

西北黄土区主要作物茬口对土壤理化性质和冬油菜农艺性状的影响

李学才^{1,2}, 马 骊², 武军艳^{1,2}, 刘丽君², 蒲媛媛^{1,2}, 方 彦², 孙万仓^{1,2}

(1.甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070;2.甘肃省干旱生境作物学重点实验室,甘肃 兰州 730070)

摘要:为了探讨不同茬口对土壤肥力及后茬油菜产量的影响,以休闲田为对照,研究了西北黄土区冬油菜、马铃薯、玉米、冬小麦、春小麦、蚕豆等6种主要农作物茬口土壤耕作层肥力效应及其对后茬白菜型冬油菜产量和农艺性状的影响,结果表明:(1)不同作物茬口土壤养分含量总体表现为越冬作物>休闲田>春播作物,除固氮作物蚕豆茬口碱解氮含量较高外,冬油菜茬口土壤营养各项指标、土壤微生物种群结构及土壤物理性状均显著优于其它作物茬口,其有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别比休闲田增加32.6%、12.1%、5.9%、7.2%、11.6%、99.8%、44.2%,其次为蚕豆、冬小麦茬口和休闲田,玉米和春小麦茬口肥力状况较差;与休闲田相比,冬油菜、冬小麦和蚕豆茬口耕层(0~20 cm)土壤容重分别降低10.14%、5.80%和5.80%,而冬油菜茬口土壤总孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量分别提高7.33%、4.12%和5.65%,马铃薯、玉米、春小麦茬口均有不同程度下降,冬小麦与蚕豆茬口无明显差异;(2)前茬对白菜型冬油菜农艺性状的影响主要表现在株高、根量、全株角果数、角果粒数及千粒重等指标,其中蚕豆茬口白菜型冬油菜比休闲田增产4.50%,冬小麦茬口与休闲田相当,而马铃薯、玉米、春小麦、冬油菜茬口分别较休闲田减产11.05%、15.04%、16.27%、21.14%。白菜型冬油菜的最佳前茬是豆类作物,休闲田和冬小麦茬口次之,但白菜型冬油菜连作可能会产生自毒作用或病害加重,从而造成显著减产。

关键词:作物茬口;土壤肥力;白菜型油菜;农艺性状;西北黄土区

中图分类号:S565;S152;S153 **文献标志码:**A

Effects of main preceding crop stubbles on soil physicochemical properties and agronomic traits of winter rapeseed in Northwest Loess Area

LI Xuecai^{1,2}, MA Li², WU Junyan^{1,2}, LIU Lijun²,
PU Yuanyuan^{1,2}, FANG Yan², SUN Wancang^{1,2}

(1. Gansu Agricultural University Agronomy College, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The purpose of this study was to examine the effects of different stubbles on soil fertility and rapeseed yield in the following season. Using traditional field experiment, with fallow field as control, the stubble soil ploughing layer of six main crops (winter rapeseed, potato, corn, winter wheat, spring wheat, and broad bean) in Northwest Loess Area and its effect on the yield and agronomic characters of winter rapeseed in the following season were studied. The result showed that: (1) The overall soil nutrient content of different crop stubbles showed that overwintering crops > fallow fields > spring sown crops. Except the broad bean stubble had a higher alkaline nitrogen content of nitrogen-fixing, the winter rapeseed stubble had a significant better result than those of other crops in soil nutrient indexes, soil microbial population structure and soil physical properties. Their organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, alkaline nitrogen, fast-acting phosphorus, and fast-acting potassium contents were 32.6%, 12.1%, 5.9%, 7.2%, 11.6%, 99.8% and 44.2% higher than the control treatment. Followed by bean, winter wheat stubble and fallow fields, the corn and spring wheat stubbles had a poorer fertility status. Compared with the fallow field, the soil bulk density of tillage layer (0~20 cm) of winter rapeseed, winter wheat

and broad bean stubbles decreased by 10.14%, 5.80%, 5.80%, respectively. The total soil porosity, capillary porosity and field water holding capacity of winter rapeseed stubbles increased by 7.33%, 4.12% and 5.65%, respectively, while potato, corn and spring wheat stubble all decreased to different degrees. There was no significant difference between winter wheat and broad bean stubbles. (2) The effects of previous crop on agronomic traits of winter rapeseed were mainly reflected in plant height, root weight, number of whole plant, number of pod and 1000-grain weight. Among them, the yield of winter rapeseed in broad bean stubble was 4.50% higher than that in fallow field, and the stubble of winter wheat was equivalent and winter wheat stubble was similar to fallow field. The yield of potato, corn, spring wheat and winter rapeseed stubbles decreased by 11.05%, 15.04%, 16.27% and 21.14%, respectively, compared with that of the fallow field. The best preceding crop of winter rapeseed was bean crop. The fallow field and winter wheat crop were also good preceding crops. However, continuous cropping of winter rapeseed could produce autotoxicity or aggravate disease, which would significantly affect the yield, so it is not suitable for continuous cropping.

Keywords: preceding crops; soil nutrients; winter brassica rapa; agronomic traits; Northwest Loess Area

油菜是重要的油料作物,我国油菜种植面积和总产量均居世界第一位,据统计,2010年我国油菜籽产量达 1.3×10^7 t,占世界油菜籽产量的22.2%^[1],但长期以来我国油菜籽自给率仅约35%^[2],因此发展油菜产业对保证国家食用油安全具有重要意义。冬油菜北移是油菜种植面积增加和国产食用油供应能力提升的主要措施之一。我国北方冬油菜种植具有很大潜力,其潜在面积达3 226.95万 hm^2 以上,可有效缓解我国食用油短缺问题;另一方面,种植冬油菜可在地表形成植被覆盖层,冬春季可有效减少沙尘天气形成频率,农田生态效益显著^[3]。强抗寒白菜型冬油菜品种可解决其抗寒问题^[4-8],北方地区白菜型冬油菜的种植面积不断扩大,白菜型冬油菜已经成功北移至甘肃河西走廊、新疆、青海、宁夏、山西、河北、北京等地,取得了显著的经济效益、生态效益和社会效益^[9-14]。

在农业生态系统中,虽然施肥制度对作物产量和土壤养分贡献较大,但不同耕作茬口对作物产量和土壤养分的影响也不容忽视。不同作物由于其生物学特性、生长发育对营养元素需求的种类和数量各有不同,其生育期内从土壤中吸收的养分存在差异,有些作物在其生长发育过程中,可能对某一元素吸收利用具有明显的偏好性,若长期种植该种类型作物,则会造成土壤中该元素回补短缺和单一元素贫乏,造成土壤营养元素的不均衡;与之相反,也可能由于长期种植单一类型作物而造成某一元素在土壤中富集而使后茬作物“中毒”。不同茬口作物根系分泌物、伴生杂草、病原菌积累等存在明显差异,作物收获后残留在土壤中的枝、叶、根及有效养分也不尽相同,导致土壤理化性质、营养元素种类与数量、微生物种群结构发生显著变化,对后

茬作物生长发育及品质与产量形成产生重要影响^[15]。近年来关于不同间作套方式及不同茬口对后茬小麦、烤烟、棉花、大豆等作物土壤环境及产量影响的研究已有较多报道,许多研究表明,不同茬口会直接影响下茬作物的土壤养分、酶活性、微生物群落,进而影响后茬作物的产量和品质。范倩玉等^[16]研究表明,不同作物秸秆还田可降低0~60 cm土层土壤容重,增加毛管孔隙度和田间持水量。陈小容等^[17]研究了不同种植模式下茬口对小麦季土壤养分和酶活性的影响,结果显示豆茬在土壤养分、酶活性方面优于苕茬,但不同间套作条件下土壤肥力存在显著差异。崔欢虎等^[18]研究表明不同茬口对后茬小麦的千粒重、容重、蛋白质含量、沉降值及湿面筋品质等性状具有显著影响,大豆茬口有利于后茬小麦形成较好的品质性状。雍太文等^[19]研究表明冬小麦/春玉米/夏大豆套作模式有利于提高根际细菌群落多样性,增强植株对氮素的吸收能力。彭云等^[20]发现不同茬口对烟株的生长、产量、品质、产值和评级质量具有显著影响,且因生态区不同而有差异。徐文修等^[21]研究了作物茬口对连作棉田土壤环境及棉花产量的影响,表明不同作物茬口的土壤有机质、速效养分含量及棉花产量均高于连作棉田,其中加工番茄茬口可显著提升土壤速效磷含量,而小麦、玉米茬口可显著提升土壤速效钾含量,各作物茬口土壤微生物总量均比连作棉田有明显增加,表现为细菌和放线菌数量增加而真菌减少。尽管前人围绕多种作物茬口及间套作体系中土壤养分环境及对后茬作物产量及品质的影响进行了大量研究,但对白菜型冬油菜茬口土壤肥力效应及不同作物茬口对后茬白菜型冬油菜产量的影响还未见较为系统的研究报告。白菜型冬油

菜在我国北方大部分地区属新型越冬作物,一般在 8 月中下旬至 9 月上旬播种,播种前茬通常为小麦、玉米、马铃薯、蚕豆等主要农作物,因不同作物水肥需求、根际分泌物及微生物种群变化、收获后残留物还田等均存在差异,最终影响土壤肥力及后茬作物生长发育与产量形成。合理的作物轮作模式和茬口衔接,不仅可以获得较高的作物产量和种植效益,还可实现土壤营养元素收支均衡、土地用养结合及可持续利用。本文结合我国北方轮作现状,拟研究不同作物茬口对土壤肥力、土壤结构、土壤微生物及后茬白菜型冬油菜产量和品质的影响,研究成果可望为合理轮作倒茬,提高白菜型冬油菜产量和品质提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料和试点情况

1.1.1 试验材料 白菜型冬油菜品种为‘陇油 7 号’,由甘肃农业大学农学院提供;马铃薯品种为‘庄薯 3 号’,由庄浪县农业技术推广中心提供;冬小麦品种为‘兰天 19 号’,由甘肃省农科院小麦研究所提供;春小麦品种为‘临农 14 号’,玉米品种为‘郑单 958’,均由甘肃省临洮县农业技术中心提供;蚕豆品种为‘临蚕 8 号’,由临夏州农科所提供。

1.1.2 试点情况 试验设在甘肃省定西市临洮县玉井镇岚观坪村,海拔 1 935 m,年均气温 6.7℃,≥ 10℃有效积温 2 346.7℃,无霜期 140 d,年降雨量 598.4 mm。土质为黑麻土,肥力中等,土壤有机质含量 16.12 g · kg⁻¹,碱解氮 56.31 mg · kg⁻¹,速效磷 28.11 mg · kg⁻¹,速效钾 228.02 mg · kg⁻¹,pH 值 8.35。试点前茬作物为冬小麦,收获后及时翻耕耙耱,纳雨蓄墒。

1.2 试验设计

设 7 种前茬处理,分别种植白菜型冬油菜、马铃薯、玉米、冬小麦、春小麦、蚕豆和休闲田(CK),所有前茬处理均在同一田块进行并划区种植,每小区面积 36 m²,随机排列。于 2018 年 9 月初播种冬油菜和冬小麦,2019 年 3 月中旬分别播种春小麦、蚕豆、马铃薯、玉米。2019 年 9 月 5 日前茬作物全部收获后立即翻耕整地,为充分体现茬口的肥力效应,均不施肥。2019 年 9 月 8 日播种冬油菜,每个前茬设 3 次重复,小区面积 12 m²,行距 20 cm,株距 8 cm,保苗 60 万株 · hm⁻²,出苗后按照白菜型冬油菜栽培技术规程进行管理,于 2020 年 6 月 21 日收获。

1.3 取样方法及样品分析

1.3.1 取样方法 2020 年 6 月 21 日前茬作物收获

后,在每小区采用交叉线 5 点取样法,取样深度为 60 cm,间隔 20 cm,测定土壤容重、孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量;采集 0~20 cm 耕层混合土样,用于测定土壤养分和土壤微生物。2020 年 6 月 21 日,按小区收获冬油菜,单收单打,测定产量和品质。

1.3.2 土壤容重、孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量测定 采用环刀法测定土壤容重、孔隙度、毛管孔隙度和田间持水量,计算公式分别如式(1)~(4)所示:

$$\text{土壤容重}(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}) = (W_3 - W_0) / V \quad (1)$$

$$\text{土壤总孔隙度}(\%) = (W_1 - W_3) / V \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{土壤毛管孔隙度}(\%) = (W_2 - W_3) / V \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{土壤田间持水量}(\%) = (W_2 - W_3) / (W_3 - W_0) \times 100\% \quad (4)$$

式中, W₀ 为环刀重(g), W₁ 为环刀样品饱和重量(g), W₂ 为环刀内土壤吸水至饱和并排出重力水后的重量(g)(环刀内土壤充分吸水至饱和后静置 12 h), W₃ 为烘干土和环刀总重(g); V 为环刀体积(cm³)。

1.3.3 土壤养分及微生物测定 采用重铬酸钾-氧化油溶加热法测定土壤有机质含量;采用氮微量开氏法测定全氮含量;采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测定全磷含量;采用碱熔-火焰光度法测定全钾含量;采用碱解扩散法测定水解氮含量;采用磷酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用乙酸铵提取-火焰光度法测定速效钾含量;采用玻璃电极法测定 pH;采用平板菌落计数法测定微生物数量。

1.3.4 冬油菜农艺性状及品质测定 待后茬冬油菜成熟收获时测定各小区产量,每小区随机选取 10 株进行考种,测定其株高、分枝部位、有效分枝数、全株有效角果数、角果粒数、千粒重,以小区为单位计产。用 FOSS(NIRSystemTR3750)近红外品质分析仪测定各小区冬油菜籽粒的含油率、芥酸和硫甙等含量。

2 结果与分析

2.1 不同茬口对土壤耕层养分含量的影响

由表 1 可以看出,不同作物茬口土壤耕层养分存在明显差异,总体表现为越冬作物>休闲田>春播作物。有机质含量以冬油菜、冬小麦、马铃薯茬口较高,分别比对照处理增加 32.6%、8.5%、7.9%,春小麦茬口最低;全氮含量以冬油菜和蚕豆茬口较高,分别比对照处理增加 12.1%和 11.2%;碱解氮含

量则以蚕豆茬口和冬油菜茬口较高,分别比对照增加 20.7%和 11.6%,春小麦茬口最低,其它茬口与对照则相差不大;全磷、速效磷、全钾、速效钾均以冬油菜茬口最高,分别较对照处理增加 5.9%、99.8%、7.2%、44.2%,冬小麦茬口分别较对照处理增加 1.0%、20.9%、3.4%、20.9%,玉米和春小麦茬口速效磷含量最低,分别比对照处理下降 55.0%和 53.1%,速效钾含量则以马铃薯茬口最低,比对照处理下降 67.1%。

2.2 不同茬口对土壤结构的影响

由表 2 可以看出,不同茬口对不同土层土壤容重、孔隙度和田间持水量均有不同程度的影响。具体表现为:相同茬口不同土层间,随着土层深度增加,土壤容重均呈先升高后降低趋势,总孔隙度、毛管孔隙度均呈逐渐下降趋势,土壤田间持水量则呈先降低后升高趋势;不同茬口对耕作层(0~20 cm)土壤结构影响最为显著,其中冬油菜茬口土壤容重比对照处理减小 10.14%,冬小麦和蚕豆茬口比对照处理减小 5.80%,其它茬口土壤容重均比对照处理有所增加,但差异不显著;冬油菜茬口总孔隙度、毛

管孔隙度和田间持水量与对照处理相比均有显著升高,分别提高 7.33%、4.12%和 5.65%,而马铃薯、玉米、春小麦茬口均比对照处理有不同程度下降,冬小麦和蚕豆茬口与对照处理相当;不同茬口对 20~40 cm 土层影响不明显,对 40~60 cm 土层基本没有影响。

2.3 不同茬口对土壤微生物种群结构的影响

土壤中细菌、放线菌、真菌三大类群微生物区系比例是衡量土壤肥力的重要指标之一,土壤中细菌、放线菌密度高,表明土壤肥力较高^[22],而真菌密度高则是土壤肥力恶化的标志^[23]。因此,细菌、放线菌与真菌数量的比值是表征土壤肥力的一个潜在指标。研究表明,不同茬口土壤微生物数量存在明显差异(表 3),土壤中细菌与真菌数量的比值以冬油菜茬口最高,其次为蚕豆、冬小麦及春小麦茬口,分别较对照处理增加 11.48%、10.74%、4.44%、0.37%。放线菌与真菌的比值以冬油菜和蚕豆茬口最高,分别较对照处理增加 43.19%、10.74%。因此,单从土壤微生物种群结构看,冬油菜和蚕豆茬口表现最优。

表 1 不同茬口对耕层土壤养分含量的影响

Table 1 Effect of different preceding crops on soil nutrient contents

茬口处理 Treatment	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	pH
冬油菜 Winter rape	21.40a	1.20a	1.08a	22.08a	63.10b	56.05a	330.50a	8.41
马铃薯 Potato	17.41b	1.08b	0.92b	19.27c	60.95b	22.15c	75.50e	8.42
玉米 Maize	15.51c	1.07b	0.95b	21.27ab	55.32bc	12.65d	103.03d	8.57
冬小麦 Winter wheat	17.51b	1.09b	1.03a	21.30ab	59.15b	33.90b	277.00b	8.52
春小麦 Spring wheat	13.48d	0.84c	0.80c	22.01a	45.35d	13.15d	188.50c	8.69
蚕豆 Broad bean	16.63bc	1.19a	0.99ab	19.27c	68.23a	23.88c	159.01d	8.48
休闲田 Fallow (CK)	16.14bc	1.07b	1.02a	20.60b	56.53bc	28.05bc	229.15bc	8.39

注:同列不同小写字母表示处理间差异达到显著水平($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate that the difference between treatments reaches a significant level ($P<0.05$), the same below.

表 2 不同茬口对土壤物理性质及田间持水量的影响

Table 2 Effect of different preceding crops on soil physical properties and field water holding capacity

茬口处理 Treatment	土壤容重 Soil bulk density /(g·cm ⁻³)			土壤总孔隙度 Soil total porosity/%			土壤毛管孔隙度 Soil capillary porosity/%			土壤田间持水量 Field capacity/%		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
冬油菜 Winter rape	1.24d	1.35b	1.38ab	52.7a	48.6a	45.6a	48.0a	45.7a	44.2a	31.8a	28.1a	27.3a
马铃薯 Potato	1.39a	1.41a	1.39a	48.6c	46.9b	45.6a	44.4c	43.7ab	45.6a	27.3c	26.6c	27.1a
玉米 Maize	1.36b	1.42a	1.40a	47.3c	47.0b	45.1a	45.2b	45.1a	43.5ab	27.4c	26.9c	26.9a
冬小麦 Winter wheat	1.30c	1.40ab	1.37ab	49.5b	47.7b	45.8a	46.8b	45.4a	44.2a	29.9b	27.7b	27.4a
春小麦 Spring wheat	1.41a	1.42a	1.41a	45.7d	43.8c	43.9ab	42.5d	41.9b	43.4ab	28.5bc	26.6c	27.0a
蚕豆 Broad bean	1.30c	1.41a	1.37ab	50.0b	46.9b	45.5a	45.7b	43.2ab	43.5ab	30.0b	26.3c	27.3a
休闲田 Fallow (CK)	1.38ab	1.43a	1.40a	49.1b	47.2b	44.3ab	46.1b	43.6ab	44.0a	30.1b	27.5b	26.9a
变异系数 CV/% Coefficient of variation	4.58	1.88	1.13	4.48	3.17	1.63	4.06	3.11	1.73	5.57	3.93	3.21

2.4 不同茬口对后茬冬油菜品质的影响

研究发现,不同茬口对白菜型冬油菜品质具有一定影响(表4),主要表现为蚕豆、休闲田和冬小麦茬口冬油菜含油率较高,玉米茬口冬油菜含油率最低;蚕豆茬口白菜型冬油菜的油酸、亚油酸、蛋白质含量均较高,但影响油菜品质的硫代葡萄糖苷、芥酸含量也相对较高,其它茬口对白菜型冬油菜品质的影响没有明显规律性变化。

2.5 不同茬口对白菜型冬油菜农艺性状的影响

不同茬口对白菜型冬油菜农艺性状产生明显影响(表5),从植株形态而言,与休闲田相比,各茬口冬油菜分枝部位降低且分枝数减少,除蚕豆茬口

外,其它茬口处理株高也明显降低;根部生长量以冬小麦茬口最大,其次是蚕豆茬口和休闲田,其它茬口明显低于对照处理。从产量构成因素而言,蚕豆、休闲田、马铃薯茬口的单株角果数较多,其对应的角粒数也较多,而冬油菜、春小麦和玉米茬口的单株角果数和角果粒数明显较少;千粒重则以冬小麦和玉米茬口较高而冬油菜茬口和春小麦茬口较低。从产量表现看,蚕豆茬口种植的白菜型冬油菜产量最高,比休闲田增产4.50%,冬小麦茬口与休闲田无显著差异,而马铃薯、玉米、春小麦和冬油菜茬口分别比对照处理减产11.05%、15.04%、16.27%和21.14%。

表3 不同茬口对土壤微生物种群结构的影响

Table 3 Effects of different preceding crops on soil microbial population structure

指标 Index	冬油菜 Winter rape	马铃薯 Potato	玉米 Maize	冬小麦 Winter wheat	春小麦 Wheat	蚕豆 Broad bean	休闲田 Fallow(CK)
B/F	3.01×10^3	1.80×10^3	1.93×10^3	2.82×10^3	2.71×10^3	2.99×10^3	2.70×10^3
较CK/±%	11.48	-33.33	-28.52	4.44	0.37	10.74	
A/F	12.40	5.66	7.64	8.53	7.84	9.59	8.66
较CK/±%	43.19	-34.64	-11.78	-1.50	-9.47	10.74	

注: B/F表示细菌数和真菌数的比值, A/F表示放线菌数和真菌数的比值。

Note: B/F indicates the ratio of bacterial to fungal counts, and A/F indicates the ratio of actinomycete to fungal counts.

表4 不同茬口对白菜型冬油菜品质的影响

Table 4 Effect of different preceding crops on quality of winter rape

茬口处理 Treatment	含油率 Fat/%	芥酸 Erucic acid/%	硫代葡萄糖苷 Glucosinolates /($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	棕榈酸 Palmitic acid/%	油酸 Oleic acid/%	亚油酸 Linoleic acid/%	蛋白质 Protein /%
冬油菜 Winter rape	44.92ab	40.87ab	88.42b	2.44bc	23.52c	12.17c	25.81cd
马铃薯 Potato	44.42ab	41.83a	86.56bc	2.33c	21.61cd	12.83c	26.15c
玉米 Maize	43.02b	42.09a	83.93bc	2.59b	18.87d	11.14cd	26.80bc
冬小麦 Winter wheat	45.23a	35.57b	88.61b	3.07a	26.85b	13.62b	26.20c
春小麦 Spring wheat	44.81ab	34.48b	119.76a	3.33a	15.93e	18.06a	28.34b
蚕豆茬口 Broad bean	45.60a	39.22ab	117.41a	3.29c	26.29b	17.29a	30.78a
休闲田 Fallow(CK)	45.26a	34.07b	91.03b	2.69b	29.24a	13.60b	24.22e

表5 不同茬口对白菜型冬油菜农艺性状及产量的影响

Table 5 Effect of different preceding crops on agronomic traits and yield of winter rape

茬口处理 Treatment	株高 Plant height/cm	根长 Root length/cm	根粗 Root thick/cm	分枝部位 Branch height/cm	一次分枝数/个 Number of first branch	二次分枝数/个 Number of second branch	单株角果数/个 Total siliques of plant	角果粒数/粒 Seeds /silique	千粒重 1000-seed weight/g	产量 Yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
冬油菜 Winter rape	98.62b	8.48c	1.34b	12.51c	7.64bc	4.87c	132.58c	18.77a	2.66b	1951.00e
马铃薯 Potato	104.40b	10.32b	1.18c	14.35bc	7.84bc	5.83bc	212.52b	19.91ab	2.88ab	2200.76c
玉米 Maize	85.55c	9.47bc	1.03c	14.43bc	7.86bc	4.24c	144.41d	18.64	2.90a	2102.02d
冬小麦 Winter wheat	111.70a	13.13a	1.51a	14.54bc	8.88a	6.88a	186.26c	20.93a	3.03a	2461.78b
春小麦 Spring wheat	78.38c	10.87b	1.15c	16.09b	7.06c	6.46b	133.40d	18.82ab	2.67bc	2071.44d
蚕豆 Broad bean	117.26a	12.95a	1.43ab	16.20b	8.22b	6.24b	243.20a	20.33a	2.71bc	2585.17a
休闲田 Fallow(CK)	115.97a	12.05a	1.61a	21.62a	8.88b	6.84b	218.14b	20.35a	2.88ab	2474.04b

3 讨论

3.1 不同作物茬口对耕作层土壤养分的影响

科学合理的轮作倒茬可有效平衡土壤养分状况,改善农田土壤结构和微生物种群结构。传统意义上豆类是较好的养地作物,休闲田因无养分消耗,也是较好的前茬,研究发现除蚕豆茬口土壤碱解氮含量较高外,越冬作物冬油菜和冬小麦茬口耕作层(0~20 cm)土壤有机质及N、P、K含量均高于其它茬口,其次为休闲田和蚕豆茬口,而春小麦、玉米茬口相对较低。特别是冬油菜茬口,其有机质、速效磷、速效钾含量极显著高于其它作物茬口,其主要原因一方面是由于越冬作物特别是冬油菜密度大约 $60 \text{株} \cdot \text{m}^{-2}$,单位面积生物量较大,且有较为庞大而易腐解的肉质根,整个生长发育过程中积累的碳及吸收的N、P、K等大量回补还田(包括越冬期枯叶),不但增加了土壤有机质,疏松了土壤,也是土壤养分的来源之一;同时越冬作物在北方冬、春季对农田形成覆盖,一定程度上削弱了表层土壤的风蚀作用,减少了土壤养分流失。另一方面单就磷素而言,不同植物种类甚至是同一物种的不同基因型,其根际土壤中不同形态磷素的含量存在显著差异^[24-25],在低磷条件下,油菜吸收磷量与根际酸性磷酸酶活性有显著的正相关关系,植物根系和微生物分泌的酸性磷酸酶可矿化有机磷成为无机磷^[26]。在施磷和不施磷处理条件下,磷高效甘蓝型油菜品种的吸磷量和生物量均高于磷低效品种^[27]。顾炽明等^[28]研究认为,油菜作绿肥对土壤中难溶性磷的活化效果明显,能显著提高土壤速效磷含量,高菊生等^[29]通过26 a的长期定位试验表明,与冬闲对照相比,双季稻-油菜绿肥轮作土壤有效磷含量提高16.3%。本研究中白菜型冬油菜茬口土壤速效磷含量显著高于其它作物茬口,说明除了根叶还田回补外,白菜型冬油菜根际分泌的有机酸等物质也可以解离被土壤胶团吸附的磷元素,使被固定的磷元素释放到土壤中,从而提高了耕层土壤中速效磷的含量;就速效钾而言,不同物种种类甚至是同一物种的不同基因型之间根系分泌物和根际微生物的种类和数量均存在差异^[30],富钾基因型烤烟品种根系分泌物活化能力强,不同品种根际细菌数量差异大,烤烟的钾吸收利用与根系分泌物和根际微生物的差异有关^[31-32]。研究发现冬油菜茬口土壤速效钾含量明显高于其它作物茬口,可能是由于白菜型冬油菜茬口土壤pH值下降,对土壤矿物钾会产生活化作用,其中成土母质的蛭石化过程及根系

分泌的有机酸类物质是产生这种直接活化作用的重要原因^[33-34]。

3.2 不同作物茬口对耕作层土壤微生物种群结构及土壤物理性状的影响

土壤微生物种群结构看,冬油菜茬口最优,其次是蚕豆和冬小麦茬口,三种茬口的土壤容重、土壤孔隙度及田间持水量等指标优于其它茬口,其主要原因是由于冬油菜自然还田的枯叶及庞大肉质根系腐解后疏松了土壤,增加了有机质,改善了土壤结构,从而使土壤容重降低、孔隙度和田间持水量增加,进而改善了微生物种群结构,这也进一步说明越冬作物特别是冬油菜具有较好的养地效果,是西北黄土区的优质前茬作物。

3.3 不同作物茬口对白菜型冬油菜产量性状及品质的影响

土壤营养元素的种类和数量、理化性质决定着作物生长发育的健康水平及最终产量的形成。前茬作物通过影响土壤营养、土壤结构、土壤微生物种群等从而对后茬作物的产量及品质产生影响。研究表明:蚕豆后茬种植的冬油菜,其株高、根量、单株角果数、角果粒数、千粒重及产量最高,其次为休闲田和冬小麦茬口,而养分状况较好的冬油菜茬口继续种植冬油菜,其各项产量构成指标及最终产量却最低,这可能与白菜型冬油菜连作产生的自毒作用、微量元素(如硼等)平衡失调及病害加重有关。不同作物茬口对后茬油菜品质的影响主要表现在含油率的变化上,与对产量的影响效应基本相同。

4 结论

西北黄土区主要农作物茬口土壤营养状况总体表现为越冬作物>休闲田>春播作物。6种作物茬口中,以冬油菜茬口最优,是北方黄土区合理轮作倒茬的优选作物种类,也是优良的冬春季覆盖作物和绿肥作物,蚕豆、冬小麦茬口及休闲田也是较好的前茬作物,玉米和春小麦茬口较差。

综合考虑不同作物茬口对油菜品质及产量的影响,种植油菜的最佳前茬作物为豆类作物,其次为休闲田、冬小麦,再次是马铃薯和玉米茬口,应尽量避免持续连作。

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,2011.
National Bureau of Statistics of People's Republic of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [2] 王汉中,殷艳.我国油料产业形势分析与对策建议[J].中国油料作物学报,2014,36(3):414-421.

- WANG H Z, YIN Y. Analysis and strategy for oil crop industry in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 36(3): 414-421.
- [3] 王学芳, 孙万仓, 李孝泽, 等. 我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6572-6577.
- WANG X F, SUN W C, LI X Z, et al. Wind erosion-resistance of fields planted with winter rapeseed in the wind erosion region of Northern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6572-6577.
- [4] 孙万仓, 马卫国, 雷建民, 等. 冬油菜在西北旱寒区的适应性和北移的可行性研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2716-2726.
- SUN W C, MA W G, LEI J M, et al. Study on adaptation and introduction possibility of winter rapeseed to dry and cold areas in Northwest China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(12): 2716-2726.
- [5] 官春云. 俄罗斯的油菜育种[J]. 作物研究, 2003, 17(2): 99-102.
- GUAN C Y. Rape breeding in Russia[J]. Crop Research, 2003, 17(2): 99-102.
- [6] RIFE C L, SALGADO J P. Selecting winter hardy oilseed rape for the Great Plains [M]//JANICK J. Progress in new crops. Alexandria: ASHS Press, 1996: 272-278.
- [7] RAPESEED S M. Rapeseed, a new oilseed crop for the United States. in:janick [M]//JANICK J, SIMON J E. New Crops. New York: John and Wiley Sons, 1993: 302-307.
- [8] RAYMER P L, BULLOCK D G, THOMAS D L. Potential of winter and spring rapeseed cultivars for oilseed production in the southeastern United States[M]//JANICK J, SIMON J E. Advances in New Crops. Portland: Timber Press. 1990: 223-225.
- [9] RIFE C L, ZEINALI H. Cold tolerance in oilseed rape over varying acclimation durations[J]. Crop Science, 2003, 43: 96-100.
- [10] 孙万仓, 武军艳, 曾军, 等. 8个白菜型冬油菜品种抗寒性的初步评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007(S1): 151-155.
- SUN W C, WU J Y, ZENG J, et al. Primary evaluation of cold tolerance among eight winter Brassica rapa[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2007(S1): 151-155.
- [11] 盖玥, 牛俊义, 孙万仓, 等. 降温处理对白菜型油菜品种抗寒生理指标的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(2): 182-185.
- GAI Y, NIU J Y, SUN W C, et al. Effect of lower temperature treatment on some cold resisting physiological indexes of winter turnip rape[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2005, 40(2): 182-185.
- [12] 孙万仓, 牛俊义, 滕文惠, 等. 覆盖处理对旱寒区冬油菜越冬率和产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(3): 315-318.
- SUN W C, NIU J Y, TENG W H, et al. The effects of covering on winter-survival and yield of winter rapeseed[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2006, 28(3): 315-318.
- [13] 朱惠霞, 孙万仓, 邓斌, 等. 白菜型冬油菜品种的抗寒性及其生理生化特性[J]. 西北农业学报, 2007, 16(4): 34-38.
- ZHU H X, SUN W C, DENG B, et al. Study on cold hardiness and its physiological and biochemical characteristics of winter turnip rape (*Brassica campestris*) [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(4): 34-38.
- [14] 王学芳, 孙万仓, 李芳, 等. 中国西部冬油菜种植的生态效应评价[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 647-652.
- WANG X F, SUN W C, LI F, et al. Effects of environment on winter rapeseed in Hexi Corridor Chinese[J]. Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 647-652.
- [15] 王欣英. 前茬作物玉米和甘薯对烟草的轮作效应及其机理的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
- WANG X Y. Effects of corn and sweet potato on tobacco growth and quality as fore-rotating crops[D]. Tyan: Shandong Agricultural University, 2006.
- [16] 范倩玉, 李军辉, 李晋, 等. 不同作物秸秆还田对潮土结构的改良效果[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 230-236.
- FAN Q Y, LI J H, LI J, et al. Effect of different crop straw mulching on alluvial soil structure improvement[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(4): 230-236.
- [17] 陈小容, 雍太文, 杨文钰, 等. 不同种植模式下茬口对小麦季土壤养分和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(6): 20-24.
- CHEN X R, YONG T W, YANG W Y, et al. Effects of stubble on wheat soil nutrient status soil enzyme under different planting systems [J]. Soil and Fertilizers Sciences in China, 2011(6): 20-24.
- [18] 崔欢虎, 靖华, 王裕智, 等. 茬口和施氮水平对小麦品质性状及其变异系数的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1090-1094.
- CUI H H, JING H, WANG Y Z, et al. Effect of crop rotation and nitrogen fertilization on wheat quality and variation coefficient[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2008, 16(5): 1090-1094.
- [19] 雍太文, 杨文钰, 向达兵, 等. 小麦/玉米/大豆和小麦/玉米/甘薯套作对根际土壤细菌群落多样性及植株氮素吸收的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(2): 333-343.
- YONG T W, YANG W Y, XIANG D B, et al. Effect of wheat/maize/soybean and wheat/maize/sweet potato relay strip intercropping on bacterial community diversity of rhizosphere soil and nitrogen uptake of crops[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(2): 333-343.
- [20] 彭云, 赵正雄, 李忠环, 等. 不同前茬对烤烟生长、产量和质量的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(2): 335-340.
- PENG Y, ZHAO Z X, LI Z H, et al. Effects of different preceding crops on growth, yield and quality of flue-cured tobacco plant [J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(2): 335-340.
- [21] 徐文修, 罗明, 李银平, 等. 作物茬口对连作棉田土壤环境及棉花产量的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 271-275.
- XU W X, LUO M, LI Y P, et al. Effects of crop stubbles on cotton yield and soil environment in continuously cropped cotton field [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(3): 271-275.
- [22] 邹莉, 袁晓颖, 李玲, 等. 连作对大豆根部土壤微生物的影响研究[J]. 微生物杂志, 2005, 25(2): 27-30.
- ZOU L, YUAN X Y, LI L, et al. Effects continuous cropping on soil microbes on soybean roots[J]. Journal of Microbiology, 2005, 25(2): 27-30.
- [23] 李琼芳. 不同连作年限麦冬根际微生物区系动态研究[J]. 土壤通报, 2006, 37(3): 563-565.
- LI Q F. Dynamics of the microbial flora in the liriopie rhizosphere and out rhizosphere during continuous cropping years[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006, 37(3): 563-565.
- [24] ZHANG H W, HUANG Y, YE X S, et al. Genotypic differences in phosphorus acquisition and the rhizosphere properties of Brassica napus in response to low phosphorus stress[J]. Plant and Soil, 2009, 320(1): 91-102.
- [25] ZOYSA A K N, LOGANATHAN P, HEDLEY M J. Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1999, 53(2): 189-201.
- [26] MARSCHNER P, SOLAIMAN Z, RENGEL Z. Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(1): 87-98.