

氮肥对套作大豆干物质积累与分配的影响^{*}

张含彬 伍晓燕 杨文钰

(四川农业大学农学院, 雅安 625014)

摘要 在麦/玉米/豆种植模式下, 研究了施氮量对套作大豆干物质积累与分配的影响。结果表明, 随着施氮量的提高, 大豆 LAI 增大, 叶片衰老延缓, 在盛荚期保持更大的叶面积, 有利于干物质的积累。适宜的施氮量($\leq 135 \text{ kg/hm}^2$)在大豆结荚期后能协调植株各部分干物质的输出率, 对套作大豆有明显的增产作用; 高氮处理(180.225 kg/hm^2)促使植株茎、叶干物质在始熟期积累过多, 而干物质的输出率降低, 导致源/库比例不协调, 对豆荚的贡献率降低, 产量降低。就不同器官而言, 叶片对籽粒的贡献率大于茎秆对籽粒的贡献率。干物质与产量构成因素存在明显相关, 在套作大豆苗期, 根、茎干物质与充实度、产量显著正相关; 在套作大豆生育中、后期, 叶片干物质积累与产量构成因素呈显著负相关。综上所述, 适宜施氮量($45 \sim 90 \text{ kg/hm}^2$)提高干物质的贡献率, 减少大豆秕粒, 有利于套作大豆获得高额产量。

关键词 施氮量; 套作大豆; 干物质; 产量; 相关关系

中图分类号 S565.1 S143.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2006)04-0404-06

我国南方是栽培大豆的起源地之一, 主要分布于丘陵地区。在川中丘区和盆周山区采用旱地新三熟麦/玉/豆模式^[1], 对于大豆增产, 农民增收, 土壤增肥等效果明显。但关于套作大豆生理特性、产量、品质形成规律的研究尚为空白, 制约了该模式的推广。

大豆自身积累高浓度的蛋白质, 要维持其正常生长仅靠根瘤固氮的供给是远远不够的, 必须给以足够的氮肥^[2-4]。有关氮肥运筹对间套作大豆干物质积累与产量的研究鲜为报道。为了明确套作大豆干物质生产、转运和分配的规律, 本文在麦/玉/豆模式下, 研究了不同施氮量对套作大豆干物质积累、分布与转运的规律, 旨在明确套作大豆氮素养分、地上部分生长和产量之间的关系, 为南方地区套作大豆的发展提供相应的技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2005 年 7 月上旬至 11 月底在四川农业

大学教学农场进行。供试品种: 玉米为临奥 1 号, 中秆(株高 230 cm); 大豆为贡选 1 号, 亚有限结荚习性, 晚熟。供试土壤为紫色大土, 重壤, pH 6.45, 有机质含量 28.8 g/kg , 全氮 1.52 g/kg , 全磷 0.88 g/kg , 全钾 27.2 g/kg , 速效氮 126.2 mg/kg , 速效磷 25.9 mg/kg , 速效钾 96.8 mg/kg 。

1.2 试验设计

试验设置 6 个处理, 分别为施纯氮 0(CK), 45(N1), 90(N2), 135(N3), 180(N4), 225(N5 kg/hm²), 基肥与追肥比为 1:1, 初花期 R_i 追肥。过磷酸钙(P₂O₅ 17%) 450 kg/hm² 全作底肥; 硫酸钾(K₂O 52%) 60 kg/hm², 其基肥与追肥比为 1:1, 追肥在初花期 R_i 施用。大豆与玉米幅宽均为 0.5 m, 间距 0.5 m, 带宽 2 m, 其行比为 3:2, 小区长 5 m。玉米施纯氮 263 kg/hm², 按基肥与追肥(大喇叭口期)3:4 施用, 密度为 48000 株/hm²。大豆在玉米吐丝期(7 月 8 日, 株高 230 cm)套种, 密度为 234000 株/hm²。采用随机区组排列, 4 次重复, 管理同于大田生产。

* 收稿日期: 2006-05-15

基金项目: 四川省重大攻关项目“盆周山区可持续农业发展技术与示范”(04NG020-017)

作者简介: 张含彬(1980-), 男, 在读硕士, 从事植物生理与栽培的研究, E-mail: duck-zhb@163.com

通讯作者: 杨文钰教授, 博士生导师, 四川省学术技术带头人。

1.3 测定项目及方法

在大豆三节期 V_3 (8月11日) 开始取样, 以后分别在五节期 V_5 、盛花期 R_2 、盛荚期 R_4 、始粒期 R_5 、始熟期 R_7 取样共6次; 收获时, 每小区取6株, 调查分枝数、结荚数、荚粒数、充实百粒重和经济系数, 测定实际产量。

叶面积测定采用打孔称重法^[3]; 干物质分根、叶、茎(包括叶柄)、荚在 105°C 下杀青, 在 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重重量; 籽粒充实率参照朱庆森方法有改动^[6]: 籽粒充实率=充实籽粒数/受精籽粒数^[7];

输出率(Output Ratio), 简称 OR=

$$\frac{\text{盛荚期器官干重} - \text{始熟期器官干重}}{\text{盛荚期干物质积累量}} \times 100\%;$$

贡献率(Contribution Ratio, 简称 CR)=

$$\frac{\text{盛荚期器官干重} - \text{始熟期器官干重}}{\text{始熟期荚干重}} \times 100\%;$$

数据采用 Microsoft excel 2003 和 DPS V6.55 版进行汇总与统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对套作大豆 LAI 和 LAR 的影响

2.1.1 叶面积指数 从图1可看出, 各个氮肥处理 LAI 呈不对称单峰曲线, $V_3 \sim V_5$ 为缓慢增长期, $V_5 \sim R_4$ 为快速增长期, R_5 以后为衰亡期; 达到峰值后并不是出现直线下降的趋势(N5 除外), 有一定的缓冲性, 这段缓冲时期可能与产量形成有关^[3]。不同施氮量的叶面积指数变化规律明显, 均随施氮量的增加而增加。CK、N1、N2、N3、N4 的 LAI 在 R_4 时期达到最大值, N5 在 R_5 达到峰值; 在生育末期 (R_7), 高氮处理(N4、N5)推迟叶片衰老, 其 LAI 较 CK、N1、N2、N3 分别高 56.4%、40.6%、17.4%、2.2%。

2.1.2 叶面积比率 植株的干物质积累主要是通过叶片的光合作用而产生的, 叶面积比率能很好反映叶片对干物质积累的贡献。LAR 在五节期以前呈上升趋势, 五节期以后直到始熟期逐渐缩小。不同施氮量的 LAR 不同, 高氮处理(N4、N5)的 LAR 保持较高水平, 其次是对照, 低氮水平(N1、N2)相对较低, 即单位干重叶面积低, 在盛花期以后表现尤为明显(见图2)。

2.2 氮处理下套作大豆干物质积累、转运特点

2.2.1 根干重 各处理的根干重均呈“S”曲线变化, 除 N5 外其它处理的根干重均在 R_5 达到最大值后

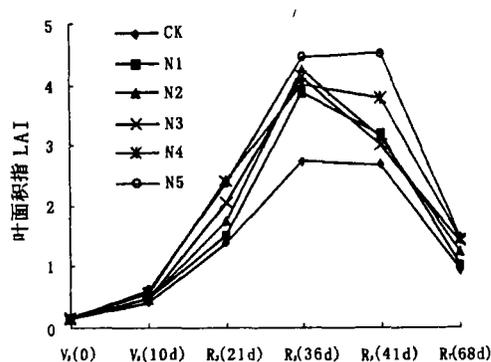


图1 施氮量对大豆 LAI 的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen levels on soybean's LAI

下降(见图3A)。在 V_3 时期, 种肥施用过高的氮素抑制了苗期根系生长, N4、N5 的根干重仅为 N1、N2 的 68% 左右; 在 V_5 时期处理间差异不明显, 根干重在 0.85 g/株 左右; $V_5 \sim R_2$ 时期, 阶段积累量达到最大值, 以 N2 最高 1.53 g/株 , 各处理大小关系为: $N2 > N1 > N3 > CK > N5 > N4$; 在 R_7 时期, 高氮处理的根系生长仍较旺, 高氮处理(N4、N5)比 CK、N1、N2、N3 高 35.4%~59.9%。

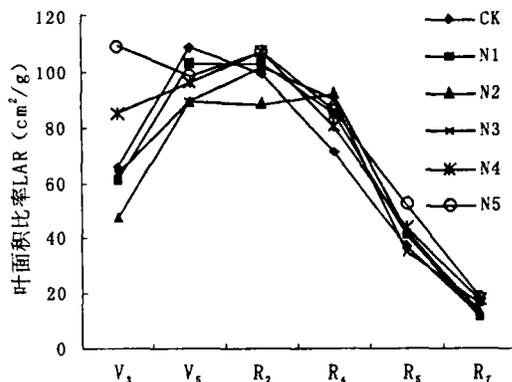


图2 氮肥处理下 LAR 的动态变化

Fig. 2 Changes of LAR at the different nitrogen levels

2.2.2 根冠比 根冠比在整个生育时期呈指数函数下降趋势, 盛荚期是指数函数的转折点, 可见在盛荚期 (R_4) 以前, 地上部分生长速度大于根系的增长; 盛荚期以后, 地下部分与地上部分生长趋于缓和, 根冠比维持在较低水平上。施氮量不同, 根冠比下降趋势有差异, 在生育前、中期, 根冠比随施氮量的增加而降低, 说明了氮肥对地上部分的影响大于对地下部分的影响; 在生育末期 (R_7) 高氮处理(N4、N5)维持较大根量(图3D), 冠重较轻, 因此, N4、N5 的根冠比较 CK 高出 54.1%、65.1%。

2.2.3 茎与叶干重 图B中叶片干重表现为两组单峰曲线, 在盛荚期, 低氮处理(N1、N2)叶片干物质积累达到了最大值, 盛荚期叶片的阶段积累量为

6.47g/株、6.56g/株,占此时期阶段干物质积累总量的48.9%、58.1%;N3和高氮处理(N4、N5)延长了大豆营养生长,叶片干物质积累在始熟期才达到最大值,叶阶段积累量占阶段干物质总量的27.7%、35.6%、37.1%。在峰值出现后,叶片干物质开始转移到豆荚中,以供籽粒灌浆,低氮处理(N1、N2)和CK干物质的再转运比高氮处理出现早,从

而延长了鼓粒期长度,使得大豆籽粒灌浆充分,比高氮处理(N4、N5)更有利于获得高产。在R7时期,所有处理叶片阶段积累量为负值,呈减少趋势。茎秆的生长受氮肥影响不是很明显,CK、N1、N2、N3、N4、N5的茎均在鼓粒期出现最大积累量(图3C),占各自全生育期干物质总量的38.5%、31.8%、33.0%、25.1%、29.3%、31.1%。

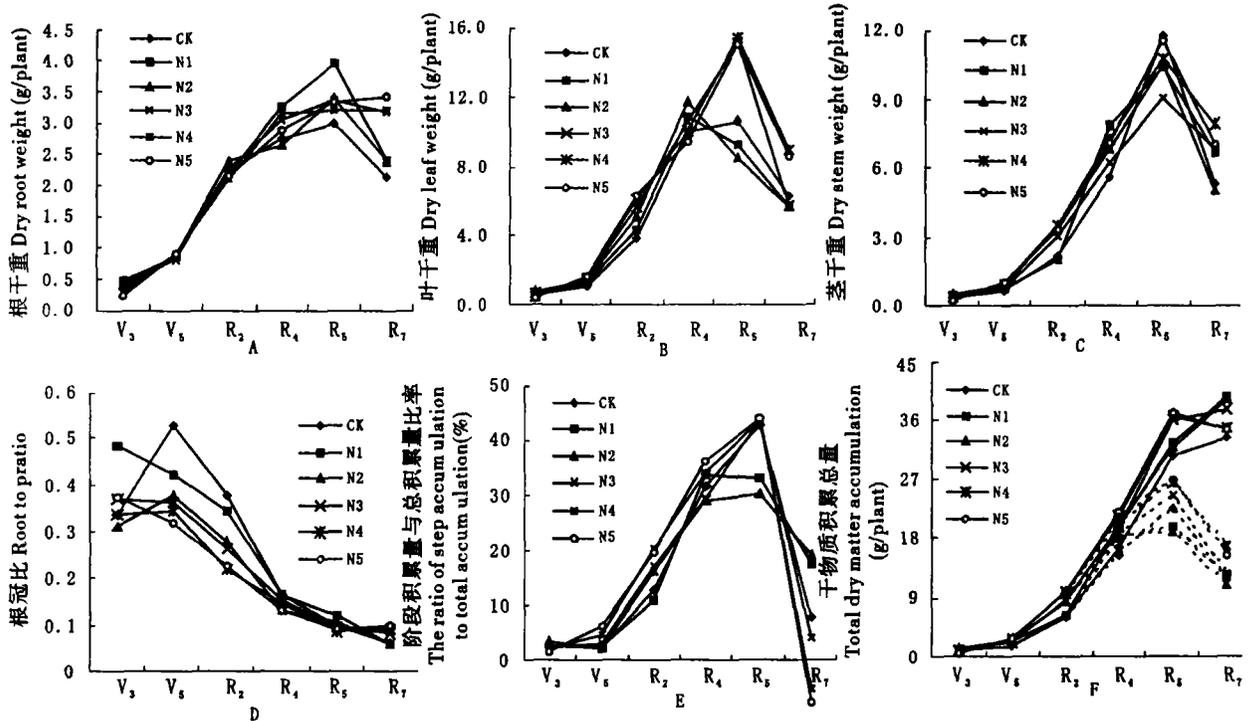


图3 施氮量对大豆干物质积累的影响

Fig. 3 Effect of different nitrogen levels on dry matter

A 根干重, B 叶干重, C 茎干重(包括叶柄), D 根冠比, E 阶段积累量占总量百分比, F ——表示:干物质总量; ——表示:茎+叶
 (A) dry root weight, (B) dry leaf weight (C) dry stem weight, (D) root top ratio, (E) ratio of step accumulation to total accumulation, (F) —— indicates total accumulation, —— indicates dry leaf and stem weight

2.2.4 干物质积累 图3E表示不同氮肥处理的阶段干物质质量占总积累量的百分数。在V3~V5时期,阶段干物质积累量占总干物质积累量的比率变化不大,在R5时期干物质积累量最快,占总量的40%左右,始熟期干物质不再增长,茎、叶干物质转向籽粒中。低氮处理干物质的阶段积累增长趋势较其它处理缓和;高氮处理(N4、N5)在始熟期出现负增长,干物质总量减少5.1%、7.7%,这是由于在始熟期,高氮处理的大豆秕粒与落荚现象较为严重造成。

从三节期至始熟期,干物质积累总量呈 Logistic 曲线增长(见表1),各处理相关系数均达到0.05显著水平。由图3F可见,干物质在苗期增长缓慢,三节期后15d(约大豆分枝期)积累速度迅速增加,

直到始熟期才有缓和趋势。叶、茎在三节期后45d左右达到最大值,之后叶、茎中干物质再转运送往籽粒中,此时叶、茎干物质呈下降趋势,促使籽粒充实,增加百粒重。因此,荚果占干物质的比例越来越大,始熟期荚果约占干物质总量的50.36%~80.56%。不同氮肥处理的干物质质量差异显著,在R5时期以前,干物质总量和茎、叶积累随施氮量的增加而增加;R5~R7时期,干物质总量的大小关系为:N1>N2>N3>CK>N4>N5;而茎秆和叶片干物质之和的关系为:N4>N5>N3>N1>CK>N2。因此,低氮处理(N1、N2)下荚果的积累量大于其它处理。

2.2.5 干物质转运与分配 由表1可知,叶片的输出率与贡献率均大于茎秆,各处理间的贡献率与输出率有差异。N1、N2、N3叶片的OR和CR最大,

CK 次之, N4、N5 处理最小; 高氮处理(N4、N5)延缓地上部分的生长, 叶、茎干物质差量较小, 特别是茎秆在始熟期还在继续增长, 导致茎秆干重差出现负

值, 不同处理的茎秆 OR 和 CR 表现出: 高氮处理(N4、N5)、N3 < 对照 < 低氮处理(N1、N2)。

表 1 不同氮肥处理下套作大豆不同器官的 OR 和 CR

Table 1 OR and CR of different organs in relay planting soybean at different nitrogen levels

处理 Treatment	Logistic 方程	决定系数 R ₂	叶干重差 (g/plant)	叶输出率 OR of leaf (%)	叶贡献率 CR of leaf (%)	茎干重差 (g/plant)	茎输出 OR of stem (%)	茎贡献率 CR of stem (%)
CK	$Y=41.3262/1+d^{4.5080-0.125207x}$	0.9723	3.77	37.5	18.4	0.33	5.8	1.6
N1	$Y=46.3657/1+d^{3.5081-0.098829x}$	0.9746	7.12	55.8	20.3	2.14	24.2	4.5
N2	$Y=46.8931/1+d^{4.3582-0.118808x}$	0.9909	6.10	52.3	22.8	1.80	26.3	6.7
N3	$Y=43.6714/1+d^{3.0739-0.096821x}$	0.9335	4.92	46.4	20.3	-0.55	-8.8	-2.3
N4	$Y=40.2194/1+d^{5.0887-0.156809x}$	0.9687	1.09	10.9	6.5	-0.64	-8.8	-3.8
N5	$Y=40.9434/1+d^{3.9471-0.127764x}$	0.9632	0.89	9.4	4.9	0.05	0.7	0.31

注: Y 代表干物质积累总量(g), X 代表三节期后天数(d)

Note: Y and X indicate dry matter and day of V₃, respectively.

2.3 干物质积累与产量构成因素的关系

2.3.1 大豆产量及其构成因素 由表 2 可见, 成熟时高氮处理(N4、N5)茎干重显著高于 CK, 且粒茎比低于其它处理, 说明了在成熟期茎秆的干物质输出率降低, 不利于籽粒灌浆, 从而籽粒充实率表现

出, 高氮处理(N4、N5) < 对照、N3 < 低氮处理(N1、N2)。低氮处理下大豆产量与其它处理差异极显著, 当施氮量大于 N3 处理时, 产量增加不明显, 还出现小幅减产, 较对照减少 0.62%~1.08%。

表 2 不同施氮量对套作大豆产量及其构成因素的影响

Table 2 The effects of relay planting soybean's yield and its components at different nitrogen levels

处理 Treatment	单株结荚数 Pods No. per plant (g/plant)	荚皮重 Pod shell weight (g/plant)	茎干重 Dry weight of stem (g/plant)	单株粒重 Seeds weight per plant (g/plant)	百粒重 100 seed weight (g)	籽粒充实率 Seed filling	粒茎比 Seeds W. T / stem W. T	实测产量 Yield (g/m ²)
CK	28B	4.16b	5.22b	7.97BC	16.71B	64.6%	0.459	170.50B
N1	36AB	5.35ab	6.09ab	10.33AB	17.45AB	74.3%	0.474	204.50A
N2	37AB	5.45ab	8.15a	11.01A	17.98A	78.7%	0.447	199.17A
N3	40AB	5.44ab	7.39ab	10.27AB	17.03AB	65.3%	0.444	173.75B
N4	44A	4.09b	5.86ab	6.47C	17.58AB	57.4%	0.394	168.67B
N5	44A	6.47a	8.59a	7.40C	17.48AB	62.3%	0.329	169.45B

注: 表中大写字母表示到达 0.01 显著水平, 小写字母表示达到 0.05 显著水平。

Note: Capital letter and small letter indicate significant at 0.01 and 0.05 levels, respectively.

表 3 不同生育时期干物质与产量间的相关性

Table 3 Correlation coefficients in dry matter and yield at different nitrogen levels.

生育时期 Growth stage 相关系数	V ₃			R ₅		
	百粒重 100 seed weight	充实率 Seed filling rate	产量 Yield(g/m ²)	百粒重 100 seed weight	充实率 Seed filling rate	产量 Yield(g/m ²)
LAI	0.2304	-0.7218	-0.6159	0.4280	-0.4281	-0.3171
根干重 Dry root weight(g/plant)	0.1450	0.7975 *	0.8636 *	0.3654	0.5624	0.7864 *
叶干重 Dry leaf weight(g/plant)	0.1931	0.7026	0.5218	-0.2060	-0.8661 *	-0.8146 *
茎干重 Dry stem weight(g/plant)	0.3675	0.8117 *	0.7841 *	-0.1120	-0.3017	-0.2818
总干重 Total accumulation(g/plant)	0.2723	0.7693 *	0.6478	0.1410	-0.6520	-0.5381
根冠比 Root-top ratio	-0.0881	0.2071	0.4561	0.1969	0.8301 *	0.9293 *

*, ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

*, ** Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

2.3.2 干物质积累量与产量的相关性 由表3所示,三节期大豆LAI、干物质积累处于起始阶段,良好的苗期生长,为高产奠定了基础,根干重、茎干重与充实率和产量相关性较好,在0.05水平上正相关,LAI与二者呈负相关,未达显著;在始粒期(R_5),叶干重与充实率和产量表现出显著负相关,根干重、根冠比与产量呈显著正相关。

从表3相关系数还可以看出,充实率与产量的相关系数较为接近,百粒重的相关系数较差。通过分析百粒重、充实率与产量的相关关系,结果分别为 $r=0.5100$ 、 $r=0.9209^{**}$,充实率与产量达到极显著正相关。百粒重与产量虽然表现出正相关性,但是未达到显著水平,可见,要获得高额产量,首先应考虑如何提高大豆的充实率,减少秕粒的出现。

3 讨论

本研究中的套作大豆种植密度大,加上较高的施氮量,从而促使套作大豆的最大叶面积指数高达4.5以上,比一般的单作大豆还要高出1倍左右^[8]。套作大豆叶片对豆荚的贡献率较茎秆大,这与其它禾本科作物有所不同^[7,9,10],因此,要获得大豆高产就必须重视叶片的生长与光合产物的积累。高氮处理(N4、N5)虽然延缓了套作大豆的营养生长,但是仍然遵循Logistic生长曲线,只是推迟了最大生长速率及其出现天数,因而,高氮处理的大豆在鼓粒期还在进行营养生长,不利于产量的形成;低氮处理(N1、N2)叶片最大积累速率较早出现,延长了大豆的鼓粒期,而鼓粒期长短对产量形成起作直接的作用^[11,12]。因此,本研究中低氮处理(45~90 N kg/hm²)的大豆产量较高。

干物质的积累影响产量的提高,这在本研究中也得到证实,但不同器官干物质积累量对套作大豆产量的影响程度因套作大豆生育时期而异。在套作大豆生育前期,根和茎秆与产量的相关性较好;在生育中、后期,叶片干物质的积累与产量的形成关系密切(见表3)。说明前期是根系生长的主要时期,良好的根系是决定后期营养生长,干物质转运效率的关键;在套作大豆生育中、后期,高氮处理的叶片干

物质积累过多,地上部分贪青晚熟,造成减产。

前人的研究局限于大豆干物质的积累与产量的关系,而关于大豆干物质分配规律的研究还远不及其它农作物。本文研究套作大豆干物质分配规律,发现高氮处理(N4、N5)的茎秆输出率出现负值,降低了干物质再转运,源/库比例失调,不利于大豆籽粒灌浆。进一步说明了氮肥能延长植株的营养生长,单靠增施氮肥是不利于大豆获得高额产量。各个氮肥处理下的干物质贡献率仅占干物质输出率的48%左右,大部分干物质在转移到豆荚过程中损耗掉,如何提高套作大豆干物质的贡献率有待于进一步的研究。

参 考 文 献

- 1 王竹,杨文钰.南方丘区大豆种植新模式[C].见杨文玉,马均,刘永红,等主编.作物栽培生理研究文集.北京:中国农业出版社,2005,507-511.
- 2 董钻.大豆产量生理[M].北京:中国农业出版社,2000.
- 3 丁洪,郭庆元.氮肥对不同品种大豆氮积累和产量品质的影响[J].土壤通报,1995,26(1):18-21.
- 4 Pantalone V J, Rebeck G J, Buort J W. Phenotypic Contention of root trait in soybean and applicability to plant breeding[J]. Crop Science, 1996, 36(2):456-459.
- 5 刘鹏,杨玉爱.钼、硼对大豆光合效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):456-461.
- 6 朱庆森,张祖建.亚种间杂交稻产量源库特征[J].中国农业科学,1997,30(3):52-59.
- 7 高庆荣,孙兰珍,刘保申.杂种小麦花后干物质积累转运动态和分配[J].作物学报,2000,26(2):163-170.
- 8 何天祥,郑传刚,吉牛拉惹,等.攀西地区秋大豆干物质积累与分配规律的研究[J].大豆科学,2001,21(3):216-220.
- 9 朱新开,郭文善,周正权,等.氮肥对中筋小麦扬麦10号氮素吸收、产量和品质的调节效应[J].中国农业科学,2004,37(12):1831-1837.
- 10 杨志根,顾掌根,沈明华,等.早粳稻与早籼稻干物质积累及运转率比较试验[J].浙江农业科学,1998,(2):56-57.
- 11 Minch, F. R., R. J. Summeerfield, M. C. Carbon metabolism, nitrogen assimilation and seed yield of cowpea grown in an adverse temperature regime[J]. ExpBot. 1980, 31:1327-1347.
- 12 Boon Long P., Egli D. B., Legget J. E. Leaf nitrogen and photosynthesis during reproductive growth in soybean[J]. Crop Sci., 1982, 23(4):617-620.

EFFECT OF NITROGEN FERTILIZER ON THE ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF DRY MATTER IN RELAY PLANTING SOYBEAN

Zhang Hanbin Wu Xiaoyan Yang Wenyu

(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014)

Abstract In the wheat/maize/soybean relay cropping pattern, the accumulation and distribution of dry matter were studied at different levels of nitrogen fertilizer (0, 45, 90, 135, 180, 225 kg/hm²). The results showed that the leaf area index (LAI) of soybean was improved and leaf senescence was deferred by increasing of nitrogen levels, nitrogen treatments kept the high LAI of soybean at the growth stage of R₄, which was favorable for the dry matter accumulation. Appropriate nitrogen levels (≤ 135 kg/hm²) harmonized the dry matter outputting ratio (OR) to every organ of soybean after pudding, and increased yield of relay planting soybean. The high level of nitrogen (180, 225 N kg/hm²) accumulate more dry matter before maturation, which led to the unharmonious correlation between the storeroom and source, declined the OR of dry matter, lowed the soybean yield. As different organ was concerned, contribution ratio (CR) of leaf was more than that of stem. There was correlation between dry matters accumulation and yield components, dry matter of root and stem had a significant positive correlation with seed filling and yield at seedling growth stage of relay planting soybean, but dry leaf weight had a negative correlated with the yield components at the later growth stage. In a word, appropriate nitrogen levels (45~90 kg/hm²) improved CR of dry matter and decreased vacant seed, which was effective for achieving harvest.

Key words Nitrogen application amount; Relay planting soybean; Dry matter; Yield; Correlation coefficient

(上接 413 页)

EVALUATION OF RESISTANCE OF SOYBEAN GERMPLOSM TO COTTON WORM

(*PRODENIAL LITURA FABRICIUS*)

Wu Qiaojuan Wu Juanjuan Wu Yechun Wang Hui Gai Junyi Yu Deyue

(National Center for Soybean Improvement, National Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

Abstract Fifty seven soybean accessions were tested for resistance to cotton worm (*Prodenia litura* Fabricius) by feeding test. Larval weight at 10 days was used as index for resistance. According to the results obtained in 2001 and 2002, there existed significant differences in the resistance of soybean among the 57 accessions and between two years, and there existed also significant interactions between soybean accessions and years. Four materials were identified to be highly resistant to cotton worm, while there were identified to be highly susceptible to cotton worm. These genotypes will be used as standard variety for resistance identification and as materials for novel resistance genes' discovery.

Key words Soybean; Cotton worm (*Prodenia litura* Fabricius); Insect resistance