

大豆群体光合生产模拟模式的初步研究*

胡立成 许忠仁 丁希明 姚远 林蔚刚 董丽华 王以芝

(黑龙江省农业科学院大豆研究所)

张德贵

(中央农业广播电视学校拜泉分校)

摘 要

本文利用大豆结荚期实验室和田间测定的生理指标及当地气象因子为参数建立了群体光合生产干物质积累模式,并对生物产量和经济产量进行了模拟,其结果用田间实测资料作了验证,符合实际,该方法是对大豆产量计算机模拟的一种初步尝试。

关键词 大豆;光合生产;模式

大豆的光合生产是把光能转变为化学能,并形成干物质的过程。传统的群体干物质生产过程的分析,常采用所谓生长分析法,这种方法仅考虑群体自身的增殖过程,而不考虑环境因子对群体增长的影响^[1,5],随着计算机技术的发展,作为一种新的作物生长模拟分析方法考虑到了环境多因子对群体生长的影响,在很大程度上克服了传统分析方法的缺陷^[6-8],大豆群体光合生产模拟模式的研究国内外报道很少。本文根据实验室,田间测定数据和当地气象资料,对大豆群体光合生产及产量模拟模式进行了初步研究,试图作为一种尝试应用于大豆的产量预测。

* 国家自然科学基金资助项目。

本文于1994年5月19日收到。

This paper was received on May 19, 1994.

材料与方 法

本试验(1992—1993)设在哈尔滨黑龙江省农科院大豆所试验地和盆栽场。根据大豆熟期、结荚习性、叶形等形态指标选用 25 份种质(品种)材料,小区行距 70cm,行长 4m,3 行区,亩施磷酸二铵 15kg,5 月 5 日人工按点播绳播种,生育期间三铲三趟,防蚜虫和食心虫。盆栽试验用塑料盆装黑土和细沙(10:1)混合土 14kg,盆底放卵石 1kg,每盆施磷酸二铵 6g,5 月 15 日播种。田间和盆栽二种试验均设三次重复,随机排列,生育期间于分枝、开花、结荚、鼓粒、黄叶期调查干物重,叶面积指数。用 ST-Ⅲ 型照度计晴天条件下测定自然光强,群体内光强及反射光强,计算出群体反射率,消光系数。同时在室内用 ASSA-1610 型 CO₂ 分析仪测定叶片不同温度和不同光强下的光合速率。收获时测定产量结构,计算经济系数,同期气象资料由当地气象台站提供。

模式的描述

大豆光合生产受多种环境因子影响。本文主要模拟假定群体内空气 CO₂ 浓度供应均衡,肥水条件得到满足,没有病虫害。重点从叶片所受光照、温度和呼吸消耗来考虑。

1. 光强度

叶片受光量直接影响光合产物形成,光在群体中的分布以下式表示:

$$I = I_0 e^{-KF} \quad (1)$$

式中: I 为某叶层的光强度(焦耳·厘米⁻²·秒⁻¹); I_0 为群体顶部上方的自然光强度; F 为这叶层上的总叶面积指数; K 为消光系数。

实际计算时 I 采用太阳辐射量实测值进行转换。据经典晴天下辐射量变化呈一正弦曲线的前半部,其平均值:

$$S = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} a \sin x dx = \frac{2a}{\pi} \quad (2)$$

式中: a 为正弦曲线振幅,则 $a = \frac{\pi}{2} S$,假定一天中日照时数 N 小时,则白天某一时刻的辐射 S_R 可用下式表示:

$$S_R = \frac{\pi}{2} \cdot S \cdot \sin\left(\frac{Q}{N}\pi\right) \quad (3)$$

式中: S 为平均辐射量(焦耳·厘米⁻²·秒⁻¹); Q 为日出时间(小时)。

2. 光合强度

Monssi. M 等(1953)^[11]提出群体光合总强度 P 以下式表示:

$$P = \int_0^F \frac{ABI}{A + BI} dF = \int_0^F \frac{AB I_0 e^{-KF}}{A + BI_0 e^{-KF}} dF = \frac{A}{K} \ln \frac{A + BI_0}{A + BI_0 e^{-KF}} \quad (4)$$

在极短的时间内(如一天),群体叶面积可以认为是个稳定值,即叶面积和时间是两个独立变量,一日的的光合产物应是(4)式对时间的积分。即:

$$P = \int_{t_1}^{t_2} \int_0^F \frac{AB I_0 e^{-KF}}{A + BI_0 e^{-KF}} dF dt = \frac{A}{K} \sum_{i=1}^N \ln \frac{A + BI_0}{A + BI_0 e^{-KF}} \quad (5)$$

式中: A 为饱和光强下的光合速率; B 是弱光下叶片同化能力, A 、 B 通过实验求出。

3. 温度对光合作用的影响(P/P_0) T_r

据测定,光合速率和温度的关系呈抛物线关系,其拟合公式为:

$$\left(\frac{P}{P_0}\right)T_r = -23.45 + 5.8T_r - 0.032T_r^2 \quad (6)$$

式中: $\left(\frac{P}{P_0}\right)T_r$ 为温度影响下的相对光合速率; T_r 为温度。

因为光合作用在白天进行,气温的峰值比辐射强度峰值晚一个小时,则气温和日平均温度的关系如下:

$$T_r = \frac{\pi}{2} \cdot T \cdot \sin\left(\frac{Q-1}{N}\pi\right) \quad (7)$$

4. 温度对呼吸消耗的影响 R

夜间植株没有光合作用,但呼吸仍在消耗光合产物,大豆和小麦同是 C_3 植物存在着光呼吸^[9],因此在总呼吸消耗中必须考虑,其关系式:

$$R = 0.965 - 0.0275e^{0.089T_N} \quad (8)$$

式中: R 为呼吸消耗占光合产物的百分率(%), T_N 为夜间平均温度:

$$T_N = T - T_d/4 \quad (9)$$

式中: T 为日平均温度; T_d 为日较差。

5. 群体反射率 α

阳光照射到植物群体上方有一部分反射出去,模拟时必须考虑,其反射率田间实测计

算得到。

6. 转换系数 L

植物把化学能转变为干物质,即同化 1 克 CO_2 形成的干物质。Penning de Vries (1974)^[10]认为 1 克葡萄糖可合成 0.853 克碳水化合物或合成 0.40 克蛋白质,核酸,或合成 0.351 克脂类。大豆籽粒中蛋白质一般 42%,脂肪 20%,糖类 21%,则 1 克干物质 = $\frac{0.42}{0.40} + \frac{0.20}{0.351} + \frac{0.21}{0.853} = 1.866$ 克葡萄糖,而形成 1 克葡萄糖同化 1.46 克 CO_2 ,故同化 1 克 CO_2 可合成 0.3671 克 ($\frac{1}{1.46} + \frac{1}{1.866} = 0.3671$) 干物质。

7. 生物产量与经济产量

大豆的生物产量是全生育期每小时、每天、每旬物质生产积累的结果。李秉柏(1986),黄跃等(1990)^[6,7]研究,把水稻、玉米、小麦、大豆全生育期分为前中期(齐穗、开花前)和后期(灌浆、鼓粒)物质生产积累二部分,并分别乘上不同转移率(光合产物对结实器官的贡献)求得经济产量。本研究发现大豆结荚期的光合生产量可以作为大豆全生育期的物质生产来估计。本文用此阶段的光合生理指标和外部环境因子进行光合产量和经济产量的模拟与实测值比较,其结果较为理想。

综合上述(1)——(9)式:

$$M = L \frac{A}{K} \left[\sum_{i=1}^N \ln \frac{A + B \frac{\pi}{2} \cdot S \cdot (1-\alpha) \cdot \sin \frac{Q}{N} \pi}{A + \frac{\pi}{2} \cdot B \cdot S \cdot (1-\alpha) \cdot \sin \left(\frac{Q}{N} \pi \right) \cdot e^{-KF}} \cdot \left[-23.45 + 5.8 \cdot T \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \sin \left(\frac{Q-1}{N} \pi \right) - 0.032 \left[T \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \sin \left(\frac{Q-1}{N} \pi \right) \right]^2 \right] \right] \cdot [0.965 - 0.0275e^{0.089(T-T_d/4)}] \cdot 666.7 \cdot 10^{-3}$$

由于生物产量含 10% 左右水分,所以 $M_1 = M + 0.1M$

其经济产量

$$Y_1 = M_1 \cdot H$$

式中 y_1 为经济产量(千克/亩); M 为结荚期干物重(千克/亩); M_1 为生物产量(千克/亩); H 为经济系数。

实际计算时,结荚期 A, B, K, F, H, α 通实验可以得到; τ, L 为常数; S, T, T_d, N 可由当地气象台站提供。

计算结果检验

把 25 个大豆种质(品种)光合生理指标及外界气象因子参数输入事先编好程序的计算机,可以得到理论生物产量和经济产量,其和实测值比较(见表 1)相关系数均达到极显著水平, F 检验生物产量和经济产量的理论值接近实测值。

表 1 模拟产量与实际产量的统计检验

Table 1 Statistical test between simulated and observed yield

种质(品种)数 No. of germplasm (cultivar)	生物产量(千克/亩) Biological yield (kg/mu)				经济产量(千克/亩) Economic yield (kg/mu)			
	计算值 Caculate values	实测值 Observe value	相关系数 (r)	F	计算值 Caculate values	实测值 Observe values	相关系数 (r)	F
25	418.61	414.35	0.6836**	1.4137	180.84	168.85	0.9290**	1.3096

** 达到 0.01 显著水平

** Significant difference of 0.01

讨 论

1. A、B 值是用盆栽试验在实验室测定计算出来的,其光照、温度、CO₂ 浓度等和田间有一定的差异,但在田间很难控制。某一种质(品种)在实验室反复测定后可以作为该种质(品种)的经验常数。B 值是弱光下的同化能力,在大豆结荚期田间植株中下部透光性减弱,B 值增大,透光性增强,同化产物明显增加,可见培育创造高 B 值的种质(品种)材料是提高大豆产量的一个有效途径。

2. 温度对光合速率的影响仅按饱和和半饱和光强下光合速率与温度关系曲线修正的,弱光下温度影响较小,可以不必考虑。温度对呼吸消耗的影响,参考了小麦的关系式并进行了修正。

3. 生物产量本研究是用大豆结荚期干物质积累(地上部分)换算而成,该时期营养生长已基本结束,转向生殖生长阶段,是大豆生育的高峰期,此时叶片形成的光合产物随着生育进程不断向结实器官运转。张恒普等(1985)^[5]研究指出,收获时地上部全部风干重可以代表生物学产量。作者认为这种方法计算的经济系数对某些中晚熟大叶品种数值偏高,如绥农 8、黑农 37、东农 42 等。因此关于全生育期生物学产量的确定还有待进一步商榷。

另外,大豆转换系数 L 是根据成品化学成分来计算的,对于生育期间的干物质化学成分未进行分析,还需要进一步测定。

4. 本文只是根据多个种质(品种)材料测定的生理指标,并以哈尔滨地区气象因子作为参数进行模拟,并未考虑到土壤水分,病虫害等更多的其它因素,有一定的局限性,还需要进一步在实践中应用探讨。

参考文献

- [1] Koller, H. R. et al., 1970. Crop Sci. 10:407-412
- [2] Shibles, R. M. et al., 1966. Crop Sci. 6:55-59
- [3] 刘户义次, 1973,《作物的光合与物质生产》146-166
- [4] 侯野敏子, 1985,《国外农学大豆》21-23
- [5] 张恒普, 1985, 大豆科学, 2: (1)76-77

- [6] 李秉柏, 1986, 农业气象, No. 4: 1-8
[7] 黄跃等, 1990, 中国农业气象, 11: (1)10-14
[8] 高亮之等, 1984, 中国农业气象, No. 4: 20
[9] 尤斯玉, 1981, 农业气象, No. 2: 12
[10] Penning de Vries, 1974. J. Agr. Sci. 22: 40
[11] Monssi. M. et al. , 1953 Jap. Jour. Bot. 14: 22-52

**A PRELIMINARY STUDY ON SIMULATING MODEL FOR PHOTOSYNTHESIS
PRODUCTION OF SOYBEAN CANOPIES**

Hu Licheng Xu Zhongren Ding Ximing Yao Yuan
Lin Weigang Dong Lihua Wang Yizhi

(Soybean Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Science)

Zhang Degui

(Baiquang Branch of Central Radio and TV Agricultural School)

Abstract

Study on simulation model of soybean photosynthesis production is reported in this paper. According to this model. We can caculate the biological yield and economic yield of soybean. Correlation coefficient between simulated and observed values was over 0.01 significant level. Statistical test between simulated and observed yield was in accordance with the assumption

Key words Soybean photosynthesis production; Model