 而全量还田的各处理间的差异无统计学意义。2019 年的穗粒数以 S2N3 的最高, 较最低的 S0N1 高 10.9%。2018 年的百粒质量以 S0N2 的最高, S0N3 的最低; 2019 年的百粒质量以 S1N2 的最高, S0N1 的最低, 各处理组间的差异较小。从实际产量来看, 2018 年的产量以 S0N3 的最高, 较最低的 S2N1 高 6.4%, 差异有统计学意义。在相同的秸秆还田量中, 产量均随施氮量的减少而降低; 在同一施氮水平下, 随着秸秆还田量的增加, 产量也逐渐降低。而到第 2 年产

量表现则有所不同。2019 年产量以 S1N2 的最高, 较最低的 S0N1 高 23.2%, 较 S1N1 的高 11.2%, 较 S0N3 的高 7.6%; 在没有秸秆还田的情况下, 仍然表现为随施氮量的减少产量下降; 在相同施氮量的情况下, 秸秆还田的处理的产量均比无秸秆还田的高, 可见秸秆还田从第 2 年开始, 对产量的提高有较大的作用。从秸秆还田量与施氮量的配比上来看, 以秸秆半量还田+减氮 20% 的组合表现最佳。理论产量的趋势与实际产量一致。2018 年, 理论产量以 S0N3 的最高, 较最低的 S2N1 高 8.1%, 差异有统计学意义; 在同一秸秆还田量下, 产量随施氮量的减少而降低; 在同一施氮水平下, 产量随秸秆还田量的增加而降低。2019 年, 理论产量以 S1N2 的最高, 较最低的 S0N1 高 18.8%, 较 S0N3 高 5.2%, 秸秆半量还田+减氮 20% 的组合较当地常规水平更好。

表 5 油菜秸秆还田及氮肥减量处理下夏玉米的产量及构成因素

年度	处理	穗行数	穗粒数	百粒质量/g	实际产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	理论产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
2018	S0N1	14.1	(472.20±2.58)bc	(31.74±0.07)ab	(9 311.49±41.17)ab	(9 555.49±77.49)ab
	S0N2	14.2	(469.88±7.11)bc	(32.41±0.73)a	(9 502.84±137.00)ab	(9 713.62±631.82)ab
	S0N3	14.1	(502.06±2.70)a	(31.04±0.34)b	(9 613.26±92.69)a	(9 934.60±97.58)a
	S1N1	14.3	(483.02±9.54)abc	(31.20±0.29)ab	(9 296.37±201.41)ab	(9 521.16±217.15)ab
	S1N2	14.1	(472.74±8.42)bc	(32.07±0.39)ab	(9 369.17±68.04)ab	(9 661.75±213.66)ab

表 5(续)

年度	处理	穗行数	穗粒数	百粒质量/g	实际产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	理论产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )
2018	S1N3	13.7	(493.02±8.36)ab	(30.92±0.11)ab	(9 442.27±36.64)ab	(9 716.96±282.92)ab
	S2N1	14.0	(454.89±8.51)c	(31.70±0.41)ab	(9 033.85±58.93)b	(9 190.08±170.57)b
	S2N2	14.3	(460.89±4.96)c	(31.34±0.49)b	(9 205.56±286.50)ab	(9 209.86±142.42)ab
	S2N3	14.8	(456.78±12.91)c	(32.16±0.17)ab	(9 308.46±147.24)ab	(9 361.24±281.57)ab
	S0N1	12.5	(415.80±7.28)b	(29.93±0.32)c	(7 567.17±409.52)b	(7 934.18±161.69)b
	S0N2	13.2	(438.06±10.20)ab	(30.98±0.67)abc	(8 515.61±284.09)ab	(8 646.26±178.83)ab
	S0N3	13.5	(447.75±19.63)ab	(31.37±0.38)abc	(8 667.84±601.62)ab	(8 958.72±465.21)a
	S1N1	13.1	(439.02±10.63)ab	(30.56±0.56)bc	(8 387.78±266.92)ab	(8 560.46±358.46)ab
	S1N2	13.8	(454.56±20.19)ab	(32.55±0.48)a	(9 324.43±403.65)a	(9 421.98±318.10)a
2019	S1N3	13.9	(458.04±10.58)ab	(31.95±0.57)ab	(9 138.11±327.40)a	(9 332.21±335.71)a
	S2N1	13.9	(453.18±15.39)ab	(30.14±0.39)bc	(8 627.29±151.35)ab	(8 703.29±473.08)ab
	S2N2	13.1	(457.20±2.43)ab	(31.11±0.21)abc	(8 715.56±456.17)ab	(9 066.24±29.51)a
	S2N3	13.6	(461.28±8.41)a	(30.78±0.94)abc	(9 048.77±244.02)a	(9 055.33±360.15)a

同年度内同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著。

## 2.6 供试夏玉米的氮肥偏生产力

由表 6 可以看出,在相同秸秆还田量下,氮肥偏生产力随施氮量的增加而减少。2018 年,在同一秸秆还田量下,不同施氮量处理的氮肥偏生产力间差异有统计学意义,S0、S1、S2 的氮肥偏生产力最高的 N1 处理较其最低的 N3 处理分别高 61.4%、64.1%、61.8%;在相同施氮量下,不同秸秆还田处理组间氮肥偏生产力差异较小。2019 年的氮肥偏生产率较 2018 年的低 2.8%~18.7%。2019 年,S0、S1、S2 的氮肥偏生产力最高的 N1 处理较其最低的 N3 处理的分别高 45.5%、53.0%、58.9%;在同一施氮量下,秸秆还田处理的氮肥利用效率较秸秆移除处理的更高,秸秆半量还田的优于全量还田的。可见,秸秆还田从第 2 年开始,对氮肥利用效率的提高有

表 6 油菜秸秆还田及氮肥减量处理下夏玉米的氮肥偏生产力

Table 6 Summer maize's partial factor productivity of nitrogen fertilizer under different treatments of rape straw returning and nitrogen fertilizer reduction

处理	氮肥偏生产力/(kg·kg <sup>-1</sup> )	
	2018 年	2019 年
S0N1	(49.79±0.13)a	(40.47±2.19)bc
S0N2	(38.10±0.55)b	(34.14±1.14)d
S0N3	(30.84±0.30)c	(27.81±1.93)e
S1N1	(49.71±1.08)a	(44.85±1.43)ab
S1N2	(37.57±0.27)b	(37.39±1.62)cd
S1N3	(30.29±0.12)c	(29.32±1.05)e
S2N1	(48.31±0.32)a	(46.14±0.81)a
S2N2	(36.91±1.15)b	(34.95±1.83)d
S2N3	(29.86±0.47)c	(29.03±0.78)e

同列数据后不同字母示在 0.05 水平差异显著。

较大的作用,秸秆半量还田的效果更优于全量还田的。适量的秸秆还田对植株氮素利用起积极作用,而秸秆量过多、对应消耗的土壤氮素也越多,植物能吸收利用的氮素也就越少。

## 3 结论与讨论

本研究中,在其他条件均相同的情况下,不同秸秆还田量与氮肥配施对夏玉米的生长发育及产量有一定影响。经过 2 年的试验可以看出,在秸秆还田第 1 年效果不明显,反而需要补充更多的氮肥来弥补因秸秆分解所带来的碳氮失衡;到第 2 年,第 1 年还田的秸秆已完全分解,能够补充一定的氮源,故氮肥减量 20%的情况下能达到很好的增产效果,实际产量较常规施氮高 7.6%。这与李恩尧等<sup>[13]</sup>、张建军等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。虽然作物可直接吸收利用的氮素含量在减少,但秸秆的投入给土壤带来了充足的物质和能量来源,这些物质和能量可供微生物活动和繁殖,从而增加土壤微生物总量和生物活性,使得被固化的土壤氮素也随之增加<sup>[15]</sup>。

叶面积指数是反映玉米群体光合能力的重要指标。较高的叶面积指数有利于光合作用的进行、有机产物的合成与积累及产量的形成<sup>[16]</sup>。光合作用是作物干物质积累的主要来源,而干物质是作物器官分化、产量形成的前提<sup>[17]</sup>。产量高低由地上部总生物量决定<sup>[11]</sup>,因此,叶面积指数、产量、生物量均表现出相同的趋势。本研究中,在第 2 年中秸秆半量还田+氮肥减量 20%(S1N2)的效果较常规施氮更好,吐丝期叶面积指数、成熟期地上部总生物量、

实际产量较秸秆移除+常规施氮(S0N3)的分别提高 18.8%、8.2%、7.6%。这与李锦<sup>[18]</sup>的研究结果相符。秸秆还田下配合氮肥施用,能改善土壤和作物体内氮素之间的转化,从而有效提高氮肥利用率,减少氮肥损失,并具有较高的增产效益。氮肥偏生产率是国际农学界常用的评价肥料效应的指标<sup>[12]</sup>。本研究中,随着秸秆中养分的释放,秸秆还田下的氮肥利用效率较秸秆移除的更高,并且秸秆半量还田更利于植株氮素的吸收利用。

本研究中,不同处理间在生育期和农艺性状方面的差异较小。玉米全生育期随秸秆还田量的增加和施氮量的增加略有延长,这或许是由于秸秆良好的蓄水保墒和调控土温的作用能更好的达到水肥耦合<sup>[19]</sup>。

本研究中,除 2019 年的 S1N1 和 S2N1 外,在同一施氮量下,全量秸秆还田的产量均没有半量秸秆还田的高。这与徐蒋来等<sup>[20]</sup>、王宁等<sup>[21]</sup>的研究结果一致。可能是由于秸秆量过多,导致土壤高温缺氧,使土壤与大气环境物质交换不畅通,不利于土壤养分释放。白建忠等<sup>[22]</sup>研究表明,宁夏灌区水旱轮作各季作物产量都随秸秆还田量的增加呈先增后减的趋势,合理的秸秆还田量应控制在 3.75~5.25 t/hm<sup>2</sup>,以达到作物增产和土壤培肥的双重目标。颜丽等<sup>[23]</sup>研究表明,在北方地区旱作作物上,玉米秸秆还田量应控制在 3.0 t/hm<sup>2</sup> 以内,一次还田量太多,易造成作物减产。张聪等<sup>[24]</sup>在甘肃省平凉试验站长期的玉米秸秆还田定位试验表明,秸秆还田能有效提高玉米籽粒产量,但并没有随着年限的延长而持续大幅度增加。实践中,在持续进行秸秆还田时,可适当减少秸秆还田量,从而更高效地利用秸秆资源持续提高土壤性能。

综上所述,油菜秸秆还田后能起到替代部分氮肥的作用,在兼顾经济产量和氮肥利用效率的情况下,以油菜秸秆半量还田+氮肥减量 20%的组合为宜。秸秆还田具有良好的减氮增效的作用,可在洞庭湖区油菜-夏玉米复种模式下推广。

#### 参考文献:

[1] 王秀娟,解占军,董环,等. 秸秆还田对玉米产量和土壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J]. 玉米科学, 2018, 26(1): 108-115.  
WANG X J, XIE Z J, DONG H, et al. Effects of straw returning on yield and soil aggregates composition and

organic carbon distribution[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(1): 108-115.

[2] 潘剑玲,代万安,尚占环,等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(5): 526-535.  
PAN J L, DAI W A, SHANG Z H, et al. Review of research progress on the influence and mechanism of field straw residue incorporation on soil organic matter and nitrogen availability[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(5): 526-535.

[3] 张学林,周亚男,李晓立,等. 氮肥对室内和大田条件下作物秸秆分解和养分释放的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(10): 1746-1760.  
ZHANG X L, ZHOU Y N, LI X L, et al. Effects of nitrogen fertilizer on crop residue decomposition and nutrient release under lab incubation and field conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(10): 1746-1760.

[4] KNORR M, FREY S D, CURTIS P S. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis[J]. Ecology, 2005, 86(12): 3252-3257.

[5] LIU J X, FANG X, DENG Q, et al. CO<sub>2</sub> enrichment and N addition increase nutrient loss from decomposing leaf litter in subtropical model forest ecosystems[J]. Scientific Reports, 2015, 5: 7952.

[6] 李涛,何春娥,葛晓颖,等. 秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(12): 1633-1642.  
LI T, HE C E, GE X Y, et al. Responses of soil mineral N contents, enzyme activities and crop yield to different C/N ratio by straw mediated retention and N fertilization[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(12): 1633-1642.

[7] 白茂军. 油菜还田对烟株生长和烟叶品质的影响及减氮增效研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.  
BAI M J. Effects of rape returning on flue-cured tobacco growth and quality and research of reduction efficiency of nitrogen fertilizer[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.

[8] 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, 2012.  
WU J. Effects of straw return on soil fertility and crop yields in paddy-upland rotation system[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.

[9] 龙莉,杨旭初,熊斌,等. 冬作物秸秆还田对双季稻产量和土壤肥力的影响[J]. 作物研究, 2019, 33(2): 104-109.  
LONG L, YANG X C, XIONG B, et al. Effect of winter crops straw returning on yield and soil fertility in a double cropping rice paddy[J]. Crop Research, 2019, 33(2): 104-109.

[10] YUAN L, ZHANG Z C, CAO X C, et al. Responses of rice production, milled rice quality and soil properties to various nitrogen inputs and rice straw incorporation under

- continuous plastic film mulching cultivation[J]. *Field Crops Research*, 2014, 155: 164–171.
- [11] 王韵翔, 吴裕如, 王承, 等. 播期对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 45(5): 461–465.  
WANG Y X, WU Y R, WANG C, et al. Effects of sowing dates on the growth and yield for summer maize varieties[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural sciences)*, 2019, 45(5): 461–465.
- [12] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. *土壤学报*, 2008, 45(5): 915–924.  
ZHANG F S, WANG J Q, ZHANG W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915–924.
- [13] 李恩尧, 邱亚群, 彭佩钦, 等. 洞庭湖红壤坡地减氮控磷对玉米产量和径流氮磷的影响[J]. *水土保持学报*, 2011, 25(4): 32–35.  
LI E Y, QIU Y Q, PENG P Q, et al. Effects of reduction and control nitrogen and phosphorous on maize yield and surface runoff in red soil slopes of Dongting Lake[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(4): 32–35.
- [14] 张建军, 党翼, 赵刚, 等. 秸秆还田与氮肥减施对旱地春玉米产量及生理指标的影响[J]. *草业学报*, 2019, 28(10): 156–165.  
ZHANG J J, DANG Y, ZHAO G, et al. Effect of straw incorporation and nitrogen fertilizer reduction on spring maize and yield and eco-physiological traits in an arid farming area[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(10): 156–165.
- [15] 李锦, 田霄鸿, 王少霞, 等. 秸秆还田条件下减量施氮对作物产量及土壤碳氮含量的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(1): 137–143.  
LI J, TIAN X H, WANG S X, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction on crop yields, soil nitrate nitrogen and carbon contents with straw returning[J]. *Journal of Northwest A & F University(Natural sciences Edition)*, 2014, 42(1): 137–143.
- [16] 吴亚男, 齐华, 盛耀辉, 等. 密度、氮肥对春玉米光合特性、干物质积累及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2011, 19(5): 124–127.  
WU Y N, QI H, SHENG Y H, et al. Effects of sowing density and applying nitrogenous fertilizer on the photosynthesis capacity dry matter accumulation and yield of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2011, 19(5): 124–127.
- [17] 李廷亮, 谢英荷, 洪坚平, 等. 施氮量对晋南旱地冬小麦光合特性、产量及氮素利用的影响[J]. *作物学报*, 2013, 39(4): 704–711.  
LI T L, XIE Y H, HONG J P, et al. Effects of nitrogen application rate on photosynthetic characteristics, yield, and nitrogen utilization in rainfed winter wheat in southern Shanxi[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, 39(4): 704–711.
- [18] 李锦. 秸秆还田及其基础上氮肥减量对土壤碳氮含量及作物产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.  
LI J. Effect of straw returning and N fertilizer reduction on soil organic carbon and N content and crop yield[D]. Yangling, China: Northwest A & F University, 2013.
- [19] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. *土壤通报*, 2001, 32(5): 209–213.  
JIANG Y H, YU Z R, MA Y L. The effect of stubble return on agro-ecological system and crop growth[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(5): 209–213.
- [20] 徐蒋来, 胡乃娟, 朱利群. 周年秸秆还田量对麦田土壤养分及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(2): 215–222.  
XU J L, HU N J, ZHU L Q. Effect of amount of annual straw returning on soil nutrients and yield in winter wheat field[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(2): 215–222.
- [21] 王宁, 闫洪奎, 王君, 等. 不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响的研究[J]. *玉米科学*, 2007, 15(5): 100–103.  
WANG N, YAN H K, WANG J, et al. Research on effects of different amount straws return to field on the growth development and yield of maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(5): 100–103.
- [22] 白建忠, 陈泽, 丁永锋, 等. 秸秆还田量对水旱轮作作物产量和土壤肥力的影响[J]. *土壤通报*, 2017, 48(5): 1185–1191.  
BAI J Z, CHEN Z, DING Y F, et al. Effect of different straw incorporation rates on crops yields and soil fertility in the paddy-upland rotation system[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(5): 1185–1191.
- [23] 颜丽, 宋杨, 贺靖, 等. 玉米秸秆还田时间和还田方式对土壤肥力和作物产量的影响[J]. *土壤通报*, 2004, 35(2): 143–148.  
YAN L, SONG Y, HE J, et al. Effects of maize stems returning back to the field on the yield of plants and soil fertility[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 143–148.
- [24] 张聪, 慕平, 尚建明. 长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(1): 92–98.  
ZHANG C, MU P, SHANG J M. Effects of continuous returning corn straw on soil chemical properties, enzyme activities and yield trait[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(1): 92–98.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳 正