

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.07.007

# 密度与氮量对复种油菜土壤肥力性状的影响<sup>①</sup>

杨瑞吉

西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400716

**摘要:** 通过田间小区试验, 研究了不同油菜种植密度与施氮肥对麦茬复种油菜苗期和收获期耕层土壤(0~15 cm)肥力性状的影响。结果表明, 复种饲料油菜能明显提高耕层土壤有机质、速效钾、碱解氮、速效磷、有机碳(OC)和易氧化有机碳(ROOC)质量分数以及氮利用效率, 而土壤稳定性有机碳(SOC)质量分数与有机碳氧化稳定系数( $K_{oc}$ )明显降低。在油菜苗期, 随种植密度提高, 土壤有机质先增后减, 全氮不断减少, 氮效率以及碱解氮、全磷、速效磷质量分数逐渐提高, 随增施氮肥水平提高, 土壤有机质、全氮、全磷和碱解氮质量分数均不断提高, 氮效率与速效磷质量分数不断减少; 在收获期, 随种植密度提高, 土壤有机质先增后减, 全氮、全磷不断减少, 碱解氮、速效磷和氮效率不断增加, 随增施氮肥水平提高, 土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮和速效磷质量分数逐渐提高, 氮效率却不断降低, 差异分析均无统计学意义。随种植密度和施氮肥水平提高, 耕层土壤中 OC、ROOC 和 ROOC 百分比均不断提高, 而 SOC、SOC 百分比和  $K_{oc}$  均逐渐降低, 差异分析均有统计学意义。耕层土壤 OC 和  $K_{oc}$  分别与有机质、碱解氮、速效磷、速效钾呈明显的正相关性和负相关性( $p < 0.05$  或  $p < 0.01$ ), 表明土壤 OC 和  $K_{oc}$  可作为土壤有效养分利用潜力的表征指标。

**关键词:** 种植密度; 施氮量; 复种油菜; 土壤养分性状; 氧化稳定系数

**中图分类号:** S158.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2017)07-0044-06

土壤肥力是土壤物理、化学、生物等性质的综合反映, 要使作物生长良好, 除肥力因素外, 土壤系统必须处于相互协调状态, 这主要取决于不同种植制度下的耕作栽培管理措施, 良好的管理措施可调控有利于作物生长发育、稳产高产所需要的水、肥、气、热等理化性状。土壤耕层的理化性质能非常敏感地影响作物的生长发育, 故为反映土壤肥力的重要指标。不同耕作、栽培、培肥、灌溉、覆盖与利用方式等措施对土壤理化性状、结构及养分动态等均有不同程度的影响, 国内外许多学者对此进行了大量研究<sup>[1-9]</sup>。因此, 深入研究不同栽培管理措施对土壤理化性质和作物生长发育的影响以及科学调控土壤肥力水平, 净化农田土壤, 是农业持续性生产和土壤资源良性循环再利用的一项长期的、连续性的研究课题。

北方春麦收后复种饲料油菜(*Brassica campestris*), 对开发利用秋冬闲田, 充分利用光热自然资源, 发挥区域优势, 提高土地和劳力资源利用率, 缓解人地矛盾, 保护生态环境, 解决冬春饲料不足, 提高经济和社会效益的可持续发展等方面具有重要意义。目前对复种油菜地土壤肥力动态演变的研究较少, 本试验在不同种植密度和施肥下, 研究饲料油菜对麦茬耕层土壤肥力性状的影响, 探讨复种油菜地土壤肥力的动态变化规律, 明确该种植模式对农田培肥的意义, 加强该技术的推广应用, 为麦茬复种饲料油菜的种植模式提供基础理论依据。

## 1 试验设计与测定方法

### 1.1 试验设计

试验设在甘肃农业大学农学院试验地内。供试土壤为灌淤土, 其基础肥力性状为: 有机质 10.75 g/kg、

<sup>①</sup> 收稿日期: 2015-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31271673); 中国科技部农业科技成果转化项目(02EFN216200601); 中央高校基本业务费专项项目(XDJK2016C105)。

作者简介: 杨瑞吉(1976-), 男, 甘肃会宁人, 硕士, 主要从事作物生态学及农业生态学教学科研工作。

全 N 0.61 g/kg、碱解 N 17.14 mg/kg、全 P 0.83 g/kg、速效 P 25.90 mg/kg、速效 K 32 mg/kg、容质量 1.19 g/cm<sup>3</sup>、CEC 6.33 cmol/kg、pH 8.28, 质地是轻壤土。

试验以播量和施氮量进行二因素裂区设计安排试验, 播量为主区, 设 7.5 kg/hm<sup>2</sup> ( $D_1$ )、11.5 kg/hm<sup>2</sup> ( $D_2$ )、15.0 kg/hm<sup>2</sup> ( $D_3$ ) 3 个水平, 面积 40 m<sup>2</sup>; 施氮(尿素)量为副区, 设不施氮( $F_1$ )、600 kg/hm<sup>2</sup> ( $F_2$ )、1 000 kg/hm<sup>2</sup> ( $F_3$ )、1 400 kg/hm<sup>2</sup> ( $F_4$ ) 4 个水平, 面积 10 m<sup>2</sup>; 试验均随机排列, 以休闲熟化地作为对照(CK), 3 次重复。在 2003 年 7 月中旬左右, 留茬(茬高 8cm)夏收春小麦后, 立即灌水、浅耕、耙耩, 整地, 试验地肥力均匀, 8 月 6 日将供试油菜(华协 1 号)种子按试验设计播种于相应试验小区, 播前以 30 000 kg/hm<sup>2</sup> 用量增施有机肥并将尿素按设计用量的 60% 作为基肥施入各试验小区, 剩余 40% 在出苗后 40d 作追肥施用, 麦收后至油菜收获期间不再增施磷钾肥。油菜生育期间灌水 3 次。

## 1.2 测定项目与方法

在饲料油菜苗期(9 月 24 日)和收获(11 月 6 日), 就试验地各小区与对照地分别随机、多点混合取耕层(0~15 cm)土样测定土壤各肥力指标。田间采集的原状土样室内风干后, 土壤全氮采用半微量开氏法<sup>[10]</sup>测定, 碱解氮用碱解扩散法<sup>[10]</sup>测定, 全磷用 HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 比色法<sup>[10]</sup>测定, 速效磷用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 法<sup>[10]</sup>测定, 速效钾用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提, 火焰光度法<sup>[10]</sup>测定, pH 用 PTS-2C 酸度计(土水比 1:5 浸提)<sup>[11]</sup>测定, 土壤有机质采用 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 容量法—外加热法<sup>[10]</sup>测定, 有机质氧化稳定性用袁可能法<sup>[12]</sup>测定, 其中氧化稳定系数( $K_{os}$ )=(总有机碳-易氧化有机碳)/易氧化有机碳。

试验数据采用 Excel 和 SPSS11.5 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同种植密度和施氮处理对耕层土壤有机质的影响

春麦茬复种饲料油菜, 相对于休闲熟化地(CK), 土壤耕层有机质均有不同程度的提高, 并且在不同种植密度和施氮肥处理下, 油菜收获期的耕层土壤有机质总高于苗期(图 1), 这可能是春小麦根茬还田和油菜根际微生物、土壤酶对土壤有机物料、稳定性有机碳分解、活化和积累的结果<sup>[13]</sup>。复种油菜苗期耕层土壤有机质质量分数随种植密度和施氮量的增大而增加, 密度  $D_1, D_2, D_3$  处理下有机质质量分数依次提高了 8.93%, 0.54%, 氮肥  $F_1, F_2, F_3, F_4$  处理下有机质质量分数依次提高了 5.24%, 1.94%, 0.82%。在收获期, 随种植密度的提高土壤有机质质量分数先增后减( $D_2 > D_3 > D_1$ ), 随施氮梯度的提高土壤有机质质量分数持续增加( $F_4 > F_3 > F_2 > F_1$ ), 说明种植密度越大, 作物对有机质等有效养分的吸收利用程度越大, 在一定程度上要大于土壤对有机质的活化, 因而在油菜收获期表现出高密种植土壤有机质质量分数略低于中密种植, 施肥(尿素)越多, 越能缓冲作物对其它有效养分的耗竭性吸收利用程度, 因此在大田作物生产中掌握适宜的种植密度和平衡施肥水平, 不仅能达到高产、高效农事操作的目的, 还能保持农田耕层土壤养分平衡、良好的结构状况, 为土壤再次生产利用提高有力保障。

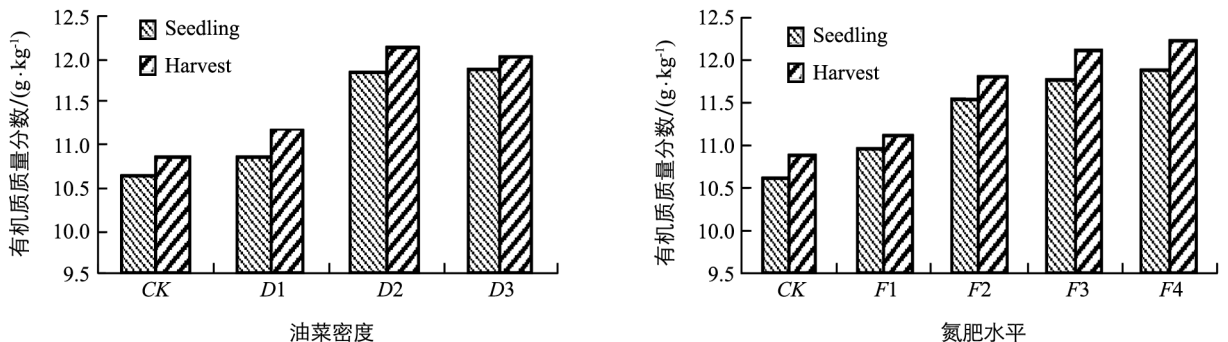


图 1 不同密度与氮肥水平对复种油菜耕层土壤有机质的影响

### 2.2 不同密度和施肥处理对耕层土壤 N, P, K 的影响

从表 1 看出, 复种油菜后耕层土壤中速效钾质量分数总是高于对照(CK), 全氮和全磷质量分数趋于降低态势, 碱解氮、速效磷和氮素有效利用率则呈不同程度的提高趋势( $p < 0.05$ )。这说明油菜根系具有强

大的吸肥能力和活化固定氮、磷、钾为有效氮、磷、钾的显著作用, 这与前人研究结果<sup>[14-15]</sup>一致. 随油菜种植密度提高, 苗期土壤中全氮不断降低, 而 N 效率以及碱解氮、全磷、速效磷质量分数有所提高, 收获期全氮、全磷不断减少, 碱解氮、速效磷和 N 效率不断增加, 处理间差异均不十分明显. 随油菜施氮肥水平提高, 苗期全氮、碱解氮和全磷质量分数均不断提高, N 效率与速效磷质量分数不断减少, 收获期全氮、全磷、碱解氮和速效磷质量分数逐渐提高, N 效率却不断降低, 处理间差异同样均不十分显著. 不同种植密度与施氮肥水平对耕层土壤速效钾质量分数的影响无明显规律. 这表明施氮肥水平越高, 增施氮肥替代或缓冲土壤养分转化吸收利用的效果越明显, 从而耕层土壤中有效养分的质量分数也就随之提高, 油菜种植密度越高, 其根系越庞大, 根系分泌出的酸类物质及其转化有效养分的能力越强, 油菜根系既能降低土壤容质量, 又能改善土壤团聚体状况<sup>[16]</sup>.

表 1 不同密度与氮肥水平对复种油菜耕层土壤 N,P,K 的影响

生育期	处理	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	N 利用效率/ %	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
苗期	CK	0.56	15.09	2.69	0.69	35.61	39.22
	D <sub>1</sub>	0.59	15.18	2.56	0.63	35.09	48.52
	D <sub>2</sub>	0.58	16.05	2.79	0.68	39.34	44.35
	D <sub>3</sub>	0.56	16.12	2.88	0.68	43.14	49.01
	F <sub>1</sub>	0.54	15.81	2.93	0.67	36.79	34.75
	F <sub>2</sub>	0.56	15.86	2.84	0.67	38.00	55.73
	F <sub>3</sub>	0.60	16.33	2.72	0.68	38.76	51.76
	F <sub>4</sub>	0.60	16.34	2.70	0.69	43.21	47.08
收获期	CK	0.55	14.53	2.65	0.67	36.15	46.12
	D <sub>1</sub>	0.56	14.92	2.66	0.67	35.73	52.54
	D <sub>2</sub>	0.54	15.57	2.89	0.65	36.35	84.82
	D <sub>3</sub>	0.54	15.74	2.94	0.61	42.10	73.52
	F <sub>1</sub>	0.53	15.16	2.84	0.62	36.22	52.35
	F <sub>2</sub>	0.54	15.21	2.83	0.62	36.96	82.09
	F <sub>3</sub>	0.55	15.32	2.80	0.63	38.70	83.08
	F <sub>4</sub>	0.56	15.42	2.77	0.63	39.65	82.72

### 2.3 不同处理对耕层土壤有机质氧化稳定性的影响

麦茬复种饲料油菜后耕层土壤中有机碳(OC)和易氧化有机碳(ROOC)质量分数以及 ROOC 百分比均高于 CK, 而土壤稳定性有机碳(SOC)质量分数与 SOC 百分比以及有机碳氧化稳定系数( $K_{os}$ )均低于 CK, 差异在  $p < 0.01$  水平上有统计学意义(表 2). 这说明油菜作物能不同程度地提高土壤中腐殖质的分解速率, 并能降低腐殖质与矿物质的结合程度, 加速土壤肥力演化. 在复种油菜全生育期, 随种植密度和施氮肥水平的提高, 耕层土壤中 OC, ROOC 和 ROOC 百分比均呈不断提高趋势, 而 SOC, SOC 百分比和  $K_{os}$  均逐渐降低, 差异均较显著. 这说明提高油菜种植密度和增施氮肥不仅能增加土壤有机质质量分数, 也可降低土壤有机质的氧化稳定性, 提高土壤有机质代谢强度和养分供应能力, 利于有效养分释放和土壤肥力提高, 土壤有机质的氧化稳定性与土壤肥力成负相关关系<sup>[12]</sup>.

### 2.4 麦茬复种饲料油菜耕层土壤理化性质的相互关系

在不同种植密度和施氮肥处理下, 通过对春麦茬复种饲料油菜苗期和收获期耕层土壤主要养分质量分数间的相关关系进行分析(表 3). 结果表明, 土壤有机质和碱解氮与 OC 的正相关性分析具有统计学意义( $p < 0.01$ ), 与  $K_{os}$  的负相关性分析具有统计学意义( $p < 0.01$ ), 土壤全氮在油菜苗期与 OC 正相关性分析无统计学意义, 与 SOC 和  $K_{os}$  呈负相关性分析有统计学意义, 在收获期其相关性正好相反, 氮素利用效率与 OC 正相关性分析无统计学意义, 在苗期与 SOC 和  $K_{os}$  均为正相关性, 收获期却为负相关性, 全磷与 OC、SOC 和  $K_{os}$  基本相关性分析无统计学意义, 速效磷与 OC 呈正相关性, 且苗期相关性分析有统计学意义( $p < 0.01$ ), 与 SOC 和  $K_{os}$  均呈负相关性, 速效钾与 OC 呈正相关性, 且收获期相关性分析有统计学意义

( $p < 0.01$ ), 与 SOC 和  $K_{os}$  均呈负相关性, 且收获期与  $K_{os}$  相关性分析极有统计学意义( $p < 0.01$ ).

表 2 不同密度与氮肥对复种油菜耕层土壤有机质组成的影响

生育期	处理	OC/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	ROOC/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	SOC/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	ROOC/ %	SOC/ %	$K_{os}$
苗期	CK	6.16	3.25	2.91	52.73	47.27	0.90
	$D_1$	6.30	3.47	2.83	55.12	44.88	0.81
	$D_2$	6.86	3.89	2.98	56.63	43.37	0.77
	$D_3$	6.90	3.98	2.92	57.63	42.37	0.74
	$F_1$	6.36	3.37	2.98	53.07	46.93	0.88
	$F_2$	6.69	3.74	2.96	55.81	44.19	0.79
	$F_3$	6.82	3.91	2.92	57.25	42.75	0.75
	$F_4$	6.88	4.03	2.85	58.59	41.41	0.71
收获期	CK	6.30	3.34	2.97	52.92	47.08	0.89
	$D_1$	6.49	3.52	2.97	54.29	45.71	0.84
	$D_2$	7.02	4.06	2.96	57.77	42.23	0.73
	$D_3$	6.97	4.07	2.90	58.36	41.64	0.71
	$F_1$	6.45	3.50	2.94	54.38	45.62	0.84
	$F_2$	6.84	3.91	2.93	57.22	42.78	0.75
	$F_3$	7.01	4.04	2.97	57.62	42.38	0.74
	$F_4$	7.08	4.16	2.92	58.73	41.27	0.70

注: OC, ROOC, SOC,  $K_{os}$  分别表示有机碳、易氧化有机碳、稳定性有机碳和氧化稳定系数。

表 3 复种油菜耕层土壤耕层养分间的相关分析

生育期		有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	碱解氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	N 利用效率/ %	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	速效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	速效钾/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
苗期	OC/( $g \cdot kg^{-1}$ )	1.000**	0.343	0.916**	0.307	0.420	0.858**	0.552
	SOC/( $g \cdot kg^{-1}$ )	0.130	-0.723*	0.225	0.831*	0.435	-0.045	-0.262
	$K_{os}$	-0.917**	-0.625	-0.788*	0.044	0.194	-0.828*	-0.669
收获期	OC/( $g \cdot kg^{-1}$ )	1.000**	-0.124	0.861**	0.646	-0.472	0.644	0.961**
	SOC/( $g \cdot kg^{-1}$ )	-0.386	0.352	-0.566	-0.561	0.701	-0.704	-0.309
	$K_{os}$	-0.986**	0.190	-0.898**	-0.705	0.576	-0.700	-0.942**

注: \* 和 \*\* 分别表示分别在 0.05 和 0.01 水平上具有统计学意义。

### 3 讨 论

土壤有机质是土壤肥力的重要物质基础. 保持或提高土壤有机质质量分数不仅能促进土壤团聚体形成并保持其稳定性, 同时能为土壤微生物生命活动提供能量. 土壤有机质量分数及其动态主要取决于土壤中有有机质(作物残茬)输入与降解间的平衡, 在长期耕种土地上, 土壤有机质的动态很大程度上受诸如施肥、种植制度和耕作等农业措施的影响. 不同种植作物下投入、产出状况不同对土壤有机质质量分数的影响差异显著<sup>[17]</sup>, 不同轮作、施肥措施对土壤容质量、N、P、K、酸碱度、活性有机质质量分数、腐殖质总量及胡敏酸、富里酸质量分数等理化性质的影响也极其明显<sup>[18]</sup>, 施氮肥可以增加土壤全氮、土壤碱解氮的质量分数, 氮磷钾化肥配施有机肥料可以使土壤有机质、全氮和全磷大幅度增加, 利于培肥地力<sup>[19]</sup>. 本试验结果表明, 复种油菜不仅能加速对前茬春小麦残茬的腐化降解, 提高土壤有机质质量分数, 也能提高土壤碱解氮、速效磷和速效钾质量分数以及氮素有效利用率, 不同油菜种植密度和施氮量对土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷和速效钾质量分数以及 N 效率均有不同程度的影响.

土壤活性有机质是指土壤中有效性较高、易被土壤微生物分解利用、对植物养分供应有最直接作用的那部分有机质, 主要包括溶解性有机碳、微生物生物量、轻组有机质<sup>[20-21]</sup>, 它是土壤矿化 N 的一个主要来源, 对维持团粒结构稳定性有重要作用<sup>[16, 22]</sup>, 其质量分数和动态变化可以反映土壤有效养分库的大小及其在土壤中的周转, 也可作为土壤潜在生产力和由土壤管理措施变化而引起土壤有机质变化的早期预测指



标<sup>[23]</sup>. 农田土壤有机质和活性有机质各组分的质量分数主要受到施肥、翻耕、灌溉、秸秆处理等管理措施的影响<sup>[24]</sup>, 轮作系统引入豆科作物后, 有机碳和易氧化有机碳质量分数增加, 苜蓿连作土壤耕层  $K_{os}$  也明显降低, 有机肥或有机无机配施能明显提高易氧化有机碳的质量分数, 降低有机质的氧化稳定性, 降低其  $K_{os}$  值, 增强土壤对养分的供、贮能力, 提高土壤肥力水平<sup>[25]</sup>. 本试验结果显示, 复种油菜能极显著性提高耕层土壤中有有机碳和易氧化有机碳质量分数, 而  $K_{os}$  明显降低, 油菜种植密度和施氮肥量越高, 对耕层土壤中有有机碳和易氧化有机碳质量分数的提高越明显, 差异明显. 这说明复种油菜对耕层土壤有效养分的活化具有积极的作用, 另外种植密度越高, 土壤持有有机体总量增加, 为土壤微生物造就了优越的环境, 微生物活动大大促进了腐殖质的形成, 加强了有机态营养物质向无机态的转化, 增施氮肥及有机肥越多, 不仅对油菜群体有机体的扩增越明显, 对土壤微生物数量和生物量的提高也越明显<sup>[26-27]</sup>, 可见, 油菜种植密度与施氮肥对土壤有效养分的转化具有较明显的作用. 试验结果还表明, 耕层土壤有机碳和  $K_{os}$  分别与有机质、碱解氮、速效磷、速效钾正相关关系和负相关关系具有统计学意义, 但在不同油菜生育期其相关程度有所不同, 其它土壤肥力指标间相关性并不十分明显, 规律性也不强, 表明土壤有机碳和  $K_{os}$  可作为土壤有效养分利用潜力的表征指标, 从而可反映土壤肥力的高低, 其详细机理有待进一步研究.

### 参考文献:

- [1] LALANDE R, GAGNON B, SIMARD R R, et al. Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity Following Liquid Hog Manure Application in a Long-Term Field Trial [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2000, 80(2): 263-269.
- [2] ROBERT L T. Soil Microbiology [M]. Manhattan: Academic Press, 1995.
- [3] 高明, 张磊, 魏朝富, 等. 稻田长期垄作免耕对水稻产量及土壤肥力的影响研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 343-348.
- [4] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响 [J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96.
- [5] 褚慧, 宗良纲, 汪张懿, 等. 不同种植模式下菜地土壤腐殖质组分特性的动态变化 [J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 931-939.
- [6] 高明, 李阳兵, 魏朝富, 等. 稻田长期垄作免耕对土壤肥力性状的影响研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 29-33.
- [7] 徐文强, 杨祁峰, 牛芬菊, 等. 秸秆还田与覆膜对土壤理化特性及玉米生长发育的影响 [J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 87-93, 99.
- [8] 刘志祥, 江长胜, 祝滔. 缙云山不同土地利用方式对土壤全磷和有效磷的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(3): 140-145.
- [9] 陈伟, 魏虹, 李昌晓, 等. 三峡库区不同土地利用方式土壤肥力变化——以汝溪河流域为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(1): 96-100.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 严昶升. 土壤肥力研究法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1988.
- [12] 袁可能. 土壤有机质矿质复合体研究 I. 土壤有机质矿质复合体中腐殖质氧化稳定性的初步研究 [J]. 土壤学报, 1963, 11(3): 286-293.
- [13] 劳秀荣, 孙伟红, 王真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响 [J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618-623.
- [14] JONES D S. Organic Acids in the Rhizosphere—a Critical Review [J]. Plant and Soil, 1998, 205(1): 25-44.
- [15] BOLAN N S, NAIDU R, MAHIMAIRAJA S, et al. Influence of Low-Molecular-Weight Organic Acids on the Solubilization of Phosphates [J]. Biology and Fertility of Soils, 1994, 18(4): 311-319.
- [16] 杨瑞吉, 牛俊义, 黄文德, 等. 麦茬复种饲料油菜对耕层土壤团聚体的影响 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 77-81.
- [17] 刘云慧, 宇振荣, 张凤荣, 等. 县域土壤有机质动态变化及其影响因素分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 294-301.
- [18] 穆琳, 张继宏, 关连珠. 不同施肥与栽培条件下土壤有机质演变规律 [J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(1): 59-64.
- [19] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 长期定位施肥对垆土耕层土壤养分和土地生产力的影响 [J]. 西北农业学报, 2004, 13(3): 121-125.
- [20] 倪进治, 徐建民, 谢正苗. 土壤生物活性有机碳库及其表征指标的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(1): 56-63.
- [21] BLAIR G J, LEFROY R D B, LISLE L. Soil Carbon Fractions Based on Their Degree of Oxidation and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems [J]. Aust J Agru Res, 1995, 46(7): 1459-1466.

- [22] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系 [J]. 生态学报, 2005, 25(3): 513—519.
- [23] CARTER M R, STEWART B A. Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils [M]. New York: Lewis Publishers, 1996.
- [24] 王清奎, 汪思龙, 高洪, 等. 土地利用方式对土壤有机质的影响 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 360—363.
- [25] 张春霞, 郝明德, 魏孝荣, 等. 黑垆土长期轮作培肥土壤有机质氧化稳定性的研究 [J]. 土壤肥料, 2004(3): 10—12, 16.
- [26] 胡可, 李华兴, 卢维盛, 等. 生物有机肥对土壤微生物活性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 303—306.
- [27] 张彦东, 孙志虎, 沈有信. 施肥对金沙江干热河谷退化草地土壤微生物的影响 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 88—91.

## Effect of Planting Density and Nitrogen Fertilizer on Soil Fertility Properties with Wheat/Forage Rape Multiple Cropping

YANG Rui-ji

*School of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China*

**Abstract:** A field experiment was conducted in Lanzhou, China to study the effects of rape planting density and nitrogen fertilizer rate on the soil fertility properties of the topsoil (0~15 cm) of wheat stubble multiple cropping rape. The results showed that topsoil soil organic matter, available K, alkali-hydrozable N, available P, organic carbon (OC), readily oxidizable organic carbon (ROOC) content and N utilization efficiency increased significantly and soil stability organic carbon (SOC) content and oxidation stability coefficient ( $K_{os}$ ) decreased significantly by planting rape after wheat, which suggested that the plant pattern of wheat/forage rape multiple cropping could improve soil fertility of cropland. During the seedling stage of the rape crop, soil organic matter first increased, followed then by a decline, total N decreased steadily, and N utilization efficiency, alkali-hydrozable N, total P and available P increased gradually with the increase in planting density; soil organic matter, total N, total P and alkali-hydrozable N content in the topsoil were enhanced but N utilization efficiency and available P decreased continuously with increasing nitrogen rates. During the harvest stage of rape, soil organic matter first increased and then decreased, total N and total P steadily decreased in the topsoil, while alkali-hydrozable N, available P and N utilization efficiency increased continuously with increasing planting density; soil organic matter, total N, total P, alkali-hydrozable N and available P content gradually increased, but N utilization efficiency dropped continuously with increasing nitrogen rates, though the difference was non-significant statistically. Throughout the growth stages of the rape plants, soil OC, ROOC and ROOC percent all increased gradually while SOC, SOC percent and  $K_{os}$  decreased continuously, and the difference was highly significant statistically ( $p < 0.05$ , PLSD). Soil OC on the topsoil and soil  $K_{os}$  were in highly significant positive and negative correlation, respectively, with soil organic matter, alkali-hydrozable N, available P and available K, indicating that soil OC and  $K_{os}$  can be used as indicators for characterization of the utilization potential of soil available nutrients.

**Key words:** cropping density; nitrogen rate; multiple cropping rape; fertility properties of soil; oxidation stability coefficient

