双低油菜(Canola)硫营养临界期与最大效率期的研究①

王庆仁②

(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘 要

利用温室砂培盆栽试验,分别在油菜生长的五个自然生育期严格控制营养液供硫浓度(高S 0.75 mmol/L或低S 0.075mmol/L),研究各生育期供硫水平对油菜生长的影响。结果表明,发芽—莲座期(0~35天)低S处理容易短时间内表现缺硫症状,对子粒产量与含油量有明显的影响;开花期前后充足供硫可明显提高菜籽产量。后期增加供硫浓度不仅可明显增加菜籽的硫浓度、含油量,而且菜籽的硫甙含量也显著提高。

比较各生育期供硫不足与菜籽产量的关系,以莲座期与开花期的影响最大。莲座期可作为油菜硫营养的临界期,开花期为最大效率期。硫的两个吸收高峰恰与油菜生长对硫的临界期与最大效率期相吻合。生长前期供硫充足主要促进植株的营养生长,茎枝重量较高但子粒产量很低,而后期供硫充足则显著促进植株的开花结果,增加角果数、角果重及子粒饱满度。前期供硫不足会使作物的花期明显延迟,中后期增加供硫浓度时还会造成植株的再次开花结果而使成熟期显著延迟。

关键词 油菜 硫 临界期 最大效率期

油菜(*Brassica napus*)是需硫量较高的作物之一,主要是含有较高的含硫氨基酸,如胱氨酸、半胱氨酸和蛋氨酸以及所特有的硫代葡萄糖甙(简称硫甙)。硫甙的存在具有特殊的生物生理及自我保护,抑御病、虫、畜侵害的功能[1~5]以及作为短期硫胁迫时,担任硫素代谢暂时贮库的作用[6~9]。双低油菜(即低芥酸、低硫甙)因植株硫甙降低,硫素库源的减少,对缺硫的敏感性显著增加[8,10,11]。

有报道指出,油菜从返青到开花或成熟期需硫量最高,硫的吸收量可占总吸硫量的70%~80%,需硫速率为0.4~0.5kg/(hm^2·d)[12,13]。但没有反映出油菜各生育期的需硫量差异。另有研究认为,油菜的莲座期(即5~6叶期)对硫的需要似乎较其他生育期更为重要,迟于莲座期追施硫肥将直接导致产量损失[14,15]。虽在油菜生长的任何时期追施硫肥(SO_4^{2-})皆能很快矫正缺硫症状,但因硫在植株体内的再转运能力弱,生长后期所施的硫多积累在叶片中,即使在种子形成阶段严重缺硫也很难由叶向外转运供植株的再利用[14,16,17]。Nuttall等(1991)[18]通过田间试验,建立了白菜型油菜(*B.Campestris*)菜籽产量随播种后50天内施硫时间的推迟而直线降低的数学关系($y=1.4-0.0094x$ $R^2=0.99$)。但这一关系对越冬作物甘蓝型冬油菜(*B. napus* L.)似显得时间较短。

① 本文是作者博士学位论文的部分内容。试验在澳大利亚完成,论文蒙导师林葆教授斧正。

② 现工作单位:中国科学院生态环境研究中心,北京 100085

收稿日期:1995—11—22

为此，本试验在温室条件下利用砂培方法，根据油菜生长的五个自然生育期调节供硫水平，以探讨硫对产量、含油量及菜籽硫甙含量的影响，确定油菜硫营养的临界期与最大效率期，为油菜施硫提供理论依据。

一、材料与方法

试验采用5L塑料盆钵，河砂与珍珠岩按1:1体积混合，先用自来水淋洗干净，再用NaH_2PO_4(200mg/L)代换吸附态硫，最后用无离子水淋洗数次，淋洗液用甲亚兰比色法[19]检查无硫。供硫浓度设为2个水平，高硫(S)：0.75mmol/L(用H表示)和低S：0.075mmol/L(用L表示)。基础营养液采用Hewitt完全营养液[20]。其中，S用$MgSO_4$并用$MgCl_2$调节为相同的Mg^{2+}浓度。主要营养元素浓度为N 15、K 5、Ca 5、Mg 1.5、P 1.0、Na 1.0、Cl 1.5或2.85mmol/L，Fe 2.75、Mn 0.55、B 0.4、Zn 0.1mg/L。上述Cl⁻浓度已经试验证实不会影响油菜生长[21]。

使用品种为甘蓝型澳大利亚培育的双低冬油菜(Canola-Oscar，*B.napus* cv. Oscar)，芥酸含量<2%，总硫甙<30μ mol/g。为了确定供S水平对不同生育期油菜生长发育的影响，采用分别在下列生育阶段调节供S浓度(高S(H)或低S(L))，即：幼苗期(0～35天)、莲座期(36～67天)、抽薹期(68～103天)、开花期(104～144天)、角果充实期(145～190天)，具体设计见表1。重复3次，随机区组排列，留出附加盆钵用于各期采样，相应处理各盆均保留3株培养至成熟期收获。每日浇灌相应S浓度的营养液，苗期约250ml／盆，中、后期350ml/盆并用无离子水维持湿度。为防盐分积累，每周用无离子水由盆表冲淋一次。温室温度设定为24℃／12℃(昼／夜)。当供S浓度由高变为低时，先用无离子水淋洗相应盆钵。

表 1 试验设计及处理组合

Table 1 Treatments and design of the experiment

编号 NO.	出苗期 GR	莲座期 RS	抽薹期 SE	开花期 FL	角果充实期 PF
1	L	L	L	L	L
2	L	H	H	H	H
3	L	L	H	H	H
4	L	L	L	H	H
5	L	L	L	L	H
6	L	H	L	L	L
7	L	H	H	L	L
8	L	H	H	H	L
9	L	L	H	L	L
10	L	L	H	H	L
11	L	L	L	H	L
12	H	H	H	H	H
13	H	L	L	L	L
14	H	H	L	L	L
15	H	H	H	L	L
16	H	H	H	H	L
17	H	L	H	H	H
18	H	L	L	H	H
19	H	L	L	L	H
20	H	H	L	H	H
21	H	H	L	L	H
22	H	H	H	L	H

GR: Germination; RS: Rosette; SE: Stem elongation; FL: Flowering; PF: Pod filling

自莲座期开始，不同处理在各生育期供S水平改变前采样，样品分作叶片、茎和叶柄、枝、花、角果等。主枝角果成熟后收获并分别记录果枝数、角果数、株高、角果平均子粒数及千粒重等。角果经22℃风干脱粒，并经50℃烘干后用核磁共振仪测定含油量；X射线荧光光谱法测定硫甙[22]；其他样品经70℃烘干后用X射线荧光光谱法测定全S[23,24]。

二、结果与讨论

(一)养分改变后缺硫症状的发展与消退

发芽至莲座期低S处理的幼苗一般可在7～10天出现缺S症状，而在抽薹期以后当供S浓度由高变低后，一般需要14～20天才表现出缺S症状。前者主要是植株幼小，贮藏在种子或幼苗中的S会很快消耗殆尽；后者则主要是因原来所吸收的S可在相对较大的植株体内以某种有机(如含S氨基酸、硫甙)或无机的形态贮存，一度出现S胁迫时便分解释放或直接向新库产生或多或少的再转运[8,16,25,26]，尽管S在植株体内的再分配能力很弱[6,7,9,26]。

油菜的缺S症状最初表现在新生叶片上，依次表现为脉间及叶缘失绿，叶缘出现紫色，叶片狭小、僵直、厚且脆，出现凸凹不平并卷曲成"杯状"；根系细长，无分枝或较少分枝，颜色浅淡，须根少；植株生长严重受阻，生育期延迟，抽薹短、花色淡、呈黄白色且不能充分张开并持续时间较短；雄蕊萎缩，雌蕊扭曲变形，多不能受孕，即使能发育成角果，也呈短小干瘪或空泡状。

当缺S植株供给高S后，症状的消退以幼叶早于成熟叶，且第3天的新生叶无缺S症状；有症状叶片伸展率增大，逐渐平展且失绿斑点渐次消退；但叶片下表面边缘的紫色消退缓慢，即使在植株生长完全恢复正常后仍残留可见。

(二)不同生育期供硫组合对菜籽产量、含油量及硫甙含量的影响

子粒产量的高低受不同供S组合的影响(表2)。全生育期连续低S(LLLLL)或仅在苗期、莲座期、甚至抽薹期供以高S(HLLLL，LHLLL，LLHLL及HHLLL)均几乎不能形成经济产量。而在角果充实期或开花期供以高S(LLLLH，LLLHL)，尤其在角果充实期供以高S则能形成一定的经济产量。最高产量的获得是在生长中期(如抽薹期)、后期(角果充实期)或早期(出苗期)最多只有一个低S阶段，但不能在莲座期(HLHHH)或开花期(HHHLH)缺S。

表2结果还说明，除莲座期、开花期外，当只有一个时期供硫不足时，子粒产量、产油量、地上部干重及含油量几乎不受影响；但莲座期或开花期供S不足时，则导致子粒产量、产油量明显下降。其中莲座期供硫不足还严重影响油菜的生物量，而开花期供S不足，不仅导致子粒产量显著降低，而且使菜籽含油量明显下降，仅为对照的80.6%，从而导致产油量(6.79g/株)显著减少。

当有二个时期供S不足时，以幼苗期与角果充实期缺S对产量及含油量的影响最小；其次为生长前期缺S(HLLHH、LLHHH)对子粒产量与油产量的影响相对较小，对含油量没有显著影响，但导致生物量明显降低；后期或中后期供S不足(HHHLL、HHLLH)虽对生物量没有影响，但显著降低子粒的含油量及产量。

当有三个时期供S不足时，以前期缺S(LLLHH、LLHHL)对产量与含油量的影响最小；中期缺S(HLLLH)显著降低子粒产量与产油量，而中后期供硫不足(HHLLL)虽可形成较高的生物产量，但不能形成经济产量，且含油量极低。

当有四个时期供S不足(亦即只有一个时期充足供S)时，以角果充实期充足供S的效益最高，其次是开花期，而其他时期充足供S则不能形成经济产量。

由上述结果大至可以得出如下规律：即前期充足供S是保障植株形成一定营养体的生理基础；但若开花前后供S不足时，则造成植株滞留于营养生长，虽枝叶繁茂但不能实现由营养生长向生殖生长的有效转移，所以不能形成有效角果（如HHLLL）。中期充足供S（如LHHLL、LLHHL）虽可保证植株具有一定的生物产量，但子粒产量及含油量较低。主要是因油菜的生殖生长期供S不足而影响其开花结果及子粒充实、饱满。后期充足供S，尤其是在角果充实期供S充足（LLLLH）时，虽植株因前、中期缺S生长量小（地上部干重仅57g／株），但这时充足供硫促进了油菜的继续开花，并且使植株很快进入了生长中心为开花结实的有效转移，故可获得较高的产量（16.3g／株），并且明显高于前期曾有充足供S阶段的处理（如HHLLH、HLLLH）。这可能因后两组处理生物量较高（64～96g/株），植株的庞大个体对硫需求产生强烈的竞争性库效应且营养体本身有更高的库强度[16,18]，植株所吸收的硫素不能集中用于生殖生长为中心的有机代谢，所以子粒产量较低。同时也说明，低S处理远低于油菜的临界值，无论短期或全生育期供给，均无法满足油菜的正常生长所需。

表 2 不同生育期供硫水平调节对油菜籽产量及产油量等的影响（温室砂培，1994）

Table 2 Effect of sulfur supply during growth stages on seed, oil and ground dry matter of oilseed rape (Glasshouse, sand culture)

编号 Code	各期供硫水平[1] S supply	子粒产量(g/株) Seed yield (g/plant)	产油量(g/株) Oil yield (g/plant)	地上部干重(g/株) Ground DM(g/plant)	含油量(%) Oil cont.
16	HHHHL	30.84	12.25	106.80	39.71
20	HHLHH	30.06	12.32	97.64	40.98
12	HHHHH	28.62	11.62	84.11	40.61
2	LHHHH	27.66	11.53	115.11	41.70
8	LHHHL	26.00	9.95	92.68	38.27
17	HLHHH	21.82	8.95	74.40	41.00
22	HHHLH	20.50	6.79	81.96	32.73
18	HLLHH	19.88	7.92	69.71	39.82
3	LLHHH	19.60	8.15	67.70	41.59
4	LLLHH	19.47	7.95	69.00	40.82
10	LLHHL	19.19	7.27	79.68	37.87
15	HHHLL	16.69	5.44	75.50	32.60
5	LLLLH	16.25	6.61	57.29	40.67
19	HLLLH	13.00	5.01	63.92	38.56
7	LHHLL	11.37	3.18	79.58	27.95
21	HHLLH	8.36	2.83	96.31	33.85
11	LLLHL	6.81	1.81	65.26	26.54
9	LLHLL	0.76	0.11	55.89	20.99
14	HHLLL	0.10	0.01	73.62	14.09
6	LHLLL	0.01	0.00	62.18	0.00
13	HLLLL	0.00	0.00	24.52	0.00
1	LLLLL	0.00	0.00	17.99	0.00
	s.e.d.	3.00	1.23	12.51	1.80
	l.s.d.	5.98	2.48	25.27	3.64
	$p<0.05$				

1）排列顺序依次为：幼苗期、莲座期、抽薹期、开花期、角果充实期

Growth stages are in following order: germination, rosette, stem elongation, flowering and pod filling.

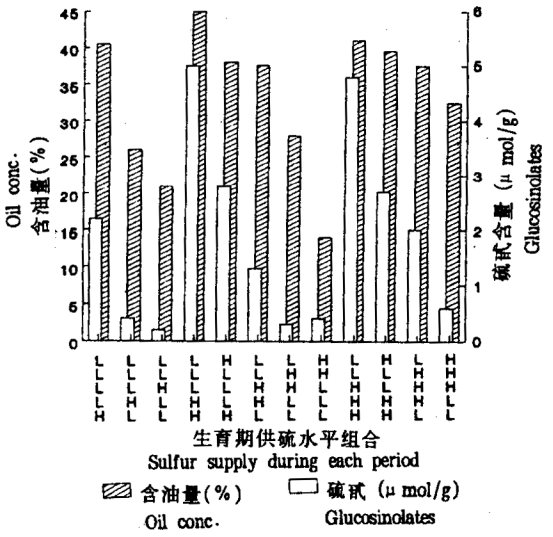

图1　供硫水平对油菜含油量及硫甙含量的影响

Fig. 1　Effect of sulfur supply on oil content and glucosinolate concentration of oilseed rape

表 3　各期供硫水平对油菜单株产量组成的影响

Table 3　Effect of S supply on yield component of oilseed rape

供硫水平 S supply	茎枝干重 Stem DW (g/plant)	果枝数 No. of fruiting branches	角果数 No. of pods	千粒重 1000-seed weight (g)	空果及果皮重 Empty pods and pod wall	单角籽粒数 Seeds no. per pod
HHHHL	45.32	23.1	619.8	3.97	25.10	12.8
HHLHH	40.02	25.3	581.0	3.67	23.12	14.4
HHHHH	30.57	16.8	505.6	3.47	21.83	16.5
LHHHH	63.73	15.0	435.3	3.89	19.66	16.4
LHHHL	39.06	22.8	531.8	3.61	22.40	14.0
HLHHH	30.99	13.2	299.7	3.75	17.27	14.9
HHHLH	33.73	26.9	502.3	3.41	24.30	12.0
HLLHH	25.99	20.2	404.6	3.63	19.09	13.6
LLHHH	26.47	12.4	337.1	3.79	16.57	15.5
LLLHH	25.70	16.3	353.5	3.80	17.14	14.0
LLHHL	34.51	16.2	384.0	3.87	19.82	12.8
HHHLL	35.05	15.7	398.6	3.35	19.35	12.5
LLLLH	22.42	26.4	401.9	3.46	14.17	11.8
HLLLH	30.75	43.7	444.1	3.57	15.85	8.1
LHHLL	44.73	14.2	340.7	3.09	18.40	10.4
HHLLH	69.18	70.8	451.3	3.55	14.92	5.4
LLLHL	38.17	10.3	251.3	3.00	15.11	8.4
LLHLL	48.86	2.8	36.9	1.82	1.92	9.6
HHLLL	66.81	1.1	21.1	0.88	1.07	5.4
LHLLL	58.91	0.2	3.0	0.00	0.12	0.0
HLLLL	22.22	0.0	0.0	0.00	0.00	0.0
LLLLL	15.05	0.3	0.6	0.00	0.02	0.0
s.e.d.	7.50	5.00	7.70	0.28	2.80	1.50
l.s.d.	15.10	10.20	15.60	0.57	4.50	3.03
$p<0.05$						

子粒含油量受适宜供S时期的影响较大。后期充足供S不仅可显著提高菜籽的含油量，而且还提高菜籽的S含量；同时，菜籽的硫甙含量也相应增加(图1)。因菜籽硫甙含量与S浓度呈显著的指数相关($y = 1.1572e^{3.5289x}$, $R^2 = 0.83$)[27]。

比较供S水平对产量构成因素的影响(表3)可见，前期，特别是莲座期充足供S是提高茎、枝干物重的重要保证。单株角果数是产量构成的重要因子，统计结果表明，角果数与菜籽产量相关极显著($R^2 = 0.65$)。单株角果数达450～600个是保证高产的基础，莲座期缺S有使单株角果数降低的趋势。千粒重是产量构成的另一重要指标，与菜籽产量也呈极显著的正相关($R^2 = 0.80$)，其大小主要受后期供S丰缺的影响。

硫营养对油菜产量构成的影响与产量因素形成的顺序性和阶段性有关。油菜产量的形成通常是角果数在前，子粒数随后，粒重最迟[28,29]。为此，角果数主要受营养生长的制约，而缺S影响子粒数的原因主要是硫素供应不足，营养不良，在开花受精前因胚囊退化，开花时未能授粉、受精而败育或受精后胚胎退化所致。角果充实期是粒重的主要决定期，角果皮的光合产物是影响子粒灌浆、饱满、充实的主要来源，而角果皮的生长发育又主要靠开花期营养器官提供光合物质[29]。为此，开花期与角果充实期硫素供应的丰缺状况，直接或间接地影响菜籽的千粒重。

(三)油菜不同生育时期的吸硫速率

在油菜生长的全生育过程中存在两个吸S高峰，一是在莲座至抽薹期，另一是在开花至角果充实期，且第二个高峰明显大于第一个(表4)。第一个高峰主要是由于植株营养器官快速生长，干物质累积量急剧增加(为前一生长阶段的8.5倍)；第二个吸S高峰主要是因植株处于生殖生长代谢最为活跃的阶段，大量碳水化合物、脂肪的合成积累并向库运转[28～30]，营养分配竞争激化，库源矛盾突出，刺激了光合物质的生产，生物量骤增，因而吸S量高(94mg/株)，占全生育期吸S总量的44%，吸S速率达2.3mg/(plant·d)。并且油菜的吸S规律与不同生育阶段糖类，干物质积累强度的"双峰"曲线[30]相一致。

表 4 油菜各生长阶段的吸硫量及速率(温室砂培，1994)

Table 4 Amount and rates of S uptake during growth periods of oilseed rape (glasshouse, sand culture)

生长阶段 Growth periods	干重物% DM of total	吸硫量 S uptake (mg/plant)	占总吸S% % of total S uptake	速率 Uptake rates (mg/(plant.d))
GR-RS, 0～35d	1.63	7.15	3.36	0.20
RS-SE, 36～67d	13.85	43.77	20.59	1.37
SE-FL, 68～103d	12.97	36.49	17.16	1.01
FL-PF, 104～144d	55.41	94.28	44.34	2.30
PF-MT[1)], 145～190d	16.14	30.94	14.55	0.70

1) MT: Matutity 成熟期

(四)供硫水平对油菜开花、成熟的影响

充足供S可显著促进油菜的开花(95～107天)与成熟(<190天)；而供S不足因严重影响植株的生育进程，使开花期推迟约20～30天。对子粒成熟期的影响主要受后期供S水平的制约，当前期供S不足，而中、后期提高供S水平时，植株则因再次开花或开花期的延长而使成熟期明显推迟约15～30天(图2)，造成植株出现成熟角果与新鲜角果并存。当间断性供以高硫时(如HHLLH)，

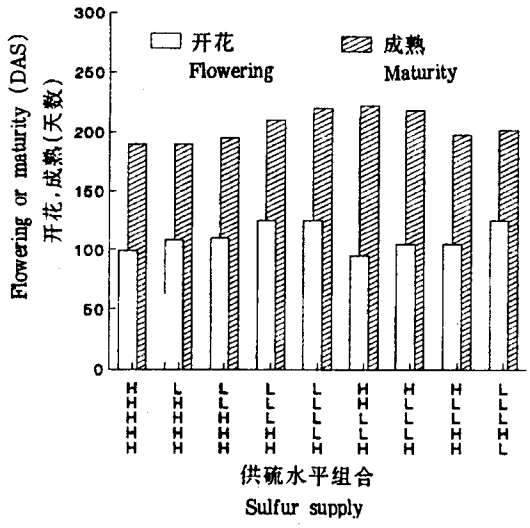

图2　供硫水平对油菜开花，成熟(天数)的影响

Fig.2　Effect of S supply on flowering and maturity(DAS) of oilseed rape

会使角果在果枝上的分布呈断续状。原因主要是低S处理远无法满足油菜对S素的需要，而贮存在植株体内的S被很快耗尽或难以再利用，只能勉强维持代谢，但不能形成有效角果。研究中发现，重新供以高S后，则尚未完全枯死的生长点再次萌发，继续生长并开花结果。

(五)油菜硫营养的临界期与最大效率期

逐一比较每一生育期供S不足对菜籽产量的影响可见，以莲座期(HLHHH)与开花期供S不足(HHHLH)的影响最严重，而其他某一时期缺S与全生育期充足供S(HHHHH)，菜籽产量无显著差异(图3，表2)。开花期、莲座期缺S，子粒产量仅占充实期或抽薹期低S处理的66%～73%。莲座期缺S主要影响植株的营养生长，使生物量降低(如茎、枝干物重仅有充实期与抽薹期缺S的

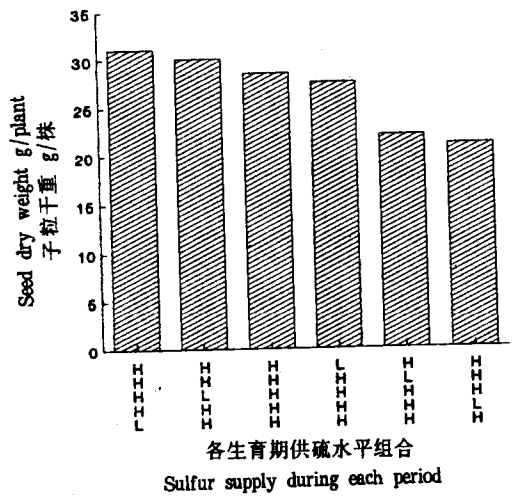

图3　不同生育期低硫处理对子粒产量的影响

Fig.3　Effect of S supply during growth stages on seed yield

68%及77%),进而影响到产量构成的角果数因素,单株角果数不足300个,约为角果充实期或抽薹期缺S的50%(表3)。由此可见,该期供S不足对产量所造成的影响,即使以后补施更多的S也无法挽回,证明了莲座期供S状况对菜籽产量的重要性[14,15,18]。所以莲座期是油菜S营养的临界期。

然而开花期供S不足同样会导致菜籽产量严重降低(图3,表2)。开花期供S不足主要影响油菜的果实形成、发育,子粒数减少,粒重降低,无效角果增多(表3);同时子粒饱满、充实度下降,导致含油量及产油量严重减少(表2)。这主要是植株各营养器官此期已基本发育至最大,生理代谢最为旺盛,对养分的消耗量大。随着以角果形成及子粒充实为中心的库强度不断扩大,不仅对S而且对其他养分(如氮)的需求量也大,油菜开花期为一生中需N的高峰期,达12.81mg/(plant·d)(任沪生等,1964)。有报道指出,花期是油菜对N素营养的最大效率期[31,32]。大量N素的吸收及高效利用必然需要S素效能的充分发挥以维持植株体正常的有机代谢,因植物体内蛋白态N和蛋白态S之比几乎是衡定的[33]。由此可见,油菜的开花期不仅是N,而且也是植株S营养的最大效率期。

总之,油菜的需S规律与不同生育阶段糖类、干物质积累强度的"双峰"曲线相一致,又恰与S营养的临界期与最大效率期相吻合,是油菜S肥管理的两个关键时期。同时,因开花期(最大效率期)的需S高峰明显高于莲座期(临界期),所以莲座期适量施用S肥而开花期保证S素的充足供应,是发挥油菜生产潜力,提高产量的重要措施。

参 考 文 献

1 Beck S D and Reese J C, 1976: Insect-plant interactions: nutrition and metabolism. Recent Adv. Phytochem., 10:41~92.

2 Benn M, 1977: Glucosinollates Pure Appl. Chem., 49:197~210.

3 Hsieh C F, 1983: Sulfur in the agrlic., of Taiwan. Sulfur in S. E. Asian & S. Pacific Agric. 200~205.

4 Mithen R, 1992: Leaf glucosinolate profiles and their relationship to pest and disease resistance in oilseed rape. Euphytica, 63:71~83.

5 Smith F W et al., 1983: Sulfur requirements of tropical forages. Sulfur in S. E. Asian & S. Pacific Agric. 76~86.

6 Machev N P and Schraudolf H, 1977: Biochemical relation between thiocyanide assimilation and indole-glucosinolate biosynthesis in *Sinapis alba* L. Proc. Sec. Int. Symp. on Symp. on Plant Growth Regulators, 110~116

7 Machev N P and Schraudolf H, 1978: Thiocyanate as predecessor of asparagine in *Sinapis alba* L. Plant Physiol. (Bulgaria) 4:26~33.

8 Schnug E, 1990: Glucosinolates-fundamental, environmental and agricultural aspects. In: Sulfur Nutrition and Sulfur assimilation in higher plants. Edited by Rennenberg, H. et. al. 97~106. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands.

9 Underhill E W, 1980: Glucosinolates. In Encyclopedia of plant physiology, New series, vol. 8, Secondary plant products 493~511.

10 Evans E, 1989: Glucosinolates and double low oilseed rape. In: Double low oilseed rape for the 1990's. Semundo Cambridge, 79~83.

11 Schnug E, 1989: Double low oilseed rape in West Germany: Sulphur nutrition and glucosinolate levels. In: Production and protection of oilseed rape and other brassica crops, Aspects of Applied Biolog., 23:67~82.

12 Leval D, 1986: Objective: high winter rape yields. Cultivar., 197:63~65.

13 Zhao F J, 1991: Sulfur and oilseed rape production in the United Kingdom. Sulfur in Agric., 15:13~16.

14 Janzen H H and Bettany J R, 1984: Sulphur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. Soil Science Society of America Journal., 48:(1)100~107

15 Pinkerton A and Hocking P J, 1987: Effects of applying S to sulfur-deficient linseed and rapeseed. Agronomy 1987-

Responding to Change. Proceedings of the 4th AustrabM6. 13, cM149. 85, dM6. 13, y9Responding to Change. Proceedings of the 4th Australian Agronomy Conference. La Trobe Univ. Melbourne, Vic. Australian Society of Agronomy, 267.

16 Bouma D, 1967: Nutrient uptake and distribution in subterranean clover during recovery from nutritional stresses Ⅱ. Experiments with sulfur. Australian Journal of Biological Sciences. 20:613～621.

17 Janzen H H, 1986: Sulfur nutrition of rapeseed. Dissertation-Abstracts-Int., -B-Sciences and Engineering, 46:8,2507B.

18 Nuttall W F and Ukrainetz H, 1991: The effect of time of S application on yield and sulphur uptake of canola. Communications in Soil Science and Plant Analysis., 22:3～4,269～281.

19 Johnson C M and Nishita H, 1952: Microestimation of sulfur in plant materials, soils, and irrigation waters. Analytical Chemistry., 24:736～742.

20 Hewitt E J, 1966: Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Bureau of Horticultural crops, Technical Communication, The UK. 3～445.

21 Pinkerton A, Hocking P and Wang Q, 1995: Critical periods of sulfur nutrition of canola, Rapeseed Today and Tomorrow, Proceedings of the Ninth International Rapeseed Congress, Cambridge, 4～7, July, 1:302～304.

22 Pinkerton A, Randall P J, and Wallace P A, 1993: Determination of total glucosinolates in oilseed rape by X-ray spectrometric analysis for oxidised sulphur (S^{6+}). J. Sci. Food Agric, 61:79～86.

23 Norrish K and Hutton J T 1977: Plant analysis by X-ray spectrometry. 1. Low atomic numberelements, sodium to calcium, X-ray Spectrometry, 6:6～11.

24 Schnug E and Habeklaus S, 1988: The sulphur concentration as a standard for the total glucosinolate content of rapeseed and meal and its determination by X-ray fluorescence spectroscopy (X-RF method). J. Sci. Food Agric., 45:243～254.

25 Adiputra I G K and Anderson J W, 1993: Effect of sulfur nutrition and leaf excision on distrbution and redistribution of sulfur in barley: In: Barrow, N. J.(Ed.) Plant nutrition from genetic engineering to field practice. Klumer Academic Publishers, 239～242.

26 Clarkson D T, Smith F W and Berg P J V, 1983: Regulation of sulphate transport in a tropical legume, *Macroptilium atropurpureum*, cv. Siratro. Journal of Experimental Botany., 34(148):1463～1483.

27 王庆仁，1996：硫肥施用对双低油菜产量与品质的影响。植物营养与肥料学报，2(1)：57～67。

28 中国农科院油料作物所，1979：油菜栽培技术。农业出版社，10～105。

29 中国农科院油料作物所，1990：中国油菜栽培学。农业出版社，108～162。

30 浙江农业大学主编，1990；作物营养与施肥。农业出版社，22～23。

31 陆景陵主编，1994：植物营养学。北京农业大学出版社，135。

32 浙江农业大学主编，1980：农业化学。农业出版社，29～30。

33 高井康雄.(敖光明，梁振光译，1988)，1976：植物营养与技术。农业出版社，230～238。

STUDY ON SULPHUR CRITICAL AND MOST EFFICIENT PERIODS OF CANOLA-DOUBLE LOW OILSEED RAPE (*BRASSICA NAPUS* CV. OSCAR)

Wang Qingren①
(Soil and Fertilizer Inst, CAAS, Beijing 100081)

Summary

Studies on effect of sulphur(S) supply on growth and development of canola - double low oilseed rape were carried out by using sand culture and adjusting S levels to adequate (H, 0.75mmol/L) or deficient (L, 0.075mmol/L) according to five growth stages in glasshouse. The results indicated that the symptoms of S deficiency appeared more quickly with low S supply during earlier stages rather than middle or late ones. The symptoms appeared and disappeared on new tissue first when provided deficient or sufficient S supply. The seed yield and oil content were affected more heavily when supplied low S during middle or late stages than that during early ones. The optimum yield was obtained by at most one low S period during any one of the 5 stages except during rosette or flowering. No or nearly no economic yield was obtained while supplied low S throughout, neither one nor two periods before stem elongation. Meanwhile, oil, glucosinolate and S concentrations were increased by adequate S supply during late stages.

Compared seed yield with low S supply at each period, the critical peroid of S nutrition was during rosette while the most efficient period was during flowering. The vegetative growth was improved by early period of adequate S supply, and the reproductive growth, such as pod numbers, seeds weight, etc. was increased significantly by increasing S during middle or late period. In addition, early low S supply delayed flowering, and the maturity was delayed when S level was increased during the middle or late stage because of the plant growing flowering and fruiting again. Pods were distributed discontinuously on the fruiting branches with low S supply during flowering only.

There were two peaks of S uptake during whole growth period of oilseed rape. One was from flowering to pod filling, the other was from rosette to stem elongation. However, these two peaks were just well related to S most efficient and critical periods, in which enough attention should be paid in S management of the crop.

Key Words Critical and most efficient periods Sulphur Oilseed rape.

① Address: Research centre for Eco-Environmental Sci. CAS, Beijing 100085