

油菜根系形态和生理特性与其氮效率的关系^①刘代平^{1,2}, 宋海星^{1*}, 刘 强¹, 荣湘民¹, 彭建伟¹, 谢桂先¹, 刘浩荣¹

(1 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 2 湖南省经济地理研究所, 长沙 410004)

摘 要: 为了给氮(N)高效油菜品种的选育及应用提供科学依据, 采用土培实验对不同油菜品种在不同N素水平下各生育期的根系活力、根系吸收表面积、根系体积以及一级侧根数与N效率的关系进行了研究。结果表明: 在油菜的整个生育期里, 不同N素水平对油菜根系的形态及生理特性有显著的影响, 均随着施N水平的增加而升高; 正常施N条件下全生育期的一级侧根数, 苗期的根系体积、吸收表面积与油菜N效率密切相关, 而根系活力对N效率的影响相对较小; 在不施N条件下全生育期的一级侧根数、根系活力, 苗期以后的根系体积、吸收表面积与油菜N效率密切相关。

关键词: 油菜; 氮效率; 根系; 形态和生理特性

中图分类号: S565.4

作物的根系是吸收水分和养分的主要器官, 同时又是物质同化、转化和合成的重要器官[1], 根系的形态及生理特性直接影响作物的养分吸收效率而倍受人们关注。许多研究发现, 不同N效率的作物品种在N的吸收方面有明显的差异。吸收能力强的作物在形态上表现为根系长度、体积、分布密度和有效吸收面积较大[2]; 在生理生化特性上表现为根系氧化能力、脱氢酶活力、细胞色素氧化酶活力强, ATP含量高, 伤流液中氨基酸含量高、种类多; 在吸收动力学方面表现为米氏常数小、吸收速率高[3-5]。关于这些问题在小麦、玉米、水稻等粮食作物中研究较多, 而对油菜研究报道较少。笔者选用了3个不同N效率油菜品种, 研究

了在不同N素水平下的各个生育期的根系形态及生理特性, 以期揭示与油菜N效率有关的根系生物学基础, 为N高效油菜品种的选育及应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

选用742、湘油15、汇油50等3个油菜品种, 均由国家油料改良中心湖南分中心提供。

1.2 土培试验

试验于2004—2005年在湖南农业大学资源环境学院实习基地进行。供试土壤为河流冲积物母质发育的冲积菜园土, 其基本农化性状见表1。

表1 供试土壤的基本理化性状

Table 1 Basic chemical properties of tested soil

有机质	pH	全 N	速效 N	全 P	速效 P	全 K	速效 K
(g/kg)	(H ₂ O)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)	(g/kg)	(mg/kg)
29.06	6.80	5.20	125.05	10.74	59.45	19.93	90.60

试验设3个品种, 2个施肥水平(正常施N水平和不施N水平), 共6个处理。选用20 cm×30 cm白瓷质培养钵, 内装过1 cm筛的风干土6.25 kg。施N的处理N、P、K肥施用量分别为: N 0.2 g/kg土、P₂O₅ 0.1 g/kg土、K₂O 0.1 g/kg土; 不施N的处理N、P、K肥施用量分别为: N 0 g/kg土、P₂O₅ 0.1 g/kg土、K₂O

0.1 g/kg土。供试肥料品种为尿素(N为460 g/kg), 钙镁磷肥(P₂O₅为120 g/kg), 氯化钾(K₂O为600 g/kg)。各处理N、P、K肥均做基肥一次性施入。油菜于2004年10月2日播种, 11月8日移栽, 每钵1株, 每个处理各25钵(共150钵), 随机区组排列, 全生育期精心管理。

①基金项目: 国家自然科学基金面上项目(30671206)和湖南省博士后专项基金项目(2006FJ4265)资助。

* 通讯作者(haixingsong@yahoo.com.cn)

作者简介: 刘代平(1978—), 男, 湖南郴州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: ldpnokia@163.com

分别在幼苗末期(播种后 105 天)、抽苔末期(播种后 156 天)、开花末期(播种后 182 天)、角果发育期(播种后 199 天)和收获期(播种后 219 天)采全株样,每个处理各取 3 钵(采样时分别收集每株脱落的叶片),洗净吸干水分后将整株油菜按器官分开,根系部分测其体积、侧根数,测毕后,取一部分根称重后用来测定根系活力、根系吸收表面积,其余部分称重后烘干;其它器官称重后烘干。烘干部分在 105 ℃ 下杀青 30 min 后在 70 ℃ 下烘干至恒重,并称其干重。最后,将烘干样品磨碎过筛后用于各部分全 N 含量的测定。

1.3 测定项目及其方法

土壤基本理化性质的测定采用常规方法;根系活力采用 TTC(氯化三苯基四氮唑)还原法测定^[6];根系吸收表面积的测定采用甲烯兰吸附法测定^[6];根系体积用量筒排水法测定;侧根数直接数出;植株全 N 量的测定采用浓硫酸双氧水消解,凯氏定氮法测定^[7]。试验所得数据用 SPSS13.0 版统计软件进行处理。

1.4 相关参数的计算

N 效率 (nitrogen use efficiency, NUE) = Gw/Ns , 指单位土壤有效 N 量 (Ns) 所生产的籽粒产量 (Gw)。其中土壤有效 N 量 (Ns) 为播前土壤速效 N 与施用的肥料 N 之和^[8]。

N 素吸收效率 (uptake efficiency, UPE) = Nt/Ns , 指单位土壤有效 N 量 (Ns) 提供成熟期地上部植株体内 N 累积量 (Nt) 的能力^[8]。

N 素利用效率 (utilization efficiency, UTE) = Gw/Nt , 指成熟期地上部植株体内单位 N 累积量 (Nt) 所能生产籽粒产量的能力 (Gw)^[8]。

2 结果与分析

2.1 不同油菜品种 N 效率的差异

表 2 为不同油菜品种的 N 效率、N 素吸收效率和 N 素利用效率。N 效率可分解为反映 N 素吸收能力大小的 N 素吸收效率,即单位土壤有效 N 量能提供植株的 N 素能力和反映品种 N 素利用效率能力高低的 N 素利用效率,即单位植株中 N 素生产籽粒产量的能力。

表 2 不同油菜品种的 N 效率、N 素吸收效率和 N 素利用效率

Table 2 NUE, UPE and UTE of different rape cultivars

品种编号	N 效率 (kg/kg)			N 素吸收效率 (kg/kg)			N 素利用效率 (kg/kg)		
	施 N	不施 N	提高 (%)	施 N	不施 N	提高 (%)	施 N	不施 N	提高 (%)
742	13.21	16.33	23.70	0.73	0.86	17.10	17.56	19.06	8.50
湘油 15	10.90	17.64	61.90	0.76	0.93	21.30	14.27	19.03	33.40
汇油 50	10.01	15.69	56.90	0.75	0.92	21.90	13.67	16.17	18.30

由表 2 可见,在正常施 N 条件下 N 效率大小顺序为 742>湘油 15>汇油 50;而在不施 N 条件下 N 效率大小顺序为湘油 15>742>汇油 50。与施 N 条件相比,不施 N 条件下不同 N 效率品种的 N 效率、N 吸收效率和 N 利用效率值均有上升,其中, N 素吸收效率的上升值变异较小, N 素利用效率的上升值变异较大。3 个品种中,湘油 15 的上升值最大。

2.2 不同 N 效率油菜品种根系活力的比较

根系活力是一种较客观地反映根系生命活动的生理指标,也是反映植株吸收功能的一项综合指标^[9]。测定结果(表 3)表明,根系活力随着生育期的延长而不断加强,不论施 N 与否,湘油 15 的根系活力都比 742、汇油 50 强,表明在正常施 N 条件下根系活力对油菜 N 效率的影响较小,而在不施 N 条件下根系活力与油菜 N 效率密切相关。因此,在不施 N 条件下根系活力可能是其 N 素高效吸收的机理之一。

2.3 不同 N 效率油菜品种根系吸收表面积的比较

不同 N 效率油菜品种各个生育期的根系吸收表

表 3 不同 N 效率油菜品种在各个生育期的根系活力

($\mu\text{gTTF/g.FW/h}$)

Table 3 Root vitality of different NUE rape cultivars at different growth stages

施 N 水平	品种编号	苗期	蕾苔期	角果发育期
施 N	742	119.06	134.92	141.57
	湘油 15	142.29	173.93	242.47
	汇油 50	125.15	138.93	154.08
不施 N	742	84.59	99.74	116.14
	湘油 15	112.24	132.05	139.65
	汇油 50	92.01	111.99	91.66

面积如表 4 所示,从表 4 可以看出:无论施 N 与否,苗期根系吸收表面积都以品种 742 的最高,大小顺序与施 N 条件下 N 效率的大小顺序相同,说明施 N 条件下苗期的根系吸收表面积与 N 效率密切相关;而在其他的生育期里,湘油 15 的根系吸收表面积比其他两个品种都高,与不施 N 条件下 N 效率的品种间高低顺序相一致,说明不施 N 条件下苗期以外各生育

期的根系吸收表面积与 N 效率密切相关。综上所述,根系吸收表面积在正常施 N 条件下生长前期对 N 效率的影响较小,而在不施 N 条件下生长后期对 N 效率的影响较大。

表 4 不同 N 效率油菜品种在各个生育期的根系吸收表面积
($\text{dm}^2/(\text{g.FW})$)

Table 4 Absorbing surface of root of different NUE rape cultivars at different growth stages

施 N 水平	品种编号	苗期	蕾苔期	开花期	角果发育期
施 N	742	38.09	64.88	71.57	69.15
	湘油 15	27.28	74.14	76.26	71.29
	汇油 50	23.33	72.85	75.82	61.62
不施 N	742	40.24	57.18	35.39	40.41
	湘油 15	30.81	64.48	36.58	44.60
	汇油 50	34.44	62.73	33.30	41.56

由表 4 还可以看出,除苗期外,正常施N条件下 3 个品种的根系吸收表面积都比在不施N条件下高,施 N 促进油菜根系吸收面积增加。在苗期出现不施N条件下比正常施N条件下高,这可能是油菜对苗期相对较轻的N胁迫的一种适应性反应^[10-11]。从根系吸收表面积随生育期的变化来看,在正常施N条件下,最大值都出现在开花期,而在不施N条件下,最大值出现在蕾苔期。

2.4 不同 N 效率油菜品种根系体积和一级侧根数的比较

不同 N 效率油菜品种在各个生育期的根系体积和一级侧根数如表 5 所示,由表 5 看出:无论施 N 与否,根系体积均在苗期以品种 742 最大,在蕾苔期和开花期以湘油 15 最大,收获期以品种汇油 50 最大。说明不同油菜品种在不同施 N 条件下根系体积都具有相对内稳态机制的特点。从根系体积和 N 效率的关系来看,正常施 N 条件下,不同 N 效率品种在苗期的根系体积大小排列顺序与 N 效率的排列顺序完全一致,而其他生育期表现不尽相同,说明正常施 N 条件下根系体积对 N 效率的影响并不大。不施 N 条件下,不同 N 效率品种在蕾苔期和开花期的根系体积大小排列顺序与 N 效率的排列顺序完全一致,说明蕾苔期和开花期的根系体积对 N 效率的贡献较大。比较两种施 N 水平下的根系体积,施 N 对苗期的根系体积影响较小,而对蕾苔期、开花期和收获期的根系体积影响较大,施 N 条件比不施 N 条件各品种油菜体积都有大幅度的增加。其中,品种 742 根系体积的增加幅度范围为 12.6% ~ 43.8%; 品种湘油 15 根系体积的增加幅度范围为 27.1% ~ 40.9%; 品种汇油 50 根系体积的增加幅度范围为 26.7% ~ 44.3%。

表 5 不同 N 效率油菜品种在各个生育期的根系体积和一级侧根数

Table 5 Volume and number of first-class lateral root of different NUE rape cultivars at different growth stages

项目	施 N 水平	品种编号	苗期	蕾苔期	开花期	角果发育期
根系体积 (ml)	施 N	742	56.67	87.00	112.67	82.00
		湘油 15	42.67	109.67	113.33	94.00
		汇油 50	39.33	100.33	99.33	101.00
	不施 N	742	48.83	76.00	63.33	59.00
		湘油 15	44.67	80.33	67.67	66.00
		汇油 50	40.00	73.50	55.33	69.00
一级侧根数 (个)	施 N	742	33	46	50	50
		湘油 15	28	42	47	47
		汇油 50	26	44	45	44
	不施 N	742	16	29	32	33
		湘油 15	22	35	36	44
		汇油 50	17	30	34	34

从表 5 还可以看出,在正常施 N 和不施 N 条件下,不同 N 效率品种的一级侧根数目的大小排列顺序与 N 效率的排列顺序完全一致,而且在各个生育期里表现出同样的规律。即在正常施 N 条件下一级侧根数目品种 742 大于品种湘油 15 和汇油 50,而在不施

N 条件下品种湘油 15 大于品种 742 和汇油 50。说明不论 N 素供应水平如何油菜 N 效率与其一级侧根数目有着密切的关系,可能是其 N 素高效吸收的机理之一。施 N 条件比不施 N 条件各品种油菜的一级侧根数都有明显增加,其中,品种 742 的增加幅度最大,

其范围为 34.0%~56.7%; 品种湘油 15 的增加幅度最小, 其范围为 6.4%~21.4%; 品种汇油 50 的增加幅度居中, 其范围为 25.0%~34.6%。

3 讨论

根系是作物生长的基础, 根系不仅是吸收养分、水分的器官, 而且能合成多种生理活性物质, 其数量的多少、活性的强弱与作物的衰老、物质生产、同化产物的运输与分配、结实状况等密切相关, 进而对产量形成具有举足轻重的影响。养分吸收效率是养分效率变异的重要原因之一, 具有较长的根长和多而发达侧根的作物, 其根系与介质中的养分有较大的接触面积, 因而对 N 素的吸收也有更大的潜力。正因为这样, 大多数作物在养分胁迫条件下根长加长、根冠比增加。本研究表明, 在施 N 条件下, N 高效品种 742 在各生育期具有较多的一级侧根数, 较长的根长, 此外, 在苗期 N 高效品种具有较强的生长能力, 表现为较高的根系干重、根系体积、根系吸收表面积, 这些都是品种 742 在施 N 条件下有较强物质生产能力和较高籽粒产量形成的重要基础, 是其高效吸收 N 素的可能机理。在不施 N 条件下, N 高效品种湘油 15 具有较多的一级侧根数, 较强的根系活力。此外, N 高效品种在生育中后期具有较强的根系生长能力, 表现在较高的根系干重、根系体积、一级侧根数、根系活力、根系吸收表面积, 这些都是其高效吸收 N 素的可能机理。

4 结论

(1) 在油菜的整个生育期里, 不同 N 素水平对油菜根系的形态及生理特性有显著的影响, 均随着施 N 水平的增加而升高。

(2) 正常施 N 条件下全生育期的一级侧根数, 苗期的根系体积、吸收表面积与油菜 N 效率密切相关,

可能是其 N 素高效吸收的机理, 而根系活力对 N 效率的影响相对较小。

(3) 在不施 N 条件下全生育期的一级侧根数、根系活力, 苗期以后的根系体积、吸收表面积与油菜 N 效率密切相关, 可能是其 N 素高效吸收的机理。

参考文献:

- [1] 程建峰, 姜东, 潘晓云, 曹卫星, 荆奇, 戴廷波. 不同水稻基因型的根系形态生理特性与高效氮素吸收. 土壤学报, 2007, 44(2): 266-272
- [2] 赵首萍, 施卫明, 赵学强. 不同氮效率水稻品种苗期吸氮效率差异及其机理研究. 土壤, 2006, 38(4): 400-409
- [3] Huffaker RC, Rains DW. Factors influencing nitrate acquisition by plant: Assimilation and fate of reduced nitrogen // Nielson DR, MacDonald JG. Nitrogen in the Environment. Vol. 2. New York: Academic Press, 1978: 1-43
- [4] Agrell D, Oscarson P, Larsson CM. Translocation of N to and from barley roots: Its dependence on local nitrate supply in split root cultures. Plant Physiol., 1994, 90: 467-474
- [5] Ericsson T. Growth and shoot: Root allocation of seedlings in relation to nutrient availability. Plant Soil, 1995, 168: 205-214
- [6] 邹琦. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [8] Moll RH, Kamprath EJ, Jackson WA. Analysis and interpretation of factors which contribution efficiency of nitrogen utilization. Agro. J., 1982, 74: 562-568
- [9] 斯琴巴特尔, 吴红英. 不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响. 干旱地区农业研究, 2001, 19(2): 67-70
- [10] 魏道智, 宁书菊, 林文雄. 小麦根系活力变化与叶片衰老的研究. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1565-1569
- [11] 宋海星, 李生秀. 水、氮供应和土壤空间所引起的根系生理特性变化. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 6-11

Relationship Between Root Morphologic and Physiological Properties and Nitrogen Efficiency of Oilseed Rape Cultivars

LIU Dai-ping^{1,2}, SONG Hai-xing¹, LIU Qiang¹, RONG Xiang-min¹, PENG Jian-wei¹, XIE Gui-xian¹, LIU Hao-rong¹

(1 College of Resources and Environment, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;

2 Hunan Institute of Economic Geography, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to promote the breeding and application of high nitrogen efficiency oilseed rape cultivars, the relationship between root activity, root absorbing surface, root volume and the number of lateral roots of different oilseed rape cultivars and nitrogen efficiency at different growth stages were studied by greenhouse experiments under different nitrogen levels. The result indicated that different nitrogen levels had significant effects on root morphologic and physiological properties during all growth stages, and all of those properties increased with the increase of nitrogen level. Under nitrogen application, except root vitality, the number of first-class lateral root at all growth stages, root volume and absorbing surface at seeding stage were significantly correlated with rape nitrogen efficiency. Under non-nitrogen application, the number of first-class lateral root and root activity at all growth stages, root volume and absorbing surface after seeding stage, were significantly correlated with rape nitrogen efficiency.

Key words: Oilseed rape, Nitrogen efficiency, Root, Morphologic and physiological characteristics