

适应贵州黄壤生长的氮高效油菜品种筛选

魏全全^{1,2}, 饶勇¹, 张萌², 杨斌¹, 高英³, 曾令琴⁴, 凡迪⁵, 冯文豪⁵, 肖华贵^{1*}

(1. 贵州省农业科学院油料研究所, 贵州 贵阳, 550006;

2. 贵州省农业科学院土壤肥料研究所, 贵州 贵阳, 550006;

3. 贵州省毕节市黔西县农业农村局, 贵州 黔西, 551500;

4. 贵州省遵义市播州区农业农村局, 贵州 遵义, 563100;

5. 贵州省农作物技术推广总站, 贵州 贵阳, 550001)

摘要:为筛选适宜贵州黄壤水旱轮作和旱地轮作种植的氮高效冬油菜品种, 2018–2019年在贵州省遵义市播州区和毕节市黔西县开展田间试验, 以26个不同的冬油菜品种为材料, 设置4个氮素水平(0、45、135和180 kg/hm²), 探讨品种间在生长、养分吸收及利用效率上的差异。结果发现, 两种轮作种植情况下, 所有品种的产量随施氮量的增加而增加, 在施氮180 kg/hm²时, 旱地轮作的产量、产值和经济效益以德油杂11号最优, 分别达到3130 kg/hm²、15 650元/hm²和9998元/hm², 水旱轮作的产量、产值和经济效益也以德油杂11号最优, 分别达到2767 kg/hm²、13 835元/hm²和8183元/hm²。生物量也以德油杂11号最大。旱地轮作种植冬油菜, 氮素农学效率随施氮量增加呈先增加后降低的趋势, 在135 kg/hm²时达到最大值; 各品种氮素偏生产力随施氮量增加而降低; 氮素吸收效率也随着施氮量的增加而降低。旱地轮作种植冬油菜, 产量、养分吸收和氮素利用效率均优于水旱轮作种植。推荐德油杂11号、黔油早2号、龙庭1号、庆油1号、金油8号、庆油3号、金农油1号、黔油早1号为较适宜的旱地种植品种, 德油杂11号、黔油28号、广源68、庆油3号、华龙油1号、龙庭1号、庆油1号、渝油28为较适宜水旱轮作种植的品种; 并认为冬油菜的氮肥管理应该根据轮作模式做调整。

关键词: 贵州; 黄壤; 氮高效; 油菜; 品种; 筛选

中图分类号: S551

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2021)06-0982-14

Screening of nitrogen efficient winter rapeseed varieties for growing in yellow soil in Guizhou Province

WEI Quan-quan^{1,2}, RAO Yong¹, ZHANG Meng², YANG Bin¹, GAO Ying³, ZENG Ling-qin⁴, FAN Di⁵,
FENG Wen-hao⁵, XIAO Hua-gui^{1*}

(1. Institute of Oil Crops, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China; 2. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006; 3. Agricultural and Rural Bureau of Qianxi County, Qianxi 551500, China; 4. Agricultural and Rural Bureau of Bozhou District, Zunyi 563100, China; 5. Guizhou Provincial Crop Technology Extension Station, Guiyang 550001, China)

Abstract: In order to identify high nitrogen efficiency winter rapeseed for both paddy-dryland rotation and dryland rotation planting in yellow soil in Guizhou Province, field experiment was conducted on growth, nutrient absorption and utilization efficiency of different rapeseed varieties under 4 nitrogen application rates (0, 45, 135 and 180 kg/hm², named as N0, N45, N135 and N180 respectively) using 26 varieties. Results showed that yield of all tested varieties increased with nitrogen application rates. Under N180 treatment, Deyouza 11 had the highest yield, output value and economic benefit under dryland rotation. Its yield, output value and economic benefit reached 3130 kg/hm², 15 650 yuan/hm² and 9998 yuan/hm². And Deyouza 11 also had the highest yield, output value and economic benefit under paddy-dryland rotation, reached 2767 kg/hm², 13 835 yuan/hm² and 8183 yuan/hm², respectively. Deyouza 11 also had the largest biomass in both dryland rotation and paddy-dryland rotation. Nitrogen agronomic

收稿日期: 2020-09-23

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0200903); 国家油菜产业技术体系(CARS-12); 贵州省人才基地建设项目(RCJD2018-14)

作者简介: 魏全全(1987–), 男, 山东济宁人, 硕士, 助理研究员, 主要从事作物营养与现代施肥技术研究, E-mail: weiquan0725@163.com

* 通讯作者: 肖华贵(1973–), 男, 贵州毕节人, 博士, 研究员, 主要从事油菜遗传育种研究, E-mail: xiaohuagui74@21cn.com

efficiency in dry field planting increased firstly, and then decreased with nitrogen application rate, and reached the peak value in N135 treatment. Partial nitrogen productivity and uptake efficiency of all tested varieties decreased with nitrogen application rate. Compare to paddy-dryland rotation, rapeseed yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiency in dryland rotation were much higher. The nitrogen agronomic efficient of winter rapeseed in dry field planting increased firstly, and then decreased with the increase of nitrogen application rate, and reached the maximum value in N135 treatment. Under different nitrogen application conditions, partial nitrogen productivity and nitrogen absorption rate of all tested winter rapeseed varieties decreased with the increase of nitrogen application rate. The yield, nutrient uptake and nitrogen use efficiency of winter rapeseed planted in dryland rotation were better than those in paddy-dryland rotation. Considering the yield, economic benefit and nutrientnitrogen uptake and utilization, 8 varieties were recommended for dryland rotation, including Deyouza 11, Qianyouzao 2, Longting 1, Qingyou 1, Jinyou 8, Qingyou 3, Jinnongyou 1 and Qianyouzao 1. And 8 varieties were recommended for paddy-dryland rotation, including Deyouza 11, Qianyou 28, Guangyuan 68, Qingyou 3, Hualongyou 1, Longting 1, Qingyou 1 and Rongyou 28. It was suggested that nitrogen management of winter rapeseed should be adjusted according to rotation patterns.

Key words: Guizhou Province; yellow soil; nitrogen efficient; winter rapeseed; varieties; screening

冬油菜是我国重要的油料作物^[1],也是贵州省重要的油料作物,贵州省冬油菜常年种植面积在49.3万公顷以上。发展冬油菜生产对维持国家粮油安全和促进我国经济发展均有重大意义。氮素是冬油菜重要限制养分和影响产量的关键因子^[2-6],同时又是农田生态环境的重要污染因子^[7],合理施用氮肥是保障油菜生产、养分高效和环境友好的重要措施^[8]。黄壤作为贵州省喀斯特山区主要的农业土壤类型,面积分别占贵州土壤面积和我国黄壤面积的46.4%和25.3%^[9]。贵州喀斯特山区黄壤质地黏重,比水容量小,且酸性较强,养分含量尤其是土壤有效氮素含量较低,且容易发生水土流失,保水保肥能力相对较弱^[10],因此筛选出适合贵州黄壤的氮高效油菜品种是贵州喀斯特山区冬油菜产业可持续发展的关键,同时可进一步降低农田氮肥施用量,更好地满足国家化肥减施的战略需求。凡迪等^[11]通过田间试验,筛选出适合印江县直播的油菜品种浙油50、德润油188、油研早18、湘杂油553、黔油18号、中油杂19;原小燕等^[12]试验得出,云油杂12号、渝油55、宜早油一号可作为适宜机收的云南早熟油菜新品种;周发瑞等^[13]的研究结果表明,德恒油777、庆油3号、春喜1402、兴奥油478和恒禾油001可作为四川两个生态区“稻油轮作+轻简化栽培”的冬油菜优势品种;张毅^[14]的研究表明,长江下游种植德徽油88和中油600丰产性好,稳产性较好。我国冬油菜品种资源较为丰富,贵州喀斯特黄壤山区冬油菜品种较多且产量参差不齐^[15],同时水田和旱地在贵州地区分布相对平均,选择氮高效的冬油菜品

种,不仅能提高氮素利用效率,同时可以减少农田氮肥施用量,更好地满足国家化肥“零”增长(两减一增)的科学战略要求^[16]。本研究通过选取26个贵州喀斯特黄壤普遍种植冬油菜品种,分别在黄壤水旱轮作区和旱旱轮作区,探讨不同氮肥用量对冬油菜生长、养分吸收及利用的影响,明确适宜贵州黄壤水旱轮作和旱地轮作的氮高效冬油菜品种,为贵州黄壤区氮高效冬油菜的推广种植提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于2018年10月至2019年5月在分别在在水旱轮作和旱地轮作进行,其中水旱轮作位于贵州省遵义市播州区茅栗镇,旱地轮作位于贵州省毕节市黔西县洪水镇。茅栗镇属亚热带季风湿润温和型气候,试验期间年平均气温14.9℃、平均降雨量1035.7 mm;洪水镇属亚热带季风气候,试验期间年平均气温13.7℃、平均降雨量997.3 mm。试验田块土壤为贵州典型黄壤(表1)。

1.2 试验材料与设计

供试油菜品种共26个(表2)。供试肥料品种为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(P_2O_5 12%)、硫酸钾(含 K_2O 50%)和硼砂(含B 11%)。

氮肥共设4个处理,即4个氮肥梯度水平,分别为0(0% N)、45(25% N)、135(75% N)、180(100% N) kg/hm²,分别用N0、N45、N135和N180表示。小区面积为15 m²(7.5 m×2 m),3次重复,随机区组排列。整个生育期内其它肥料施用量均保持一致,分

别为 P_2O_5 90 kg/hm²、 K_2O 120 kg/hm²、硼砂 15 kg/hm²。试验的其它田间生产管理均采用当地农业技术推广部门的推荐技术。

水旱轮作前季作物为水稻,后季冬油菜于2018年10月18日直播,11月20日间苗,间苗密度为7000株/hm²,2019年5月13日统一收获。

旱地轮作前季作物为玉米,后季冬油菜于2018年10月15日直播,11月25日间苗,间苗密度为7000株/hm²,2019年5月15日统一收获。

1.3 测定与调查项目

生物量的测定:于冬油菜成熟期,每小区选取生长状况一致,具有代表性冬油菜4株,105℃下杀青30 min,60℃烘箱中烘至恒重,记录干重,依次折算地上部生物量。

植株养分的测定:取上述时期有代表性植株,105℃下杀青30 min,60℃烘箱烘至恒重,分茎秆、角壳和籽粒,磨碎,浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化,稀释,利用AA3流动注射分析仪进行测定 $N^{[17]}$ 。

冬油菜产量的测定:冬油菜收获时,各个小区油菜籽实收实打。油菜籽风干至恒重,换算含水量,并折合总重。

1.4 相关参数计算方法^[18~20]

地上部生物量(kg/hm²)=籽粒产量+角壳产量+秸秆产量

氮素累积量(kg/hm²)=籽粒产量×籽粒含氮量+角壳产量×角壳含氮量+秸秆产量×秸秆氮含量

氮素农学效率 AE_N (kg/kg)=(施氮区产量-对照区产量)/施氮量

氮素偏生产力 PEP_N (kg/kg)=施氮区产量/施氮量

氮素吸收利用效率 RE_N (%)=(施氮区氮素总吸收量-对照区氮素总吸收量)/施氮量×100%

1.5 数据处理与分析

数据处理与分析采用 Microsoft Excel 2003 及 SPSS17.0 进行,LSD 法检验 $P<0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同油菜品种的氮肥产量效应

不同品种冬油菜在不同氮肥处理下的产量不同。在旱地轮作(表3)种植情况下,所有供试冬油菜品种随施氮量的增加,产量均呈现增加的趋势,且在N180达到最大值,说明在180 kg/hm²的油菜产量高于其它施肥量,在一定氮肥施用量前提下,施肥量越高,其产量越高;当施肥量相同时,不同冬油菜品种的产量不同,在N180条件下,以德油杂11号最大,达到3130 kg/hm²,高于其它冬油菜品种92~1219 kg/hm²,卓油11号产量最低,仅为1911 kg/hm²。

表1 供试土壤的理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of soil in the experimental sites

试验地 Site	pH	全氮 / (g/kg) Total nitrogen	有机质 / (g/kg) Organic matter	有效磷 / (mg/kg) Available phosphorus	速效钾 / (mg/kg) Available potassium
播州 Bozhou	6.0	1.08	22.08	12.8.	122.1
毕节 Bijie	6.5	1.21	23.55	13.15	118.3

表2 供试不同冬油菜品种种类

Table 2 Different varieties of winter rapeseed

序号 Code	品种 Variety	序号 Code	品种 Variety	序号 Code	品种 Variety
1	黔油早1号 Qianyouzao 1	10	庆油3号 Qingyou 3	19	卓油11号 Zhuoyou 11
2	黔油早2号 Qianyouzao 2	11	龙庭1号 Longting 1	20	金农油1号 Jinnongyou 1
3	黔油18号 Qianyou 18	12	华油杂13 Huayouza 13	21	蓉油15 Rongyou 15
4	黔油28号 Qianyou 28	13	恒禾001 Henghe 001	22	油研50 Youyan 50
5	黔油29号 Qianyou 29	14	米米多 Mimiduo	23	油研57 Youyan 57
6	黔油30号 Qianyou 30	15	金油8号 Jinyou 8	24	金矮油2号 Jinaiyou 2
7	福油508 Fuyou 508	16	新宇油7号 Xinyuyou 7	25	德油杂11号 Deyouza 11
8	渝油28 Yuyou 28	17	广源68 Guangyuan 68	26	臻油89 Zhenyou 89
9	庆油1号 Qingyou 1	18	华龙油1号 Hualongyou 1		

在水旱轮作(表4)种植情况下,所有供试冬油菜品种随施氮量的增加,产量均呈现增加的趋势,且在N180达到最大值,说明在180 kg/hm²的冬油菜产量高于其它施肥量;在N180条件下,以德油杂11号最大,达到2767 kg/hm²,高于其它冬油菜品种87~817 kg/hm²,新宇油7号产量最低,为1950 kg/hm²。总体来看,在施氮量相同的情况下,旱地轮作种植情况下的冬油菜产量高于水旱轮作种植。

表3 旱地不同处理不同油菜品种的产量、产值及经济效益

Table 3 Yield, output value and economic benefit of different rapeseed varieties under different treatments in dry field

品种 Variety	N0			N45			N135			N180		
	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit
黔油早1号 Qianyouzao 1	1286 j	6430	1138	1568 m	7840	2458	2522 i	12610	7048	2752 efgh	13760	8108
黔油早2号 Qianyouzao 2	1305 ij	6525	1233	1650 j	8250	2868	2822 b	14110	8548	3038 ab	15190	9538
黔油18号 Qianyou 18	1369 fghi	6845	1553	1779 ghi	8895	3513	2444 jk	12220	6658	2674 hi	13370	7718
黔油28号 Qianyou 28	1433 def	7165	1873	1635 jkl	8175	2793	2608 fgh	13040	7478	2854 defg	14270	8618
黔油29号 Qianyou 29	1406 defg	7030	1738	1756 hi	8780	3398	2533 hi	12665	7103	2750 efgh	13750	8098
黔油30号 Qianyou 30	1324 hij	6620	1328	1642 jk	8210	2828	2322 l	11610	6048	2568 i	12840	7188
福油508 Fuyou 508	1443 cdef	7215	1923	1880 cd	9400	4018	2565 hi	12825	7263	2814 defgh	14070	8418
渝油28 Yuyou 28	1324 hij	6620	1328	1658 j	8290	2908	2428 k	12140	6578	2732 fgh	13660	8008
庆油1号 Qingyou 1	1514 bc	7570	2278	1944 b	9720	4338	2772 bc	13860	8298	2977 abcd	14885	9233
庆油3号 Qingyou 3	1280 j	6400	1108	1600 klm	8000	2618	2683 def	13415	7853	2888 bcdef	14440	8788
龙庭1号 Longting 1	1414 defg	7070	1778	1856 de	9280	3898	2801 b	14005	8443	3023 abc	15115	9463
华油杂13 Huayouza 13	1342 ghij	6710	1418	1754 i	8770	3388	2544 hi	12720	7158	2718 ghi	13590	7938
恒禾001 Henghe 001	1341 ghij	6705	1413	1814 efg	9070	3688	2653 efg	13265	7703	2884 bcdef	14420	8768
米米多 Mimiduo	1514 bc	7570	2278	1841 def	9205	3823	2550 hi	12750	7188	2826 defgh	14130	8478
金油8号 Jinyou 8	1451 cde	7255	1963	1799 hi	8995	3613	2697 hi	13485	7923	2902 bcd	14510	8858
新宇油7号 Xinyuyou 7	1396 efgh	6980	1688	1668 j	8340	2958	2583 ghi	12915	7353	2765 efgh	13825	8173
广源68 Guangyuan 68	1440 def	7200	1908	1844 de	9220	3838	2538 hi	12690	7128	2793 efgh	13965	8313
华龙油1号 Hualongou 1	1641 a	8205	2913	1984 ab	9920	4538	2752 bcd	13760	8198	2961 bcd	14805	9153
卓油11号 Zhuoyou 11	992 k	4960	-332	1327 o	6635	1253	1670 o	8350	2788	1911 k	9555	3903
金农油1号 Jinnongyou 1	1308 ij	6540	1248	1601 klm	8005	2623	2600 gh	13000	7438	2870 cdefg	14350	8698

续表

品种 Variety	N0			N45			N135			N180		
	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit
蓉油 15	1477			1773			2657			2898		
Rongyou 15	bcd	7385	2093	ghi	8865	3483	efg	13285	7723	bcd	14490	8838
油研 50	1448			1580			2510			2749		
Youyan 50	cde	7240	1948	m	7900	2518	ij	12550	6988	efgh	13745	8093
油研 57	1270			1593			2009			2251		
Youyan 57	j	6350	1058	lm	7965	2583	m	10045	4483	j	11255	5603
金矮油 2 号	1287			1465			1923			2171		
Jinaiyou 2	j	6435	1143	n	7325	1943	n	9615	4053	j	10855	5203
德油杂 11 号	1641			1988			2911			3130		
Deyouza 11	a	8205	2913	a	9940	4558	a	14555	8993	a	15650	9998
臻油 89	1541			1900			2400			2674		
Zhenyou 89	b	7705	2413	c	9500	4118	k	12000	6438	hi	13370	7718

注:产量为 kg/hm²;产值和经济效益为元/hm²;经济效益计算按 2019 年尿素 2.0 元/kg、过磷酸钙 0.8 元/kg、硫酸钾 3.0 元/kg、农药 360 元/hm²、其它农事 4500 元/hm²计;同列不同的小写字母表示达到 5% 上的差异显著水平。下同

Note: Yield in kg/hm²; Output and economic benefit in yuan/hm²; The economic benefits are calculated as follows: urea 2.0 yuan/kg, superphosphate 0.8 yuan/kg, potassium sulfate 3.0 yuan/kg, pesticide 360 yuan/hm², and other farming 4500 yuan/hm² in 2019. Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level

表 4 水旱轮作下不同处理油菜品种的产量、产值及经济效益

Table 4 Yield, output value and economic benefit of rapeseeds under different treatments in paddy-dryland rotation

品种 Variety	N0			N45			N135			N180		
	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit
黔油早 1 号	1384			1654			2133			2485		
Qianyouzao 1	efg	6920	1628	de	8270	2888	jklm	10665	5103	defg	12425	6773
黔油早 2 号	1405			1611			2109			2449		
Qianyouzao 2	ef	7025	1733	efg	8055	2673	klm	10545	4983	efgh	12245	6593
黔油 18 号	1075			1386			1902			2152		
Qianyou 18	klm	5375	83	j	6930	1548	n	9510	3948	j	10760	5108
黔油 28 号	920			1433			2500			2660		
Qianyou 28	m	4600	-692	ij	7165	1783	b	12500	6938	abc	13300	7648
黔油 29 号	1244			1643			2050			2411		
Qianyou 29	ghi	6220	928	def	8215	2833	mn	10250	4688	fgh	12055	6403
黔油 30 号	1113			1400			1888			2238		
Qianyou 30	ijk	5565	273	ij	7000	1618	n	9440	3878	ij	11190	5538
福油 508	1237			1573			2077			2527		
Fuyou 508	hi	6185	893	gh	7865	2483	lmn	10385	4823	cdefg	12635	6983
渝油 28	1166			1450			2078			2328		
Yuyou 28	ij	5830	538	hi	7250	1868	lmn	10390	4828	hi	11640	5988
庆油 1 号	1174			1577			2240			2511		
Qingyou 1	hij	5870	578	fgh	7885	2503	hij	11200	5638	cdefg	12555	6903
庆油 3 号	1088			1598			2455			2650		
Qingyou 3	ijkl	5440	148	efg	7990	2608	bed	12275	6713	abc	13250	7598
龙庭 1 号	1349			1649			2300			2520		
Longting 1	efgh	6745	1453	def	8245	2863	ghi	11500	5938	cdefg	12600	6948

续表												
品种 Variety	N0			N45			N135			N180		
	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit	产量 Yield	产值 Output value	经济效益 Economic benefit
华油杂 13 Huayouza 13	1347 fgh	6735	1443	1674 cd	8370	2988	2213 ijk	11065	5503	2453 efgh	12265	6613
恒禾 001 Henghe 001	1385 efg	6925	1633	1857 ab	9285	3903	2300 fgh	11500	5938	2547 bedefg	12735	7083
米米多 Mimiduo	1400 efg	7000	1708	1670 cde	8350	2968	2175 jkl	10875	5313	2407 gh	12035	6383
金油 8 号 Jinyou 8	1462 cde	7310	2018	1826 bc	9130	3748	2470 bc	12350	6788	2680 ab	13400	7748
新宇油 7 号 Xinyuyou 7	1083 kl	5415	123	1438 ij	7190	1808	1800 o	9000	3438	1950 k	9750	4098
广源 68 Guangyuan 68	1407 ef	7035	1743	1817 bc	9085	3703	2435 bcde	12175	6613	2653 abc	13265	7613
华龙油 1 号 Hualongou 1	1502 bc	7510	2218	1822 bc	9110	3728	2407 cdef	12035	6473	2613 bed	13065	7413
卓油 11 号 Zhuoyou 11	1306 fghi	6530	1238	1599 efg	7995	2613	1998 mn	9990	4428	2253 ij	11265	5613
金农油 1 号 Jinnongyou 1	1499 bc	7495	2203	1791 bed	8955	3573	2321 efgh	11605	6043	2560 bedef	12800	7148
蓉油 15 Rongyou 15	1424 def	7120	1828	1840 abc	9200	3818	2230 ij	11150	5588	2453 efgh	12265	6613
油研 50 Youyan 50	1470 cd	7350	2058	1800 bed	9000	3618	2433 cde	12165	6603	2647 abc	13235	7583
油研 57 Youyan 57	1214 hi	6070	778	1504 ghi	7520	2138	2011 mn	10055	4493	2240 ij	11200	5548
金矮油 2 号 Jinaiyou 2	1479 cd	7395	2103	1797 bed	8985	3603	2373 def	11865	6303	2587 bcde	12935	7283
德油杂 11 号 Deyouza 11	1582 a	7910	2618	1900 a	9500	4118	2571 a	12855	7293	2767 a	13835	8183
臻油 89 Zhenyou 89	1537 ab	7685	2393	1807 bc	9035	3653	2330 efg	11650	6088	2553 bedefg	12765	7113

注:同列不同的小写字母表示达到5%上的差异显著水平
Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level

产值方面,以市价 5.0 元/kg 计算,以 N180 为例,德油杂 11 号在旱地轮作和水旱轮作种植情况下的产值分别为 15 650 元/hm²和 13 835 元/hm²,分别高于其它冬油菜品种 460 ~ 6095 元/hm²和 435 ~ 4085 元/hm²,其中旱地轮作种植条件下卓油 11 号产值最低,为 9555 元/hm²,水旱轮作种植条件下新宇油 7 号产值最低,为 9750 元/hm²。

经济效益方面,除去肥料和劳动成本,以 N180 为例,德油杂 11 号在旱地轮作和水旱轮作种植情况下的产值分别为 9998 元/hm²和 8183 元/hm²,分别高于其它冬油菜品种 460 ~ 6095 元/hm²和 435 ~ 4085 元/hm²,其中旱地轮作种植条件下卓油 11 号产值最低,为 3903 元/hm²,水旱轮作种植条件下新宇油 7 号产值最低,为 4098 元/hm²。

2.2 不同冬油菜品种地上部生物量

由表 5 可知,不同冬油菜品种的地上部生物量差异较大。在旱地轮作种植情况下,所有供试冬油菜品种的地上部生物量均随施氮量的增加而增加,且在 N180 时达到最大值,说明在一定氮肥施用量的前提下,氮肥施用量越高,其地上部生物量越大;当施氮量相同时,不同冬油菜品种地上部生物量不同,在 N180 条件下,德油杂 11 号的生物量最大,为 11 759 kg/hm²,高于其它冬油菜品种 32 ~ 4290 kg/hm²,卓油 11 号地上部生物量最低,仅为 7469 kg/hm²。在水旱轮作种植情况下,与旱地种植条件相似,所有供试冬油菜品种的地上部生物量均随施氮量的增加而增加,同样在 N180 达到最大值;当施氮量相同时,不同冬油菜品种地上部生物量不同,以

在N180处理条件下,以德油杂11号最大,为10 958 kg/hm²,高于其它冬油菜品种445~3400 kg/hm²,新宇油7号地上部生物量最低,仅为7558 kg/hm²。在施

氮量相同的情况下,旱地轮作种植冬油菜地上部生物量高于水旱轮作种植冬油菜。

表5 不同冬油菜品种的地上部生物量

Table 5 Aboveground biomass of different winter rapeseed varieties /(kg/hm²)

品种 Variety	旱地 Dry field				水田 Paddy field			
	N0	N45	N135	N180	N0	N45	N135	N180
黔油早1号 Qianyouzao 1	4616 f	6117 cdef	9020 gh	10188 abc	4854 cdef	6123 defg	7970 cdefg	9544 cde
黔油早2号 Qianyouzao 2	4814 def	6183 cdef	10069 bcde	11481 ab	4919 cdef	6088 defg	8171 bcdef	9572 cde
黔油18号 Qianyou 18	5019 cdef	6576 abcde	9128 fgh	10380 abc	3845 hi	5380 ij	7521 defg	8613 efg
黔油28号 Qianyou 28	5303 abcdef	6337 cdef	9819 bcdefg	10932 ab	3331 i	5489 hij	9668 a	10377 abc
黔油29号 Qianyou 29	5120 bcdef	6958 abcd	9757 bcdefg	10165 abc	4449 efgh	6005 defgh	7562 defg	9035 def
黔油30号 Qianyou 30	4918 cdef	6197 cdef	8724 h	9954 abc	3971 ghi	5086 j	6921 fg	8273 fg
福油508 Fuyou 508	5245 abcdef	6960 abcd	9481 cdefgh	10402 abc	4454 efgh	5987 efgh	7981 cdefg	9795 bede
渝油28 Yuyou 28	4804 def	6266 cdef	9411 defgh	10590 ab	4285 fgh	5596 ghij	8162 bcdef	9225 cdef
庆油1号 Qingyou 1	5415 abcdef	7546 ab	10338 abc	11727 a	4242 fgh	5804 fghi	8320 abcdef	9476 cdef
庆油3号 Qingyou 3	4635 f	6128 cdef	9734 bcdefg	10583 ab	3928 hi	5856 fghi	9079 abc	9883 abcd
龙庭1号 Longting 1	5057 bcdef	6784 abcde	10359 abc	11274 ab	4811 cdefg	5881 fghi	8277 abcdef	9143 cdef
华油杂13 Huayouza 13	4845 cdef	6427 bcdef	9155 fgh	9861 abc	4948 bcdef	6507 bcde	8653 abcde	9715 bcde
恒禾001 Henghe 001	4783 def	6470 bcdef	10374 ab	11422 ab	5061 bcdef	6851 bc	8545 abcde	9542 cde
米米多 Mimiduo	5625 abcde	6897 abcd	9971 bcdef	10854 ab	5183 abcde	6035 defgh	8600 abcde	9020 defg
金油8号 Jinyou 8	5411 abcdef	7129 abc	10058 bcde	11342 ab	5525 abcd	6592 bcd	9552 ab	9907 abcd
新宇油7号 Xinyuyou 7	5065 bcdef	6112 cdef	9371 efgh	11066 ab	4204 fgh	5129 j	6640 g	7558 g
广源68 Guangyuan 68	5703 abc	6577 abcde	10052 bcde	10896 ab	5032 bcdef	6727 bc	9564 ab	10513 ab
华龙油1号 Hualongou 1	5924 ab	7673 a	10283 abcd	11372 ab	5359 abcd	6886 b	8940 abcd	9861 abcd
卓油11号 Zhuoyou 11	3538 g	4895 g	6470 j	7469 d	4878 cdef	6207 cdef	7389 efg	8653 defg
金农油1号 Jinnongyou 1	4842 cdef	6288 cdef	10280 abcd	11487 ab	5644 abc	6860 b	8353 abcdef	10006 abcd
蓉油15 Rongyou 15	5582 abcde	6585 abcde	10275 abcd	11306 ab	5485 abcd	6802 bc	8243 abcdef	9818 bcde
油研50 Youyan 50	5621 abcde	5843 defg	9258 efgh	10301 abc	5523 abcd	6977 ab	9431 ab	10326 abc

续表

品种 Variety	旱地 Dry field				水田 Paddy field			
	N0	N45	N135	N180	N0	N45	N135	N180
油研 57	4864	5733	7787	8475	4685	5609	7969	8354
Youyan 57	cdef	efg	i	cd	defgh	ghij	cdefg	fg
金矮油 2 号	4757	5415	7620	8363	5443	6520	8696	9386
Jinaiyou 2	ef	fg	i	cd	abcd	bcde	abcde	cdef
德油杂 11 号	6039	7213	10986	11759	5797	7525	9170	10958
Deyouza 11	a	abc	a	a	ab	a	abc	a
臻油 89	5647	7525	9505	9537	6010	6770	9057	9565
Zhenyou 89	abcd	ab	bcdefgh	bcd	a	bc	abc	cde

注:同列不同的小写字母表示达到5%上的差异显著水平
Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level

2.3 不同冬油菜品种氮素累积量

不同施氮量条件下不同冬油菜品种的氮素累积量不同(表6)。在旱地轮作种植条件下,随着施氮量的增加,所有冬油菜品种氮素累积量均呈现增加的趋势,且在N180处理达到最大值,说明增加氮肥施用量能促进冬油菜对氮素的吸收;当施氮量相同时,不同冬油菜品种氮素累积量不同,在N180条件下,德油杂11号氮素累积量为115.51 kg/hm²,高于其它冬油菜品种0.64~37.38 kg/hm²,卓油11号氮素累积量最低,仅为78.13 kg/hm²。在水旱轮作

种植条件下,不同冬油菜氮素累积量与旱地种植条件相似,均呈现随施氮量的增加,氮素累积量呈显著增加的趋势,同样在N180时达到最大值;当施氮量相同时,不同冬油菜品种氮素累积量不同,在N180条件下,德油杂11号氮素累积量最大,达到108.09 kg/hm²,高于其它冬油菜品种0.48~26.47 kg/hm²,新宇油7号氮素累积量最低,为81.62 kg/hm²。在施氮量相同的情况下,旱地轮作种植冬油菜氮素累积量高于水旱轮作种植冬油菜。

表6 不同冬油菜品种的氮素累积量
Table 6 Nitrogen accumulation of different winter rapeseed varieties /(kg/hm²)

品种 Variety	旱地 Dry field				水田 Paddy field			
	N0	N45	N135	N180	N0	N45	N135	N180
黔油早 1 号	51.82	68.99	92.82	107.61	53.93	68.59	85.77	97.39
Qianyouzao 1	j	efgh	bcde	cdefg	fghij	defghij	ghij	bcde
黔油早 2 号	58.02	74.52	99.26	113.99	57.06	69.77	82.37	97.49
Qianyouzao 2	efgh	cdefgh	abcd	abc	bcdefghi	cdefghij	hijk	bcde
黔油 18 号	59.22	77.59	101.42	108.26	44.61	63.28	89.55	87.35
Qianyou 18	defgh	bcdefg	abcd	cdefg	jkl	ijk	defgh	def
黔油 28 号	62.65	71.21	102.72	111.12	37.23	60.82	98.48	105.47
Qianyou 28	bcde	cdefgh	abcd	bcdefg	l	jk	abc	abc
黔油 29 号	57.63	71.18	106.58	104.19	50.26	74.22	77.21	96.54
Qianyou 29	efgh	cdefgh	ab	fg	hijk	bcdefgh	klm	bcde
黔油 30 号	56.55	77.63	89.22	101.63	44.88	63.71	70.79	84.43
Qianyou 30	ghij	bcdefg	de	g	jkl	hijk	m	f
福油 508	61.97	88.67	95.04	106.80	52.44	76.27	80.00	98.78
Fuyou 508	cdefg	ab	bcde	efg	ghijk	abcdefgh	jkl	bcd
渝油 28	60.35	74.63	98.45	108.75	48.04	66.65	85.38	94.43
Yuyou 28	defgh	cdefgh	abcd	cdefg	hijk	fghij	ghijk	cdef
庆油 1 号	59.25	88.86	102.92	111.23	47.80	70.65	90.88	99.48
Qingyou 1	defg	ab	abcd	abcdef	ijk	bcdefgh	cdefg	bcd
庆油 3 号	51.77	70.23	98.73	104.33	44.27	71.96	92.64	106.88
Qingyou 3	ij	defgh	abcd	fg	kl	bcdefghi	bcdefg	ab
龙庭 1 号	58.83	79.78	106.73	113.25	54.39	66.48	85.08	105.72
Longting 1	defgh	bcde	abcd	abcd	efghi	fghij	ghijk	abc

续表

品种 Variety	旱地 Dry field				水田 Paddy field			
	N0	N45	N135	N180	N0	N45	N135	N180
华油杂 13	57.24	72.60	100.81	103.16	55.54	69.79	91.50	99.58
Huayouza 13	efghi	cdefgh	ab	fg	defghi	cdefghi	cdefg	bcd
恒禾 001	59.14	73.13	98.51	110.76	56.87	82.94	93.28	97.04
Henghe 001	efgh	cdefgh	abcd	cdefg	bcdefghi	ab	bcdefg	bede
米米多	67.79	83.74	102.40	112.54	62.26	68.00	88.50	96.38
Mimiduo	ab	abc	abcd	abcdef	abcd	efghij	efghi	cdef
金油 8 号	62.85	82.93	103.63	114.87	60.00	80.22	94.17	104.43
Jinyou 8	abcd	abcd	abc	ab	abcd	abcde	abcdef	abc
新宇油 7 号	56.91	72.21	95.81	107.62	49.44	57.98	73.77	81.62
Xinyuyou 7	fghi	cdefgh	abcd	defg	hijk	k	lm	g
广源 68	59.01	79.95	98.89	110.02	56.84	80.80	100.05	107.61
Guangyuan 68	defgh	bede	abcd	bcdefg	bcdefghi	abcd	ab	a
华龙油 1 号	63.30	78.45	103.35	113.23	58.24	78.91	97.66	105.17
Hualongou 1	abc	bcdef	abc	abcde	abcdefg	abcdefg	abcd	abc
卓油 11 号	42.14	56.10	66.23	78.13	57.43	73.00	81.57	86.85
Zhuoyou 11	k	i	f	h	bcdefgh	bcdefghi	hijkl	def
金农油 1 号	58.95	74.97	100.93	111.93	65.24	76.01	85.85	105.92
Jinnongyou 1	defgh	cdefgh	abcd	abc	abc	abcdefgh	fghij	abc
蓉油 15	68.60	73.78	106.13	113.96	63.64	81.98	91.11	103.38
Rongyou 15	a	cdefgh	ab	abc	abcd	abc	cdefg	abcd
油研 50	62.45	65.45	99.63	105.11	58.16	82.32	101.84	103.80
Youyan 50	bcdef	ghi	abcd	fg	abcde	abc	a	abcd
油研 57	56.42	65.70	78.50	96.32	55.81	66.27	81.57	90.34
Youyan 57	ghij	fghi	ef	g	cdefghi	ghijk	hijkl	def
金矮油 2 号	55.20	63.69	90.74	104.81	66.26	73.39	80.25	99.71
Jinaiyou 2	hij	hi	cde	fg	ab	bcdefgh	ijkl	bcd
德油杂 11 号	63.16	79.92	107.90	115.51	60.09	84.65	94.48	108.09
Deyouza 11	abcd	bede	a	a	abcd	a	abcde	a
臻油 89	63.79	93.01	97.06	101.91	69.56	79.15	97.14	100.26
Zhenyou 89	abcd	a	abcd	h	a	abcdef	abcd	abcd

注: 同列不同的小写字母表示达到 5% 上的差异显著水平
Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level

2.4 不同冬油菜品种氮素利用效率

农学利用率(AE), 指单位施肥量所增加的作物籽粒产量, 是评价肥料增产效应较为准确的指标, 也是农业生产中最关心的经济指标之一; 肥料偏生产力(PEP)指单位投入的肥料所能生产作物的产量, 是反应土壤基础养分水平和化肥施用量综合效应的指标, 在一定程度上反映了生产一定产品需要付出的化肥代价, 对施肥的宏观决策有一定的指导意义。由表 7 可知, 在旱地轮作种植条件下, 不同施氮条件下, 相同冬油菜品种氮素农学效率不同, 大多数品种氮素农学效率表现为先增加后降低的趋势, 氮肥施用量从 N135 上升到 N180 时氮素农学效率有下降的趋势; 相同施氮条件下, 不同冬油菜品种氮素农学效率不同, 在 N180 条件下, 黔油早

2 号最大, 为 9.63, 高于其它处理 0.69 ~ 4.72 kg/kg, 金矮油 2 号氮素农学效率最低, 仅为 4.91 kg/kg。不同施氮条件下, 所有供试冬油菜品种氮素偏生产力随着施氮量的增加呈降低的趋势, 且在 N180 达到最小值, 表现为 N45>N135>N180; 相同施肥条件下, 不同冬油菜品种氮素偏生产力不同, 在 N180 处理条件下, 德油杂 11 号氮素偏生产力为 17.39 kg/kg, 高于其它处理 0.60 ~ 6.77 kg/kg, 卓油 11 号氮素偏生产力最低, 仅为 10.62 kg/kg。氮素吸收利用率(RE_N)方面, 大多数品种氮素吸收利用效率随施氮量的增加表现为先增加后降低的趋势; 在 N180 条件下, 不同冬油菜品种氮素吸收利用效率不同, 黔油早 2 号最大, 为 31.09%, 高于其它品种 0.29% ~ 55.53%。

表7 旱地不同冬油菜品种氮素利用效率

Table 7 Nitrogen use efficiency of different winter rapeseed varieties in dry field

品种 Variety	AE _N /(kg/kg)			PEP _N /(kg/kg)			RE _N /%		
	N45	N135	N180	N45	N135	N180	N45	N135	N180
黔油早1号	6.27	8.52	8.14	34.85	18.68	15.29	40.35	30.36	31.00
Qianyouzao 1	gh	efg	cdef	m	l	efgh	cd	abcd	a
黔油早2号	7.67	10.46	9.63	36.67	20.90	16.88	36.73	30.57	31.09
Qianyouzao 2	de	a	a	j	b	sb	cd	abcd	a
黔油18号	9.11	7.41	7.25	39.54	18.10	14.86	40.82	31.26	27.44
Qianyou 18	bc	jkl	hi	ghi	jk	hi	cd	abcd	cde
黔油28号	4.49	8.10	7.89	36.34	19.32	15.86	18.99	29.69	26.92
Qianyou 28	i	hi	defgh	jkl	fgh	defg	fg	abcd	cdef
黔油29号	7.78	7.77	7.47	39.03	18.76	15.28	30.05	36.25	25.87
Qianyou 29	de	ij	fghi	hi	hi	efgh	def	a	cdef
黔油30号	7.07	6.88	6.91	36.48	17.20	14.27	46.82	24.20	25.04
Qianyou 30	efg	m	ij	jk	l	i	bc	def	def
福油508	9.71	7.74	7.62	41.79	19.00	15.63	59.34	24.47	24.89
Fuyou 508	abc	j	efghi	cd	hi	defgh	ab	def	def
渝油28	7.42	7.61	7.82	36.84	17.99	15.18	31.76	28.24	26.90
Yuyou 28	de	jk	defgh	j	k	fgh	cdef	abcd	cdef
庆油1号	9.56	8.68	8.13	43.20	20.53	16.54	62.12	31.11	28.87
Qingyou 1	bc	de	cdef	b	bc	abcd	a	abcd	abc
庆油3号	7.11	9.68	8.93	35.56	19.87	16.04	41.02	34.79	29.21
Qingyou 3	ef	b	ab	klm	def	bcdef	cd	ab	abc
龙庭1号	9.82	9.57	8.94	41.24	20.75	16.79	46.56	35.49	30.23
Longting 1	ab	b	ab	de	b	abc	bc	ab	ab
华油杂13	9.16	8.29	7.64	38.97	18.84	15.10	34.13	32.27	25.52
Huayouza 13	bc	fgh	efghi	i	hi	ghi	cdef	abcd	cdef
恒禾001	10.51	9.05	8.57	40.30	19.65	16.02	33.34	29.91	28.68
Henghe 001	a	c	bcd	efg	efg	bcdef	def	abcd	bc
米米多	7.27	7.67	7.29	40.90	18.89	15.70	35.44	25.64	24.85
Mimiduo	def	lm	hi	def	hi	defgh	cde	cde	efg
金油8号	7.73	9.23	8.06	39.98	19.98	16.12	42.44	29.47	28.90
Jinyou 8	de	def	cdefg	hi	hi	bcde	bed	abcd	abc
新宇油7号	6.04	8.79	7.61	37.07	19.13	15.36	34.03	28.81	28.18
Xinyuyou 7	h	gh	efghi	j	ghi	efgh	cdef	abcd	bed
广源68	8.98	8.13	7.52	40.98	18.80	15.52	48.02	30.03	28.34
Guangyuan 68	c	jk	fghi	de	hi	efgh	bc	abcd	bed
华龙油1号	7.62	8.23	7.33	44.08	20.39	16.45	25.51	26.94	27.73
Hualongou 1	de	jk	ghi	ab	bed	bed	cdef	abcd	bed
卓油11号	7.44	5.02	5.11	29.49	12.37	10.62	31.04	17.86	19.99
Zhuoyou 11	de	p	k	o	o	k	def	ef	g
金农油1号	6.51	9.57	8.68	35.58	19.26	15.94	35.53	31.10	29.43
Jinnongyou 1	fgh	cd	bc	klm	gh	cdefg	cde	abcd	abc
蓉油15	6.58	8.74	7.89	39.39	19.68	16.10	11.51	27.81	25.21
Rongyou 15	fgh	h	defgh	ghi	efg	bcde	g	bed	def
油研50	2.93	7.87	7.23	35.11	18.59	15.27	6.67	27.54	23.70
Youyan 50	j	kl	hi	m	ij	efgh	g	bed	fg
油研57	7.18	5.47	5.45	35.39	14.88	12.51	20.62	16.36	22.18
Youyan 57	ef	p	k	lm	m	j	efg	f	fg
金矮油2号	3.96	4.71	4.91	32.56	14.24	12.06	18.86	26.31	27.56
Jinaiyou 2	i	o	k	n	n	j	fg	cd	cde
德油杂11号	7.71	9.41	8.27	44.18	21.56	17.39	27.59	29.94	29.09
Deyouza 11	de	cde	bcde	a	a	a	cd	abc	abc
臻油89	7.98	6.36	6.29	42.23	17.78	14.86	64.89	24.64	21.18
Zhenyou 89	d	n	j	c	k	hi	a	def	fg

注:同列不同的小写字母表示达到5%上的差异显著水平

Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level

在水旱轮作种植条件下(表8),不同施氮条件下,相同冬油菜品种氮素农学效率不同,且规律较小;相同施氮条件下,不同冬油菜品种氮素农学效率不同,在N180处理条件下,黔油早2号最大,为9.67,高于其它处理0.99~4.85 kg/kg,新宇油7号氮素农学效率最低,仅为4.82 kg/kg。不同施氮条件下,所有供试冬油菜品种氮素偏生产力随着施氮量的增加呈降低的趋势,且在N180处理达到最小值,表现为N45>N135>N180;相同施肥条件下,不同冬油菜品种氮素偏生产力不同,以N180处理为例,在N180处理条件下,德油杂11号氮素偏生产力最

大,为15.37 kg/kg,高于其它处理0.59~4.54 kg/kg,新宇油7号氮素偏生产力最低,仅为10.83 kg/kg。氮素吸收利用率方面,大多数品种氮素吸收利用率随施氮量的增加表现为先增加后降低的趋势;在N180条件下,不同冬油菜品种氮素吸收利用率不同,以黔油28号为最大,为37.91%,高于其它品种8.97%~132.01%。

整体来看,旱地轮作种植条件下冬油菜氮素农学效率、偏生产力和氮素吸收利用率优于水旱轮作种植条件。

表8 水田不同冬油菜品种氮素利用效率

Table 8 Nitrogen use efficiency of different winter rapeseed varieties in paddy field

品种 Variety	AE _N /(kg/kg)			PEP _N /(kg/kg)			RE _N /%		
	N45	N135	N180	N45	N135	N180	N45	N135	N180
黔油早1号	6.00	5.17	6.12	36.76	15.80	13.81	32.58	23.59	24.16
Qianyouzao 1	k	mn	fghij	de	klm	defg	fgh	ghi	cdefg
黔油早2号	4.58	4.86	5.80	35.80	15.62	13.61	28.24	18.73	22.45
Qianyouzao 2	l	no	ijk	efg	klm	efgh	ghij	k	efghi
黔油18号	6.91	5.70	5.98	30.80	14.09	11.96	41.49	33.29	23.75
Qianyou 18	fghij	jk	ghij	j	n	j	def	bc	defgh
黔油28号	11.40	10.90	9.67	31.84	18.52	14.78	52.45	45.38	37.91
Qianyou 28	a	a	a	ij	b	abc	abc	a	a
黔油29号	8.87	5.56	6.48	36.51	15.19	13.39	53.26	19.98	25.72
Qianyou 29	c	kl	defgh	def	mn	fgh	ab	jk	cde
黔油30号	6.38	5.34	6.25	31.11	13.99	12.43	41.86	19.20	21.97
Qianyou 30	ijk	lm	efghij	ij	n	ij	cdef	k	fghi
福油508	7.47	5.79	7.17	34.96	15.39	14.04	52.90	20.42	25.73
Fuyou 508	def	jk	cd	gh	lmn	cdefg	ab	ijk	cde
渝油28	6.31	6.29	6.46	32.22	15.39	12.93	41.37	27.65	25.77
Yuyou 28	jk	ghi	efghi	hi	lmn	hi	def	ef	cde
庆油1号	8.96	7.35	7.43	35.04	16.59	13.95	50.76	31.90	28.70
Qingyou 1	c	c	c	fgh	hij	cdefg	abcd	cd	b
庆油3号	11.33	9.43	8.68	35.51	18.19	14.72	57.09	35.83	34.79
Qingyou 3	a	b	b	efg	bcd	abc	a	b	a
龙庭1号	6.67	6.56	6.51	36.65	17.04	14.00	26.89	22.73	28.52
Longting 1	ghijk	fgh	defgh	def	ghi	cdefg	ghij	hij	bc
华油杂13	7.27	5.97	6.14	37.20	16.39	13.63	31.67	26.63	24.48
Huayouza 13	efg	ij	fghij	cd	ijk	efgh	fghi	efg	cdefg
恒禾001	10.49	6.31	6.46	41.27	17.04	14.15	57.93	26.96	22.31
Henghe 001	b	ghi	efghi	ab	fgh	bedefg	a	ef	efghi
米米多	6.00	5.74	5.59	37.11	16.11	13.37	12.75	19.44	18.95
Mimiduo	k	lm	jk	cde	jkl	gh	l	k	ghij
金油8号	8.09	7.47	6.77	40.58	18.30	14.89	37.53	22.84	24.69
Jinyou 8	d	de	cdef	bc	bc	ab	bcde	fgh	cdef
新宇油7号	7.89	5.31	4.82	31.96	13.33	10.83	18.95	18.01	17.88
Xinyuyou 7	de	no	l	ij	o	k	jkl	kl	hij
广源68	9.11	7.61	6.92	40.38	18.04	14.74	53.22	32.01	28.21
Guangyuan 68	c	cd	cde	bc	bede	abc	ab	cd	bed
华龙油1号	7.11	6.70	6.17	40.49	17.83	14.52	40.73	27.47	26.08
Hualongou 1	fgh	hi	fghij	bc	cdef	bed	bed	de	bede

续表

品种 Variety	AE _N /(kg/kg)			PEP _N /(kg/kg)			RE _N /%		
	N45	N135	N180	N45	N135	N180	N45	N135	N180
卓油 11 号	6.51	5.13	5.26	35.53	14.80	12.52	34.62	17.87	16.34
Zhuoyou 11	hijk	o	kl	efg	mn	ij	efg	kl	j
金农油 1 号	6.49	6.09	5.89	39.81	17.19	14.22	23.99	15.29	22.61
Jinnongyou 1	hijk	jki	hijk	bed	efgh	bcdef	ghijk	l	defghi
蓉油 15	9.24	5.97	5.72	40.88	16.52	13.63	40.78	20.35	22.08
Rongyou 15	c	kl	jk	abc	ij	efgh	def	jk	fghi
油研 50	7.33	7.13	6.54	40.01	18.02	14.71	40.36	27.91	25.36
Youyan 50	efg	efg	defgh	bed	cde	abc	ab	cd	cde
油研 57	6.44	5.90	5.70	33.43	14.90	12.44	23.27	19.08	19.19
Youyan 57	hijk	klm	jk	ghi	mn	ij	hijkl	k	ghij
金矮油 2 号	7.07	6.62	6.16	39.93	17.58	14.37	15.80	10.37	18.58
Jinaiyou 2	fghi	i	fghij	bed	def	bede	kl	m	ghij
德油杂 11 号	7.07	7.33	6.58	42.23	19.04	15.37	43.49	21.77	26.67
Deyouza 11	fghi	def	defg	a	a	a	ab	fgh	bcde
臻油 89	6.00	5.87	5.64	40.16	17.26	14.18	21.34	20.44	17.06
Zhenyou 89	k	lm	jk	bc	efg	bcdefg	ijkl	ijk	ij

注:同列不同的小写字母表示达到5%上的差异显著水平
Note: Different lowercase letters within the same column indicate significant differences at 0.05 level

3 讨论

3.1 旱地轮作与水旱轮作种植下的生长差异

黄壤作为贵州省面积最大的农业土壤类型,其土壤质地黏重,酸性较强,养分含量低,保肥保水能力相对较差,同时大多数适宜耕作的农田多为坡耕地,很容易造成养分和水分的流失等现象,最终使肥料养分无法被作物吸收利用,导致肥料利用率偏低^[21],同时对环境也造成危害^[22]。为提高土地利用效率,旱地轮作和水旱轮作是贵州黄壤区常见的两种种植模式,旱地轮作种植的作物主要为玉米和油菜,水旱轮作种植的作物主要为水稻和油菜,油菜季高产高效对于两种轮作模式下的经济效益均非常重要。本研究结果表明,在当前生产条件下,旱地轮作种植冬油菜产量和氮素利用效率均优于水旱轮作种植,这与前人的研究结果一致^[23,24],原因可能是不同种植制度的基础生产力不同,一般在农业生产中玉米的氮肥施用量要高于水稻,同时由于贵州黄壤保水保肥能力差,水田氮素更容易流失,导致水稻收获后土壤无机氮素残留较低,油菜季土壤氮素供应能力要低于旱地轮作。不同轮作模式下冬油菜的产量和施氮响应存在差异,这表明冬油菜的氮肥管理应该根据轮作模式的不同而发生调整。

3.2 不同品种冬油菜的氮素利用效率

农学效率、偏生产力和氮素吸收利用效率是反映肥料利用率的常用指标,其与产量、施肥量和土

壤肥力水平关系最为密切^[25,26];农学效率是表征肥料增加产量的参数,可以很好地反映肥料的利用效率。现代作物生产系统的氮肥农学效率、偏生产力和氮素吸收利用效率分别可以达到 20~35 kg/kg、40~70 kg/kg 和 30%~50%^[27],本试验条件下的氮素农学效率、偏生产力和氮素吸收利用效率低于该标准,表明油菜是一种低氮效率作物,这与前人的研究结果一致^[8,28,29],因此筛选氮高效冬油菜品种至关重要。本试验表明,德油杂 11 号、黔油早 2 号、龙庭 1 号、庆油 1 号、金油 8 号、庆油 3 号、金农油 1 号、黔油早 1 号等 8 个冬油菜品种,在旱地轮作种植情况下,在不同氮素水平下的产量、经济效益、养分吸收和氮素利用效率均优于其它冬油菜品种;德油杂 11 号、黔油 28 号、广源 68、庆油 3 号、华龙油 1 号、龙庭 1 号、庆油 1 号、渝油 28 等 8 个冬油菜品种在水旱轮作种植情况下,在不同氮素水平下的产量、经济效益、养分吸收及氮素利用效率均优于其它冬油菜品种,说明上述冬油菜品种对贵州黄壤的适应能力更强,可高效利用土壤和肥料中的氮素,可作为贵州黄壤旱地轮作和水旱轮作种植的推荐氮高效冬油菜品种。

作物的产量和氮素吸收量成正相关关系,作物吸收利用氮素受施氮量的影响,高氮施用量情况下,作物虽然能增产,但是降低氮肥利用率,造成资源浪费,威胁环境安全^[30]。本试验旱地水作条件下,超半数的油菜品种随施氮量的升高,其氮素农学效

率呈现先增加后降低的趋势,氮素吸收利用效率呈现下降趋于平稳的趋势,说明在N180情况下,可能已经满足油菜生长的需求,当氮肥继续增加时,氮素增产率则呈现降低的趋势。本试验条件下,所有氮肥农学效率均未能达到标准,偏生产力除在N45能够达到标准外,在N135和N180均未达到标准,氮素吸收利用效率除个别处理也均未达到标准,可能是因为气候原因造成,试验后期试验地多雨,导致黄壤养分的流失,导致氮肥利用效率降低;同时单纯的施用尿素、过磷酸钙和硫酸钾等单质肥料也很难提高肥料利用率,在生长后期氮素难以得到充分转移和再利用,从而导致作物氮素需求和外源氮素供应不协调^[28],在施用化肥的情况下,应增施如秸秆^[31,32]、生物炭^[33,34]、有机肥^[35,36]等外源物料以提高肥料利用率,因此,在以后的研究中应重视本方面的研究,同时契合国家化肥零增长下“减肥增效”^[16]的现代农业发展目标。

4 结论

本试验利用田间氮肥梯度试验探讨不同油菜品种的生长、养分吸收及利用,明确适宜贵州黄壤水旱轮作和旱地轮作种植的氮高效冬油菜品种,为贵州黄壤喀斯特山区冬油菜氮高效油菜品种的推广种植提供依据。结合产量、经济效益、养分吸收及养分利用效率,推荐德油杂11号、黔油早2号、龙庭1号、华龙油1号、庆油1号、金油8号可作为基于本试验条件下较适宜贵州喀斯特黄壤旱地轮作种植的油菜品种;推荐德油杂11号、金油8号、黔油28号、广源68、庆油3号、油研50、华龙油1号、渝油28可作为基于本试验条件下较适宜贵州喀斯特黄壤区水旱轮作种植的油菜品种。冬油菜的氮肥管理应该根据轮作模式的不同而发生调整。

参考文献:

- [1] 刘成, 冯中朝, 肖唐华, 等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(4): 485-489.
- [2] 任涛, 郭丽璇, 张丽梅, 等. 我国冬油菜典型种植区域土壤养分现状分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(8): 1606-1616.
- [3] 李慧, 马常宝, 鲁剑巍, 等. 中国不同区域油菜氮磷钾肥增产效果[J]. 中国农业科学, 2013, 46: 1837-1847.
- [4] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 冬油菜施氮的增产和养分吸收效应及氮肥利用率研究[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 745-752. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2011.04.012.
- [5] 鲁剑巍. 中国油菜生产的高产高效氮素管理[J]. 中国农业科学, 2016, 49: 3504-3505.
- [6] 任涛, 鲁剑巍. 中国冬油菜氮素养分管理策略[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3504-3521. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2016.18.005.
- [7] 王寅, 鲁剑巍. 中国冬油菜栽培方式变迁与相应的养分管理策略[J]. 中国农业科学, 2015, 48: 2952-2966.
- [8] 鲁剑巍, 任涛, 丛日环, 等. 我国油菜施肥现状及施肥技术研究展望[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(5): 712-720. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2018.05.014.
- [9] 贵州省土壤普查办公室. 贵州省土壤[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1994: 163-190.
- [10] 苟久兰, 魏全全, 张萌, 等. 适应贵州黄壤生长的高氮绿肥品种筛选[J]. 种子, 2019, 38(10): 127-131. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.10.127.
- [11] 凡迪, 秦海英, 冯文豪, 等. 适宜直播油菜新品种筛选试验[J]. 种子, 2019, 38(5): 74-76. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2019.05.074.
- [12] 原小燕, 符明联, 李根泽, 等. 西南区油菜品种早熟适宜机收特性评价及适宜密度筛选[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1140-1145. DOI: 10.16213/j.cnki.sc-jas.2020.6.006.
- [13] 周发瑞, 温锐龙, 奚第松, 等. 稻油种植模式下油菜直播品种筛选试验初报[J]. 四川农业科技, 2020(7): 16-19. DOI: 10.3969/j.issn.1004-1028.2020.07.005.
- [14] 张毅. 我国冬油菜区域试验品种的高产稳产和适应性分析[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(3): 359-366. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2018.03.007.
- [15] 李其义, 黄贵民, 魏忠芬, 等. 2001—2012年贵州省油菜区试品种产量及品质的变化趋势分析[J]. 种子, 2013, 32(7): 87-89. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2013.07.051.
- [16] 农业部种植业司. 农业部关于印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》的通知[Z/OL]. http://www.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201503/t20150318_4444765.htm. [2015-03-18].
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103. DOI: 10.3321/j.issn: 0578-1752.2002.09.012.
- [19] Fageria N K, Baligar V C. Methodology for evaluation of lowland rice genotypes for nitrogen use efficiency [J]. J Plant Nutr, 2003, 26(6): 1315-1333. DOI: 10.1081/PLN-120020373.
- [20] Takahashi S, Anwar M R. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of

- annual fertilizer application to an Andosol [J]. *Field Crops Res*, 2007, 101 (2): 160–171. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.11.003.
- [21] 周志红, 李心清, 邢英, 等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. *地球与环境*, 2011, 39(2): 278–284. DOI: 10.14050/j.cnki.1672–9250.2011.02.021.
- [22] 池再香, 李贵琼, 白慧, 等. 干季贵州省东西部区域干湿状况差异分析[J]. *中国农业气象*, 2016, 37(3): 361–367. DOI: 10.3969/j.issn.1000–6362.2016.03.012.
- [23] Yamada T, Katsuta M, Sugiura M, et al. Dry matter productivity of high biomass sugarcane in upland and paddy fields in the Kanto region of Japan [J]. *Jpn Agric Res Q: JARQ*, 2010, 44(3): 269–276. DOI: 10.6090/jarq.44.269.
- [24] 卜容燕. 稻油和棉油轮作模式下油菜季土壤氮素供应差异及其机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [25] Qiu S J, He P, Zhao S C, et al. Impact of nitrogen rate on maize yield and nitrogen use efficiencies in northeast China [J]. *Agron J*, 2015, 107 (1): 305–313. DOI: 10.2134/agronj13.0567.
- [26] 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. DOI: 10.3321/j.issn: 0564–3929.2008.05.018.
- [27] Dobermann A. Nutrient use efficiency, measurement and management [C]// IFA international workshop on fertilizer best management practices (International Fertilizer Industry Assoc., Paris), Brussels, Belgium, 2007.
- [28] Ren T, Zou J, Wang Y, et al. Estimating nutrient requirements for winter oilseed rape based on QUEFTS analysis [J]. *J Agric Sci*, 2016, 154 (3): 425–437. DOI: 10.1017/s0021859615000301.
- [29] 朱芸, 徐华丽, 张洋洋, 等. 长江流域农民习惯施肥与推荐施肥的冬油菜产量与养分效率差异分析: 基于大样本田间试验[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(15): 2948–2957. DOI: 10.3864/j.issn.0578–1752.2018.15.010.
- [30] 白由路. 我国肥料产业面临的挑战与发展机遇[J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23 (1): 1–8. DOI: 10.11674/zwyf.16460.
- [31] 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.
- [32] 王昆昆, 刘秋霞, 朱芸, 等. 稻草覆盖还田对直播冬油菜生长及养分积累的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(6): 1047–1055.
- [33] 徐绮雯, 马淑敏, 朱波, 等. 生物炭与化肥配施对紫色土肥力与微生物特征及油菜产量品质的影响[J]. *草业学报*, 2020, 29 (5): 121–131. DOI: 10.11686/cyxb2019338.
- [34] 朱浩宇, 高明, 龙翼, 等. 化肥减量有机替代对紫色土旱坡地土壤氮磷养分及作物产量的影响[J]. *环境科学*, 2020, 41 (4): 1921–1929. DOI: 10.13227/j.hjks.201909153.
- [35] 崔宏卓, 廖世鹏, 马国生, 等. 化肥减量后增施有机肥对直播冬油菜产量的影响[J]. *中国农技推广*, 2019, 35: 126–128.
- [36] 蒋倩红, 陆志峰, 赵海燕, 等. 长江中下游冬油菜产区有机无机肥配施下减氮增效潜力分析[J]. *中国农业科学*, 2020, 53: 2907–2918.

(责任编辑:郭学兰)