

间作对油菜和紫云英生长及产量的影响

宋 莉^{1,2}, 韩 上¹, 席莹莹¹, 鲁剑巍¹, 吴礼树¹, 曹卫东³, 耿明建^{1*}

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉, 430070; 2. 安徽省农业科学院茶叶研究所, 安徽 祁门, 245600;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部植物营养与肥料重点实验室, 北京, 100081)

摘要:为使用地与养地相结合, 在保持油菜不减产的同时, 建立合理的油菜/紫云英间作技术体系。采用大田试验, 研究了紫云英(*Astragalus sinicus* L.)与不同密度油菜(*Brassica napus* L.)间作对二者生长和产量的影响。结果表明:紫云英与密度为20万~40万株/hm²油菜按2:1带型间作(即1m宽带内播种两行油菜, 1行紫云英), 间作油菜各处理不同生育期氮磷钾和碳的养分累积量均有高于或接近于油菜单作(MR)的趋势, 间作油菜株高、根长、根颈粗、单株鲜重和产量接近于或显著高于密度为30万株/hm²的单作油菜。在保持油菜产量不显著降低的同时, 间作模式可以收获3 592~5 724 kg/hm²的紫云英绿肥。紫云英与不同密度油菜间作均表现土地资源利用优势(LER>1)。

关键词:油菜; 紫云英; 间作; 生长进程; 土地当量比; 产量

中图分类号: S565.406 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9084(2014)02-0231-07

Effects of intercropping on growth and yield of rape and Chinese milk vetch

SONG Li^{1,2}, HAN Shang¹, XI Ying-ying¹, LU Jian-wei¹, WU Li-shu¹, CAO Wei-dong³, GENG Ming-jian¹

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Tea Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Qimen 245600, China;

3. Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Ministry of Agriculture/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: For sustainable land use and higher revenue on both green manure and oil seed rape (*Brassica napus* L.), a practical rape/Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) intercropping system was to be established without affecting yields of rapeseed. Effects of the intercropping (planting two lines of rape with one line of Chinese milk vetch within one meter width) under different planting densities (from 200 000 to 400 000 plants per hectare) of rapeseed were investigated on rape growth and yield in field. Results showed that the accumulation of nitrogen, phosphorus, potassium and carbon in rape were close to mono-cropping rape (MR, at the density of 300 000 plants per hectare) or higher. The plant height, root length, root crown diameter, weight per plant, and yield were similar to MR or significantly higher. About 3 592 to 5 724 kg per hectare of green manures were harvested when rape yield maintained at the MR level. Thus, the system showed clear advantage of land resources with LER (land equivalent ratio) more than 1.

Key words: Rape; Chinese milk vetch; Intercropping; Growth and development; Land equivalent ratio; Yield

合理利用间套作可以提高产量效益、经济效益和生态效益, 这是我国农业发展的一条重要道路。间套作的优势主要在于可充分利用水、光、热和土壤养分资源, 促进种间有益作用, 从而大幅度提高作物

产量^[1]。有报道指出蚕豆与油菜间作, 可使其生物学产量及经济产量显著提高^[2], 蚕豆与玉米间作, 两者氮、磷含量均高于单作, 生物学产量和籽粒产量明显增加, 两种作物共同高产^[3]。合理的间作可以

促进豆科作物固氮优势的发挥,提高与其间作物氮素的吸收利用^[4~6]。

油菜是中国重要的油料作物之一,常年种植面积超过 734 万公顷^[7]。紫云英为豆科冬绿肥,可以通过生物固氮来固定空气中游离的氮素增加土壤有效氮含量。余常兵在报道中指出两种作物在时空上分布的差异影响作物的生长和养分的吸收^[8],紫云英与油菜合理间、混、套种,可以充分利用作物间互作优势,在稳定和提高油菜产量的同时,改善和培肥土壤肥力^[9,10]。我国过去曾有过紫云英与油菜、小麦等作物间、混、套种的经验报道^[11,12],但只从主作物的农艺性状和产量方面阐述,没有系统研究总结。本文拟从不同油菜种植密度下间作紫云英对油菜生长、养分吸收及绿肥作物生长和土壤肥力的影响的角度研究,以使绿肥作物更好地服务主作物,进一步提升农业生产可持续性,缓解土地用养结合的矛盾。

1 材料与方法

1.1 材料

油菜(*Brassica napus* L.)品种为华双 5 号,紫云英(*Astragalus sinicus* L.)为弋江种。试验于 2011 – 2012 年在湖北省鄂州市长港镇华中农业大学试验基地进行。该地属亚热带季风气候,年均气温 17.0℃,降水量为 1 282.8mm,日照时数为 2 003.7h。土壤为潮土,pH 7.71,有机质 31.21g·kg⁻¹,全氮 1.94g·kg⁻¹,碱解氮 112.32mg·kg⁻¹,速效磷 7.62mg·kg⁻¹,速效钾 69.60mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验设 6 个处理:处理(1)到处理(4)为油菜间作紫云英,紫云英播种量为 10kg/hm²,是单播的 1/3;油菜密度设为(1)10 万株/hm²(代号 IRd1/V);(2)20 万株/hm²(代号 IRd2/V);(3)30 万株/hm²(代号 IRd3/V);(4)40 万株/hm²(代号 IRd4/V);(5)油菜单作,密度 30 万株/hm²(代号 MR);(6)紫云英单作(代号 MV),播种量为 30kg/hm²。耕作带宽 1m,油菜和紫云英两种作物单作、间作的行距均为 33.3cm。间作时 1m 带宽内播种两行油菜,1 行紫云英。每个处理 3 次重复,小区长 5m,宽 4m,随机区组排列。所有单种或间作油菜的处理施用 N、P₂O₅、K₂O 分别为 180kg/hm²、90kg/hm²、120kg/hm²,硼砂 15kg/hm²,肥料分别采用尿素、过磷酸钙、氯化钾,单种紫云英处理不施肥。氮肥总量的 50%作基肥施用、50%作薹肥;钾肥 60%作基肥施用、40%作薹肥;磷肥和硼肥作基肥施用。油菜和紫云英于 2011 年 9 月 28 日播种,生育期内按照当地常

规措施管理。

1.3 样品的采集与测定

1.3.1 油菜 在苗期、初花期、角果期、成熟期,调查油菜株高、根长、根颈粗、单株鲜重及生物量(鲜重),同时随机取有代表性的油菜 3 株,烘干、称重、磨碎后测定氮、磷、钾和碳含量。油菜成熟期测产、考种,并取样分析油菜茎秆的氮、磷、钾和碳含量,养分累积量根据养分含量和相应生物量计算。

1.3.2 紫云英 在油菜取样的同一时期,每小区随机取 2 个有代表性的样方(根据播种幅宽,取 30cm 长)调查紫云英株高、根长,鲜草产量,样品烘干、称重、磨碎后测定氮、磷、钾、碳含量,并计算养分累积量。

1.3.3 分析方法 植物样品经 H₂SO₄ – H₂O₂ 消化,半微量开氏法测定全氮含量,钼锑抗比色法测定全磷含量,火焰光度计法测定全钾含量,植物碳含量采用重铬酸钾容量法测定^[13]。

1.3.4 间作优势与种间相对竞争力 应用偏土地当量比(partial land equivalent ratio, PLER)和土地当量比(land equivalent ratio, LER)作为间作优势的指标^[14~16]:

PLER_{rape} = Yir/Ysr (1)

PLER_{milk vetch} = Yiv/Ysv (2)

LER = (Yir/Ysr) + (Yiv/Ysv) (3)

式中:Yir 和 Yiv 分别为间作中油菜籽粒产量和紫云英盛花期鲜草产量,Ysr 和 Ysv 分别为该作物单作时的产量。PLER 表示间作中每种作物对于单作产量优势和土地利用效率。LER 指获得与间作中各个作物同等的产量所需要的各种作物单作面积之和与间作总面积的比例。

侵袭力(aggresivity)指间作体系中一种作物相对于另一种作物对水分、养分等与产量形成有关资源的竞争能力^[10],油菜相对于紫云英的种间竞争力用下式表示:

Arv = Yir/(Ysr · Pr) – Yiv/(Ysv · Pv) (4)

式中:Arv 为油菜相对于紫云英的资源竞争力;Pr 和 Pv 分别为间作中油菜和紫云英所占间作体系总面积的比例,其中 Pr = 2/3,Pv = 1/3。

1.4 数据处理

用 Excel 2003 进行图表处理,用 DPS7.05 软件进行差异显著性分析(p < 0.05)。

2 结果与分析

2.1 紫云英与不同密度油菜间作对油菜生长发育的影响

2.1.1 对不同生育期油菜农艺性状的影响 由表

1 可以看出,在苗期,除了 IRd3/V (30 万株/hm²) 处理单株鲜重显著低于单作油菜 MR 外,其他不同密度油菜与紫云英间作处理油菜的株高、根颈粗,根长及单株鲜重等农艺性状指标均显著高于或接近于单作油菜,其中 IRd1/V (10 万株/hm²) 处理各农艺性状均最大。IRd4/V (40 万株/hm²) 处理的生物产量高于油菜单作 8.9%,其他不同密度油菜与紫云英

间作处理均低于油菜单作。初花期和角果期与苗期规律相似,除了 IRd1/V 处理的株高、IRd4/V 处理角果期的根颈粗和单株重外,与紫云英间作的不同油菜处理各项农艺性状指标也显著高于或接近于单作油菜。初花期 IRd3/V、IRd4/V 处理的生物产量分别比油菜单作高 15.0% 和 0.1%,说明紫云英与适宜密度的油菜间作,对油菜生长发育影响不显著。

表 1 间作对油菜不同生育期农艺性状的影响
Table 1 Effects of intercropping on agronomic traits of rape at different growth periods

生育时期 Growth period	生长指标 Growth index	IRd1/V	IRd2/V	IRd3/V	IRd4/V	MR
苗期 Seedling stage	株高 Plant height/cm	44.50a	40.80ab	38.00b	39.60ab	41.30ab
	根长 Root length/cm	19.00a	16.19b	16.46b	17.02ab	15.43b
	根颈粗 Root crown diameter /cm	1.57a	1.37a	1.53 a	1.31a	1.42a
	单株鲜重 Weight per plant/g	248.98a	112.55bc	101.57c	135.66b	166.12b
	生物产量 Biomass/(t/hm ²)	24.90c	22.51c	30.47ab	54.26a	49.84a
初花期 Initial flowering stage	株高 Plant height/cm	98.20c	103.90bc	110.60a	105.60b	105.04b
	根长 Root length/cm	19.73b	19.35b	23.89a	17.91b	18.17b
	根颈粗 Root crown diameter /cm	2.12ab	2.39a	1.98b	1.69c	1.76c
	单株鲜重 Weight per plant/g	428.75a	248.75b	274.58b	179.26b	238.75b
	生物产量 Biomass/(t/hm ²)	42.88c	49.75c	82.37a	71.70b	71.63b
角果期 Podding stage	株高 Plant height/cm	154.71b	159.79a	164.93a	158.93a	160.65a
	根长 Root length/cm	24.88ab	21.72b	26.08a	20.24b	22.53b
	根颈粗 Root crown diameter /cm	3.52a	2.46b	2.13b	1.79c	2.97b
	单株鲜重 Weight per plant/g	1262.20a	531.33b	417.00bc	260.44c	510.11b
	生物产量 Biomass/(t/hm ²)	126.22ab	106.27b	125.10ab	104.18b	153.03a

注:IRd1/V、IRd2/V、IRd3/V、IRd4/V 分别表示紫云英与密度为 10、20、30、40 万株/hm² 的油菜间作,MR 为油菜单作。生物产量=单株鲜重×每公顷株数。同行内小写字母不同表示差异达 5% 显著水平,下同
Note: IRd1/V, IRd2/V, IRd3/V and IRd4/V denote Chinese milk vetch intercrop with rape density of 100, 200, 300 and 400 thousand plants per hectare respectively, MR show mono-cropped rape. Biomass = Weight per plant × plants per hectare. Different small letters in the same line indicated significance at 5% level respectively. Same as below

表 2 间作对油菜养分积累量的影响/(kg/hm²)
Table 2 Effects of intercropping on rape nutrients accumulation

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	地上部 Shoot				根部 Root			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C
苗期 Seedling stage	IRd1/V	114.8c	26.8c	58.1b	1 117.7c	7.5c	1.9c	6.4c	113.0c
	IRd2/V	117.8c	27.1c	62.0b	1 088.0c	8.3c	2.0c	7.1c	121.2c
	IRd3/V	150.2b	32.0bc	68.5b	1 415.8b	13.9b	2.1c	7.3c	133.6c
	IRd4/V	185.3a	39.8a	90.9a	1 787.7a	14.6b	3.4b	12.2b	214.0b
	MR	193.4a	37.3ab	94.4a	1 988.4a	19.1a	4.8a	17.9a	307.0a
初花期 Initial flowering stage	IRd1/V	145.5b	47.3b	218.0b	2 589.7c	21.4c	5.7c	35.9c	583.1c
	IRd2/V	238.6a	81.1a	338.1a	4 330.1a	48.5a	11.8a	71.0a	1 332.8a
	IRd3/V	234.9a	79.7a	330.9a	4 362.0a	41.1ab	11.9a	67.0a	1 261.6a
	IRd4/V	189.5ab	47.1b	221.2b	3 300.2b	37.5b	9.1ab	55.3b	985.3b
	MR	220.4a	57.3b	280.0ab	3 936.1a	23.9c	6.5bc	38.7c	721.0c
角果期 Podding stage	IRd1/V	244.9b	83.9b	224.5a	6 097.3a	28.0a	6.1a	33.6a	1 029.8a
	IRd2/V	258.8b	100.4a	210.8a	6 536.8a	12.5b	4.4b	18.6c	755.2b
	IRd3/V	271.0b	99.5a	231.8a	6 369.9a	24.2a	4.4b	17.8c	830.0b
	IRd4/V	283.1ab	98.2a	229.4a	6 371.9a	18.3b	5.6b	22.6b	753.3b
	MR	315.6a	98.1a	234.6a	7 072.9a	37.7a	6.1a	31.0a	1 232.2a

2.1.2 对不同生育期油菜氮、磷、钾和碳积累量的影响 从表 2 中可以看出,在苗期,紫云英间作条件下油菜播种面积为单作油菜的 2/3,除 IRd4/V 处理的油菜地上部和根部氮、磷、钾及有机碳积累量接近

于 MR 外,其他各间作处理油菜地上部和根部氮、磷、钾及有机碳积累量均低于 MR。间作紫云英处理之间比较,随着油菜密度的增加,油菜地上部和根部的氮、磷、钾及有机碳积累量有增加趋势。

在初花期,IRd1/V 和 IRd4/V 处理油菜地上部氮、磷、钾及有机碳积累量低于 MR, IRd2/V 和 IRd3V 地上部氮、磷、钾及有机碳积累量高于 MR。除 IRd1/V 根部氮、磷、钾及有机碳积累量低于 MR 外,其他间作紫云英处理油菜根部氮、磷、钾及有机碳积累量均高于 MR,增加幅度分别为 56.9% ~ 102.9%,40.0% ~ 83.1%,42.9% ~ 83.5%,36.7% ~ 84.9%。间作紫云英处理之间比较,随着油菜密度的增加,油菜地上部和根部的氮、磷、钾及有机碳积累量先增加后降低,可能由于密度增加导致种内竞争加大,油菜个体长势变弱。

在角果期,除油菜地上部氮积累量低于 MR 外,间作紫云英处理油菜地上部磷、钾及有机碳积累量均与 MR 无显著差异。除 IRd1/V 油菜根部氮、磷、钾及有机碳积累量接近于 MR 外,其他间作紫云英处理油菜根部氮、磷、钾及有机碳积累量均低于 MR。间作紫云英处理之间比较,随着油菜密度的增加,油菜地上部氮积累量随之增加,钾和有机碳积累

量各处理间差异不显著。

从表 3 可知,成熟期 IRd1/V 和 IRd4/V 油菜秸秆氮积累量低于 MR,IRd2/V 和 IRd3/V 油菜秸秆氮积累量高于 MR;间作紫云英各处理油菜秸秆磷积累量比 MR 高 8% ~ 56%;IRd3/V 和 IRd4/V 油菜秸秆钾积累量分别比 MR 高 37.8% 和 9.0%;IRd3/V 和 IRd4/V 秸秆碳积累量分别比 MR 高 3.4% 和 3.7%。IRd3/V 和 IRd4/V 籽粒氮、磷积累量均高于 MR,分别高 8.1% 和 2.3%、14.2% 和 8.1%,间作紫云英各处理籽粒钾、碳积累量均低于 MR。间作紫云英处理之间比较,随着油菜密度的增加,油菜秸秆氮、碳积累量均增加,磷、钾积累量在油菜密度 30 万株/hm² 时达到最高,增加到 40 万株/hm² 时略有下降。油菜籽粒氮、磷积累量各处理间变化规律与秸秆磷、钾积累量的相同。随着油菜密度的增加,籽粒碳积累量增加,40 万株/hm² 时达到 1 098.3 kg/hm²。

表 3 间作对成熟期油菜秸秆和籽粒养分积累量的影响/(kg/hm²)
Table 3 Effects of intercropping on nutrient accumulation in grain and straw in mature stage

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	秸秆 Straw				籽粒 Grain			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C
成熟期 Mature stage	IRd1/V	21.8b	5.9bc	51.3d	1 482.1b	42.9c	16.9c	5.5b	892.3b
	IRd2/V	31.3b	7.3ab	55.6cd	1 958.9a	47.5bc	19.3bc	6.2ab	1 042.5ab
	IRd3/V	49.8a	7.8a	91.5a	2 105.0a	62.7a	24.1a	5.3b	1 059.9ab
	IRd4/V	22.3b	5.4c	72.4b	2 109.9a	59.3a	22.8ab	6.9a	1 098.3ab
	MR	26.6b	5.0c	66.4bc	2 035.2a	58.0ab	21.1ab	7.0a	1 113.1a

2.1.3 对油菜产量及其构成因素的影响 从表 4 中可以看出,不同处理油菜的产量构成存在差异。间作紫云英各处理中随着油菜密度的增加,油菜单株角果数呈减小趋势,其中油菜种植密度最低的 IRd1/V 处理单株角果数值最大,显著高于其他各处理,其他不同密度油菜与紫云英间作油菜角果数与油菜单作无显著差异。各处理间的每角粒数、千粒重差异不显著。在间作紫云英条件下,同样带宽内种植密度由 10 万株增加到 40 万株,油菜籽粒和茎

秆产量随着油菜密度的增加而有增加趋势,除了油菜种植密度最低的 IRd1/V 处理的菜籽产量和茎秆产量显著低于单作油菜(MR)外,其他处理均与 MR 无显著差异。当油菜密度 40 万株/hm² 间作紫云英时,籽粒产量最高,达到 1 818kg/hm²,比单作 MR 增产 27kg/hm²,增幅 1.51%。结果表明,油菜合理密植后间作紫云英,仍能获得与单作油菜相近的籽粒产量。

表 4 间作对油菜产量及其构成因素的影响
Table 4 Effects of intercropping on yield and components

处理 Treatment	单株角果数 Pod number per plant	每角粒数 Seed number per pod	千粒重/g 1 000 – seed weight	籽粒产量 /(kg · hm ⁻²) Grain yield	茎秆产量 /(kg · hm ⁻²) Straw yield
IRd1/V	864.8 a	27.5 a	3.75 a	1 386 b	3 641 b
IRd2/V	277.3 b	27.7 a	3.78 a	1 623 ab	4 774 a
IRd3/V	271.7 b	25.2 a	3.80 a	1 714 a	5 108 a
IRd4/V	250.2 b	24.0 a	3.80 a	1 818 a	5 159 a
MR	269.9 b	26.9 a	3.78 a	1 791 a	4 934 a

2.2 紫云英与不同密度油菜间作对紫云英生长发育的影响

2.2.1 对紫云英农艺性状和鲜草产量的影响 从表 5 中可以看出,返青期和盛花期与不同密度油菜间作的紫云英株高均高于单作紫云英,返青期高出 13.6% ~ 38.0%,盛花期高出 15.9% ~ 32.0%。间作处理之间比较,随油菜密度的增加紫云英的株高有减小趋势。油菜密度最低的 IRd1/V 处理间作的紫云英在返青期和盛花期的根长均最大,紫云英根长随着油菜种植密度增加有减小的趋势。

由于油菜间作条件下紫云英播种面积仅为单作

紫云英的 1/3,因此无论返青期还是盛花期,间作处理紫云英的鲜草产量均显著低于单作紫云英,降低幅度分别为 75.77% ~ 81.82%、49.78% ~ 78.91%,盛花期产量降低幅度低于返青期。间作油菜处理之间比较,一般随着油菜播种密度增加,紫云英鲜草产量有降低趋势,盛花期表现更明显。

结合表 4 的结果,处理 IRd2/V、IRd3/V、IRd4/V 收获油菜籽产量与单作油菜相近的同时,通过改变种植方式,可以增收一定量的紫云英绿肥,从而实现土地用养结合,增加农业生产的持续性。

表 5 间作对紫云英不同时期农艺性状及鲜草产量的影响
Table 5 Effects of intercropping on agronomic traits and fresh grass yield of Chinese milk vetch

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	株高 /cm Height	根长 /cm Root length	鲜草产量 /(kg·hm ⁻²) Fresh weight	鲜草产量占单作的比例/% Proportion of fresh grass yield in intercropping to mono-cropping
返青期 Returning - green stage	IRd1/V	34.1 ab	14.9 a	1 906 b	24.2
	IRd2/V	37.4 a	13.2 a	1 567 b	19.9
	IRd3/V	35.4 ab	13.5 a	1 430 b	18.2
	IRd4/V	30.8 bc	13.2 a	1 746 b	22.2
	MV	27.1 c	14.9 a	7 867 a	100.0
盛花期 Full - bloom stage	IRd1/V	75.1 a	17.2 a	8 553 b	50.2
	IRd2/V	76.4 a	17.1 a	5 724 b	33.6
	IRd3/V	70.2 a	13.8 b	5 348 b	31.4
	IRd4/V	67.1 ab	14.4 b	3 592 c	21.1
	MV	57.9 b	15.6 ab	17 031 a	100.0

2.2.2 对紫云英养分累积量的影响 从表 6 中可以看出,返青期,油菜间作条件下紫云英播种面积仅为单作紫云英的 1/3,间作处理紫云英地上部和根部氮、磷、钾和碳积累量均显著低于单作紫云英。间作紫云英地上部氮、磷、钾、碳分别为单作处理的

23.2% ~ 37.6%、31.2% ~ 39.0%、25.4% ~ 34.8%、20.6% ~ 30.1%。间作油菜处理之间比较,紫云英地上部和根部氮、磷积累量均以 IRd1/V 处理最高,钾和碳积累量均以 IRd4/V 处理最高。

表 6 间作对返青期和盛花期紫云英养分积累量的影响/(kg/hm²)

Table 6 Effects of intercropping on nutrient accumulation of Chinese milk vetch at returning - green and full flowering stages

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	地上部 Shoot				根部 Root			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CN	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	
返青期 Returning - green stage	IRd1/V	9.4 b	3.0 b	12.1 b	176.4 b	1.0 b	0.4 b	1.2 b	22.8 b
	IRd2/V	7.1 bc	2.4 b	10.0 b	129.4 b	0.8 b	0.4 b	1.0 b	19.0 b
	IRd3/V	5.8 c	2.6 b	11.4 b	123.5 b	0.6 b	0.2 b	0.6 b	12.2 b
	IRd4/V	8.6 b	2.9 b	13.7 b	180.0 b	0.8 b	0.2 b	1.4 b	25.0 b
	MR	25.0 a	7.7 a	39.4 a	598.1 a	5.2 a	2.6 a	9.0 a	157.0 a
盛花期 Full - bloom stage	IRd1/V	21.3 b	6.2 ab	16.0 b	532.5 b	3.0 b	1.7 a	2.0 b	63.6 b
	IRd2/V	14.0 b	4.3 b	11.7 b	304.8 b	0.9 c	0.6 b	0.5 c	26.9 c
	IRd3/V	17.9 b	5.3 ab	15.7 b	261.7 b	0.6 c	0.3 b	0.3 c	15.6 c
	IRd4/V	10.0 b	2.7 b	7.7 b	170.3 b	1.5 c	0.8b	0.9 c	33.3 c
	MR	40.0 a	8.4 a	34.2 a	1 003.0 a	5.3 a	2.0 a	3.5 a	128.1 a

在盛花期,间作处理紫云英地上部和根部氮、磷、钾和碳积累量均显著低于单作紫云英。间作紫云英地上部氮、磷、钾和碳分别为单作处理的25.0% ~ 53.3%、32.1% ~ 73.8%、22.5% ~ 46.8% 和 17.0% ~ 53.1%。间作油菜处理之间比较,油菜密

度的增加,紫云英的各养分积累量有减小的趋势。紫云英地上部氮、磷、钾和碳积累量以 IRd1/V 处理最高,分别是其他各间作处理的 1.19 ~ 2.13 倍、1.17 ~ 2.30 倍、1.02 ~ 2.08 倍和 1.75 ~ 3.13 倍,根部养分积累量和地上部趋势类似。

从返青期到盛花期,各间作处理中紫云英地上部氮、磷和钾积累量增量最大的均为 IRd3/V 处理,碳积累量增量最大的为 IRd1/V 处理;根部各养分积累量增量最大的均为 IRd1/V 处理。

2.3 紫云英与不同密度油菜间作模式的土地生产力和种间竞争能力

计算种间竞争能力发现,不同密度油菜与紫云英间作,低密度油菜间作(10 万株/hm², IRd1/V)时 Arv 为 -0.67,小于0,密度增加后 Arv 均大于0(表7)。表明油菜密度在20 万株/hm² 及以上的播种密度下,油菜的竞争能力强于紫云英,油菜是优势作物,紫云英处于劣势,随着油菜播种密度增加,其竞争能力也随之增强,当油菜密度为40 万株/hm² 时,油菜的竞争能力达到最大。

不同密度油菜与紫云英间作处理中油菜的偏土地当量比(PLER)均大于2/3(油菜/间作系统中油菜净占面积与间作总面积之比),说明油菜间作比单作有优势,且随着油菜播种密度增加而增加。间作体系中除了处理 IRd4/V(油菜密度40 万株/hm²)的紫云英 PLER 小于1/3(油菜/间作系统中紫云英净占面积与间作总面积之比),表现出间作劣势,不同密度油菜与紫云英间作处理 PLER 均大于1/3,紫云英表现出比单作有优势。不同密度油菜与紫云英间作体系的 LER 无显著差异,均明显大于1,表明油菜、紫云英间作的产量优势总体大于单作,明显提高了土地利用效率。

表7 油菜相对于间作紫云英的竞争能力、偏土地当量比和土地当量比
Table 7 Aggressivity (Arv) of rape relative to Chinese milk vetch and land equivalent ratio (LER) and partial land equivalent ratio (PLER) in rape/milk vetch intercropping system

处理 Treatment	油菜竞争能力 Arv	偏土地当量比 PLER		土地当量比 LER
		油菜 Rape	紫云英 Chinese milk vetch	
IRd1/V	-0.67 c	0.78 b	0.61 a	1.39 a
IRd2/V	0.10 b	0.91 ab	0.42 ab	1.33 a
IRd3/V	0.35 b	0.96 a	0.36 b	1.32 a
IRd4/V	0.75 a	1.02 a	0.26 b	1.28 a

3 讨论

紫云英与密度为20 万~40 万株/hm² 油菜间作,间作系统中油菜、紫云英的农艺性状和产量显著高于或接近于单作。间套种植技术能够提高光、热、肥等资源利用率,防止病虫害发生,增加农业生产系统的生产力和稳定性,促进农作物高产、高效和持续增产^[17]。肖靖秀^[2]在油菜与蚕豆的间作试验中指

出,二者的生物学产量和经济产量均有显著提高。本研究利用1/3 的土地种植紫云英、2/3 土地种植油菜的间作模式,除了间作油菜密度最低的10 万株/hm² 菜籽产量和茎秆产量显著低于单作油菜外,间作油菜20 万~40 万株/hm² 产量与MR 均无显著差异。间作油菜农艺性状(株高、根长、根颈粗、单株鲜重)一般均显著高于或接近于单作油菜。相同种植面积下间作不同密度油菜的紫云英鲜草产量均高于紫云英单作,其中油菜密度10 万株/hm²,紫云英大幅增产,与 Lesoing 和 Franeis^[18]报道的间作中豆科作物生长会受到抑制,产量下降的结论不同。可见紫云英与密度为20 万~40 万株/hm² 油菜间作,在保持油菜产量不降低的同时,可以增收一定量的紫云英绿肥。

紫云英间作不同密度油菜各处理不同生育期养分含量均有高于或接近于油菜单作(MR)的趋势。种植面积相同,间作紫云英各处理氮、磷、钾和碳积累量均高于油菜单作。合理的间作系统养分积累量明显高于相应单作,间作优势的作物生态基础主要有两个方面,一是地上部光、热资源的充分利用,二是地下部水分和养分资源的充分利用^[19,20]。紫云英是豆科植物,可以通过生物固氮来固定空气中游离的氮素增加土壤有效氮含量,油菜可吸收利用部分氮素,从而促进生长。油菜根系的分泌物可活化土壤磷、钾,亦可为紫云英提供部分养分,从而提高油菜和紫云英的生物学产量和籽粒产量。油菜是直根系,紫云英为须根系,二者合理间作能更充分地利用土壤的营养资源。

油菜/紫云英间作系统中表现土地资源利用优势,即土地利用当量比(LER)均大于1,说明油菜与紫云英间作能更充分地利用土地资源。两种作物的竞争中,当油菜密度为10 万株/hm² 时,紫云英处于优势,而油菜处于劣势。油菜密度为20 万~40 万株/hm² 时,油菜处于优势,而紫云英处于劣势,所以油菜适宜的种植密度是获得高产的前提。

紫云英间作密度为10 万~40 万株/hm² 的油菜,油菜单株角果数随着油菜密度的增加呈减小趋势。油菜密度相同时,间作紫云英能有效提高油菜的有效角果数,此结论与吴社兰等^[21]对油菜与紫云英混作试验研究的结论相一致。油菜产量随油菜密度的增加而增加,油菜密度40 万株/hm² 时,油菜单株角果数明显下降,原因在于密度增加到一定限度,个体营养面积减小,个体与群体之间的矛盾加大,个体营养生长和生殖生长状况下降,弱株率提高,单株角果数急剧减小导致总角果数减少,从而造成产量

没有大幅提高^[22]。说明油菜播种密度适宜才能获得高产。

油菜间作紫云英既能获得油菜的高产,又能改善绿肥种植面积逐渐减小的境况,缓解绿肥与油菜争地的矛盾,绿肥作物更好地服务主作物,进一步提升农业生产可持续性,也为农作物多样性种植提供了新的技术选择。

参考文献:

- [1] 赵秉强,李凤超,王成超.我国间套作持续健康发展之对策[J].耕作与栽培,1997,15(1):2-3.
- [2] 肖靖秀,汤利,郑毅.氮肥用量对油菜//蚕豆间作系统作物产量及养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(6):1468-1473.
- [3] 李隆.间作作物种间促进和竞争作用研究[D].北京:中国农业大学,1999.
- [4] Zhang L, Spiertz J H, Zhang S, et al. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton[J]. Plant Soil, 2008, 303(1-2):55-68.
- [5] Song Y N, Zhang F S, Marschner P, et al. Community composition of ammonia-oxidizing bacteria in the rhizosphere of intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.) [J]. Biology and Fertility of Soils, 2007, 44(2):307-314.
- [6] 肖焱波,李隆,张福锁.小麦//蚕豆间作中的种间氮营养差异比较研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):396-400.
- [7] 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,2012.
- [8] 余常兵,孙建好,李隆.种间相互作用对作物生长及养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):1-8.
- [9] 吴萍,胡南河,叶爱青.种植紫云英的效益及其对土壤肥力的影响[J].安徽农业科学,2006,34(11):2466-2468.
- [10] 姜运生,杨玉爱.氮磷钾、硼水平对不同基因型油菜硼吸收及某些生物学性状的影响[J].应用生态学报,2001,12(2):213-217.
- [11] 李中栋.江西省油菜与紫云英间作、混播的经验[J].农业科学通讯,1957(7):382-384.
- [12] 周可金,邢君,博毓红,等.油菜与紫云英间混作系统的生理生态效应[J].应用生态学报,2005,16(8):1477-1481.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2005.263-271.
- [14] Trenbath B R, Francis C A. Resource use by intercrops. Multiple cropping systems[M]. New York: Macmillan Publishing Co, 1986. 57-81.
- [15] Vandermeer J H. The ecology of intercropping[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [16] Willey R W. Intercropping its importance and research needs. Part I, Competition and yield advantage[J]. Field Crops Abstract, 1979, 32:1-10.
- [17] 卢良恕.挖掘资源潜力发展立体农业[J].耕作与栽培,1990(5):1-5.
- [18] Lesoing G W, Francis C A. Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean[J]. Agronomy Journal, 1999, 91: 807-813.
- [19] 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.
- [20] 王秋杰,曹一平,张福锁,等.间套作研究中的统计分析方法[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):176-182.
- [21] 吴社兰,周可金.油菜与紫云英混作系统的密度效应研究[J].作物杂志,2008(2):57-60.
- [22] 杨安中,段素梅.移栽密度对沿淮地区稻茬免耕油菜生长及产量的影响[J].河南农业科学,2011,40(9):52-54.

(责任编辑:郭学兰)