

# 三江地区光、热资源及作物生产潜力\*

方 光 迪

(中国科学院地理研究所)

## 提 要

三江地区位于我国东北端,包括三江平原、兴凯湖平原及其毗邻地带,面积约 10 万余平方公里,是我国重要的商品粮基地和垦区之一。本文分析计算了三江地区的光、热资源,着重探讨了光温潜力。考虑温度对不同作物生产力的影响,我们提出一种计算  $C_c$  作物、 $C_s$  喜凉作物和  $C_w$  喜温作物的温度影响参数的经验公式。据此,估算了三江地区春小麦、大豆、玉米和水稻等四种主要农作物的生产潜力;并与实际高产值作了比较。最后,就三江地区光、热资源的开发利用问题进行了讨论。

## 一、引 言

阳光和热量是最基本的农业自然资源,是作物赖以生存的环境因子;也是人类目前尚不能大规模加以调控的气候条件。光、热资源的多寡及其时空变化特征,不仅决定了各地的农业结构和作物布局,也从根本上决定了各地农作物产量水平的高低和潜力的大小。光温潜力是光热资源的一项重要综合指标,也是近年来一个颇为活跃的农业气象分支。

本文目的是:阐明三江地区光热资源的基本特征,探讨光温潜力,估算当地春小麦、大豆、玉米和水稻等四种作物的生产潜力;联系农业生产实际,就当地趋利避害、合理开发利用光热资源问题进行讨论。

## 二、光、热 资 源

### 1. 太阳总辐射

观测和计算表明,三江地区年总辐射大致为 100—112 千卡/厘米<sup>2</sup>。分布趋势为西南高,东北低。本区南部密山、鸡西等地总辐射可达 112 千卡/厘米<sup>2</sup> 以上,为高值区。三江平原西南友谊农场一带,位于小兴安岭东侧气流下沉区及完达山夏季风的背风面,云雨少,晴天多,形成另一高值区,总辐射亦可达 112 千卡/厘米<sup>2</sup> 以上。本区东北抚远和东部完达山一带为低值区,总辐射一般不足 100 千卡/厘米<sup>2</sup> (图 1)。月总辐射以 12 月份为最小,仅 3—4 千卡/厘米<sup>2</sup>。5,6,7 三个月较大,一般可达 13 千卡/厘米<sup>2</sup> 以上。

作物生长期 4—9 月的总辐射为 65—75 千卡/厘米<sup>2</sup>, 占年总量的 65—70%。和全国

\* 本文于 1984 年 10 月 9 日收到, 1985 年 1 月 16 日收到修改稿。





表 1 三江地区各站 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与无霜期

项 目		站 名							
		佳木斯	富 锦	宝 清	虎 林	集 贤	密 山	萝 北	饶 河
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积 温	历年平均	2600	2569	2566	2503	2691	2524	2374	2329
	80%保证率	2475	2425	2400	2360	2492	2390	2240	2195
	高温年(1978)	2786	2759	2891	2725	2962	2735	2464	2582
	低温年(1969)	2165	2120	2160	2101	2214	2111	2062	2017
	平均持续期	140	141	139	140	145	139	133	130
无 霜 期		130	142	138	137	146	147	126	126

三江地区秋(早)霜始日为9月下旬,春(晚)霜终日为5月上、中旬。无霜期为120—140余天。

分析表明,三江地区光资源较丰富;作物生长期4—9月的光资源并不比全国大部分农区匮乏。一般可满足作物需要。热资源则不充裕;正常年份仅可满足早、中熟大秋作物温度要求。热资源亦不稳定,积温和无霜期年际波动大,高温年可满足中晚熟大秋作物要求,低温年即使对早熟大秋作物,温度也嫌不足了。

对喜凉作物春小麦而言,温度不成为限制因素,且麦收(7月下旬—8月上旬)后还有数量可观的余热。但目前尚未很好地利用。这对热资源有限的本区来说,是一种浪费。

### 三、光温潜力的估算

光温潜力是光热资源分析的一项综合指标;光合潜力则是光温潜力计算的基础。以下就这两个问题进行一些探讨:

#### 1. 光合潜力

光合潜力系指农作物在最适宜的条件下(包括温、水、气、肥,密度等均适宜),单位时间内通过光合作用可能达到的最大生物学产量。显然,光合潜力的大小只取决于太阳辐射强度和作物群体对太阳光能的截获量及转化利用率。故可表达为以下公式:

$$P = \frac{E_0 \cdot \Sigma Q}{H} \quad (2)$$

式中  $P$  为光合潜力(克/米<sup>2</sup>或斤/亩);  $E_0$  为作物群体光能截获利用系数(无因次);  $\Sigma Q$  为某一时段太阳总辐射(卡/厘米<sup>2</sup>);  $H$  为干物形成热,即作物形成一克干物质所需的热量;粮食作物可取4000卡/克。

确定系数  $E_0$  最简便的方法是参照作物的田间观测试验资料和高产记录予以推算或假定求得。目前一般从能量收支角度出发,考虑作物群体截获太阳光能的各项影响因素而求得。这些因素有:光合有效辐射,反射,透射,光饱和限制,无效吸收,呼吸损耗及作物光能转化的量子效率等。可概括为以下模式:

$$E_0 = e(1-\alpha)(1-\beta)(1-\gamma)(1-\rho)(1-\omega)\phi'(1-s)^{-1} \quad (3)$$

式中各参数的意义及取值如下:  $e$  为光合有效辐射系数,三江地区  $e=0.49$ 。  $\alpha$  为光合有效辐射反射率,参考文献[7,8],可取  $\alpha=0.10$ 。  $\beta$  为透射率,据文献<sup>[11]</sup>,  $\beta=0.10$ 。  $\gamma$  为光饱和参数,以  $C_4$  作物为代表,则  $\gamma=0$ 。  $\rho$  为作物非光合作用无效吸收率,据 R. S. Roomis 等人研究,  $\rho=0.10$ 。  $\omega$  为作物呼吸损耗率,我们取  $\omega=0.35$ 。  $\phi'$  为作物光能转化的量子效率,可取  $\phi'=0.20$ 。  $s$  为作物体内所含无机养分,这里取 0.08。

将上述各参数取值代入(3)式,得  $E_c=0.0505$ ,即光能利用率约5%。将此值代入(2)式,得:

$$P=0.126 \sum Q[\text{克/米}^2]=0.168 \sum Q[\text{斤/亩}] \quad (4)$$

由(4)式求得三江地区各站光合潜力见表2。

## 2. 光温潜力

考虑温度对光合作用影响的生产潜力称光合-温度生产潜力,简称光温潜力。它是农作物在水、气、肥、密度等均适宜条件下,由光、温两个因子所决定的最大生物学产量。显然,较之于光合潜力,光温潜力更接近于栽培条件良好的试验地和高产田作物生长旺盛期的最大生物学产量。光温潜力可采用以下公式计算:

$$P_t = I_t P \quad (5)$$

式中  $P_t$  为光温潜力;  $I_t$  为温度影响参数;  $P$  为光合潜力。

近年来,随着农业自然资源研究工作的开展,光温潜力的探讨日益为我国学术界所关注。卢其尧<sup>[1]</sup>考虑了温度对水稻结实率的影响,估算了我国水稻生产的光温潜力。龙斯玉<sup>[2]</sup>以“温度光合效能系数”来反映温度对光合生产的影响;并估算了我国小麦的最高产量。邓根云等<sup>[3]</sup>采用“温度影响函数”的假定,估算了我国气候生产潜力(即光温潜力)。陈明荣,王书裕和于沪宁等<sup>[4-6]</sup>则根据长谷川史郎等论文中的资料,分别求得温度-相对光合速率的实验式。并估算了作物的光温潜力。

上述工作具有一定的代表性,对作物生产潜力研究工作的开展起了推动作用。然而也有一些尚需进一步探讨的问题。例如,这些公式没有考虑不同光合类型作物具有不同的温度-光合作用曲线和光合最适温度。这在用来估算不同作物光温潜力时可能会引起较大的系统误差。另外,采用文献<sup>[4-6]</sup>中的实验式也求不出光合最适温度。因为当作物处于光合最适温时,相对光合速率应为1或100%,此时实验式化为一元二次方程。求解此方程即得光合最适温度。但求解上述方程时,或出现虚根,或得出显然错误的结果。

现代光合作用理论研究业已阐明,高等植物光合系统,按其  $\text{CO}_2$  固定途径不同,可分为  $C_3$  型植物,  $C_4$  型植物和  $CAM$  型植物等三大类。对农作物来说,主要限于  $C_3$  和  $C_4$  型植物两大类。它们不仅  $\text{CO}_2$  固定途径,光合效率,光呼吸及  $\text{CO}_2$  补偿点方面迥异,而且温度-光合作用反应亦不同,特别是光合最适温度差异甚大。如  $C_4$  作物(玉米、高粱等)光合最适温度较高,为  $30-36^\circ\text{C}$  甚至更高。 $C_3$  喜凉作物(小麦、大麦等)光合最适温度较低为  $15-20^\circ\text{C}$ 。 $C_3$  喜温作物(大豆,水稻等)光合最适温度介于上述两类作物之间,为  $24-30^\circ\text{C}$ <sup>[9-11]</sup>。

基于上述情况,我们认为应考虑不同类型作物光合作用对温度反应不同这一事实,分别按不同作物的光合类型来求温度-光合速率关系式。为此,我们综合了文献<sup>[9-11]</sup>的资料,并参考有关作物气候资料,求得  $C_4$  作物,  $C_3$  喜凉作物及  $C_3$  喜温作物的温度影响参数  $I_t$  的经验公式如下:

$C_4$  作物:

$$I_t = \begin{cases} 0.04 t - 0.20 & \text{当 } 10^\circ\text{C} \leq t \leq 30^\circ\text{C} \\ 1.00 & \text{当 } t = 30-35^\circ\text{C} \\ 2.645 - 0.047 t & \text{当 } 35^\circ \leq t \leq 40^\circ\text{C} \end{cases} \quad (6)$$



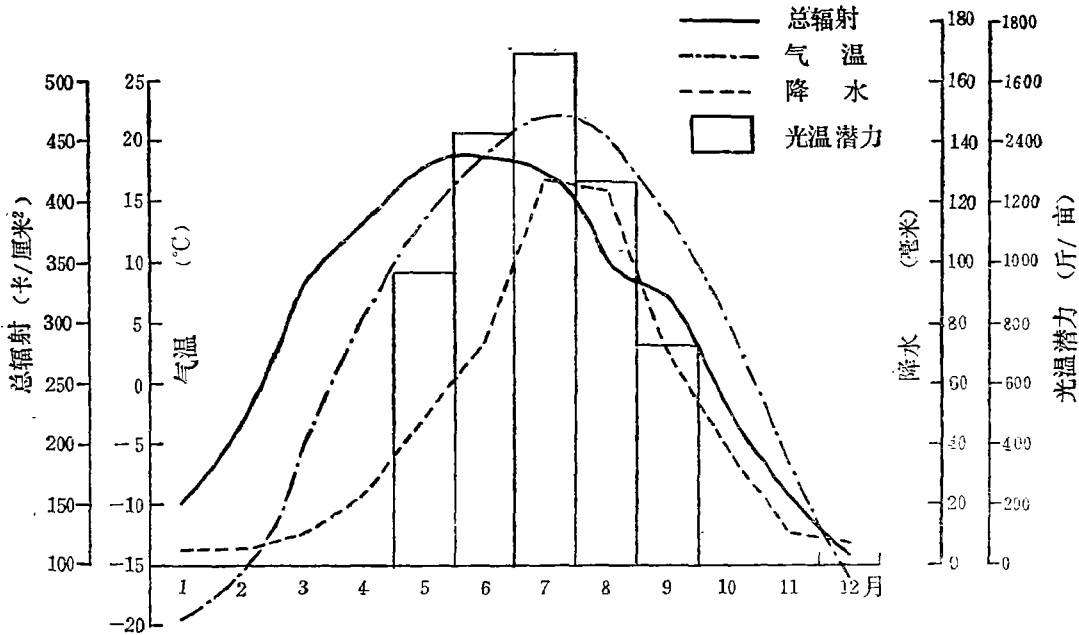


图 5 佳木斯光热水资源季节变化

式中  $t$  为光合作用气温, 可以白昼气温代替。

为了便于分析和比较各地光、热资源, 可以高光效  $C_4$  作物为参考作物计算一般光温潜力。根据(5)、(6)式求得三江地区代表站的光温潜力见表 2。

三江地区年光温潜力一般为 5400—6200 斤/亩。其分布趋势自西南向东北递减。高值中心在集贤、宝清和友谊农场一带, 其值高于 6200 斤/亩。低值区在勤得利和完达山一带, 其值小于 5400 斤/亩(图 4), 全年 7 月份光温潜力最大, 为 1400—1700 余斤/亩; 10 月至翌年 4 月均为 0。夏季三个月(6—8 月)为 3800—4500 余斤/亩, 占年总量的 70% 以上。本区降水亦集中于 6—8 月, 约占年降水的 60% 左右。光热水资源配合甚佳(图 5), 这对大秋作物颇有利。

#### 四、主要农作物的生产潜力

式(3)中,  $\alpha, \beta, \gamma$  等参数随作物和生育阶段不同变化较大。故在估算某类作物生产潜力时应按不同作物分生育阶段进行。此时  $\alpha, \beta, \gamma$  等为待定参数。则由(2)、(3)、(5)式可得:

$$P_i = \sum_{i=1}^n 0.208(1-\alpha_i)(1-\beta_i)(1-\gamma_i)I_i Q_i \quad (9)$$

式中各参数和变量的意义同前。下标  $i=1, 2 \dots n$  表示某一生育阶段。

按作物的光合类型, 相应地采用(6)、(7)、(8)三式中的某一式确定参数  $I_i$ , 再由(9)式便可求得某类作物整个生育期的光温潜力  $P_i$ 。

三江地区主要农作物是春小麦、大豆和玉米。据统计, 这三大作物约占总播种面积的

80%。其中春小麦占 33%，大豆占 30%，玉米占 17%。水稻目前面积虽不大，但在本区有一定的发展前景。故我们对这四种作物的生产潜力进行估算。

1. 春小麦的生产潜力 春小麦属  $C_3$  喜凉作物。根据三江地区春小麦生育期的光能利用特征和气候适应性，我们以中晚熟品种为代表，分三个阶段计算春小麦的光温潜力。并采用经济系数 0.4，籽粒水分率 12%，求出相应的经济产量，即可能经济产量  $Y_p$ 。以佳木斯站为例，春小麦不同生育阶段的总辐射及各项参数，按(7)(9)式求得光温潜力  $P_i$  和可能经济产量  $Y_i$ ，列于表 3。

2. 大豆的生产潜力 大豆系  $C_3$  喜温作物。按照三江地区大豆生育期光能利用特征和气候适应性，以中早熟品种为代表，分四个阶段计算大豆的光温潜力。并以经济系数 0.35，籽粒水分率 12%，求出相应的产量  $Y$ 。考虑大豆是一种高蛋白，高脂肪的油料作物，形成一克干物质所需热量 ( $H \approx 5520$  卡/克) 约为一般粮食作物的 1.38 倍，故可能经济产量应为  $Y_p = Y/1.38$ 。以佳木斯为例，大豆不同生育期总辐射及各项参数，按(8)、(9)两式计算的光温潜力及可能产量  $Y_p$  (见表 3)。

表 3 佳木斯主要农作物生产潜力计算

作物	生育阶段	项 目		$Q_i$ (卡/厘米 <sup>2</sup> )	$\alpha_i$	$\beta_i$	$\gamma_i$	$t$ (°C)	$I_{ii}$	$P_{ii}$	$\Sigma P_{ii}$	$Y_p$ (斤/亩)
春小麦	出苗—拔节 (1/5—31/5)			13300	0.10	0.60	0.60	15.8	0.99	394.4		
	拔节—开花 (1/6—30/6)			13170	0.10	0.20	0.25	21.1	0.92	1360.9		
	开花—成熟 (1/7—25/7)			10685	0.15	0.25	0.35	24.0	0.85	782.8	2538.1	1153.7
大豆	苗 期 (1/6—20/6)			8780	0.15	0.8	0.7	21.1	0.87	81.0		
	分 枝 期 (21/6—10/7)			8664	0.10	0.4	0.7	22.6	0.937	273.5		
	开花—结荚 (11/7—31/7)			8976	0.10	0.10	0.25	24.0	1.00	1134.2		
	鼓粒—成熟 (1/8—15/9)			15675	0.15	0.15	0.35	20.4	0.838	1283.1	2771.8	798.9
玉米	出苗—拔节 (1/6—20/6)			8780	0.10	0.60	0.0	21.1	0.644	423.4		
	拔节—吐丝 (21/6—31/7)			17640	0.08	0.10	0.0	23.3	0.732	2223.8		
	吐丝—成熟 (1/8—10/9)			14063	0.15	0.10	0.0	20.9	0.636	1423.2	4070.4	1893.2
水稻	出苗—抽穗 (1/6—31/7)			26420	0.10	0.50	0.50	22.6	0.937	1158.6		
	抽穗—成熟 (1/8—10/9)			14063	0.10	0.10	0.17	20.9	0.861	1693.2	2851.8	1658.0

表 4 三江地区主要农作物光温潜力及可能产量 (斤/亩)

物 项	站 目	站									
		佳木斯	富 锦	宝 清	虎 林	密 山	萝 北	集 贤	饶 河	抚 远	勤得利
春小麦	$P_i$	2538	2578	2632	2477	2655	2665	2511	2659	2314	2488
	$Y_p$	1154	1172	1196	1126	1207	1211	1141	1209	1052	1131
大豆	$P_i$	2772	2824	2888	2579	2811	2631	2810	2585	2532	2470
	$Y_p$	799	814	832	743	810	758	810	745	730	712
玉米	$P_i$	4070	4152	4214	3728	4103	3886	4188	3813	3699	3623
	$Y_p$	1893	1931	1960	1734	1909	1808	1948	1774	1721	1685
水稻	$P_i$	2852	2953	2987	2683	2947	2747	2973	2667	2671	2559
	$Y_p$	1658	1717	1737	1560	1713	1597	1729	1551	1553	1488



3. 玉米的生产潜力 玉米属  $C_4$  作物。考虑当地玉米生育期光能利用特征和气候适应性,以中早熟品种为代表,分三个阶段计算光温潜力。并采用经济系数 0.4,籽粒水分率 14%,求出相应的可能经济产量  $Y_p$ (表 3)。

4. 水稻的生产潜力 水稻亦系  $C_3$  喜温作物,故可采用(8)、(9)两式分生育阶段计算光温潜力。再以经济系数 0.5,籽粒水分率 14%求得相应的可能经济产量  $Y_p$ (表 3)。

值得注意的是,大豆生长旺期——开花、结荚期的温度恰好是光合最适温度,温度影响参数  $I_{ti}=1.00$ (表 3),这表明,本区大豆光温适应性很好,有利于大豆生长。

按上述方法计算所得三江地区各站春小麦等四种作物的光温潜力  $P_i$  及可能产量  $Y_i$ (见表 4)。

5. 三江地区农作物实际单产 由本区国营农场系统历年生产技术资料和实验报告可知,本区最高单产春小麦为 862 斤/亩,大豆为 667 斤/亩,玉米为 1270 斤/亩,水稻为 1018 斤/亩。分别相当于上述计算的春小麦可能产量  $Y_p$  的 71.4%,大豆  $Y_p$  的 80.1%,玉米  $Y_p$  的 67.1%,水稻  $Y_p$  的 65.3%。这表明,我们的计算值与实际高产值在量级上是相近的。四种作物最高单产之间的相对顺序也是一致的,即  $Y_{\text{玉米}} > Y_{\text{水稻}} > Y_{\text{小麦}} > Y_{\text{大豆}}$ 。

就目前全区平均单产水平而言,春小麦为 160—210 余斤/亩,大豆为 130—160 余斤/亩,玉米为 200~400 斤/亩,水稻为 270—330 斤/亩。且历年波动很大,丰欠年份可相差 2—3 倍以上。故本区在提高作物单产,充分利用光热资源方面潜力很大。

## 五、光热资源的开发利用

综上所述,三江地区热资源虽不充裕,光资源却较丰富;作物的光温生产潜力则颇高。若能趋利避害、合理地加以开发利用,作物增产潜力巨大,发展前景广阔。目前全区作物单产之所以不高不稳,除耕作粗放,垦建脱节这些社会经济因素以外,旱、涝和低温冷害等自然灾害是主要原因。

本区大部分耕地目前尚处于无水利保障的状况。作物易受涝、旱灾害的影响而大幅度减产;严重限制了光热资源的利用。因此,兴修水利,逐步建立完善的排灌工程系统,以便防涝、抗旱,乃是本区改善农业生产条件,保证作物稳产丰收的当务之急,也是合理开发光热资源的基础。

从长远来看,随着今后水利事业的发展,旱、涝灾害渐趋减轻或消除,低温冷害则可能上升为当地农业生产的主要限制因素。在防治低温冷害问题上,除从作物本身着眼,培育和引进早熟高产,适应性强的品种外,根据作物的气候适应性,调整作物布局是一项有效的战略措施。本区春小麦的光温适应性好,一般不受低温冷害影响,产量较稳定。然而春小麦亦有生长旺期(拔节—抽穗)易受旱,成熟收获期易受涝的弱点。故在熟型的搭配上应因地制宜。一般在地势高,不易受涝的地区可以中、晚熟品种为主;以便充分利用生长后期丰富的光热水资源,发挥其丰产性能。在地势低的易涝区则可以早、中熟品种为主;以便趋利避害,夺取丰收。

大豆、玉米等大秋作物主要生育期处于光温水配合甚佳的 6—8 月。有利于作物生育,增产潜力较大。不足之处是易受低温冷害和秋涝影响而减产。故在调整作物布局时,应根据当地作物气候特点,考虑不同熟型品种的搭配问题。一般本区北部、东部和地势低洼

处应以早熟品种为主,适当搭配中熟品种。南部、西南部和温度条件较好的漫岗向阳坡地则可以中熟品种为主,适当搭配早熟品种。

复种和套种是提高光能利用率的有效途径。由于温度条件限制,本区复、套种粮食作物不行。但复、套种绿肥却是可行的。就本区一些农场的试验结果来看,麦收后,若能及时复种一茬填闲绿肥作物,如民豌豆、油菜等。则可一举数得,既能利用麦收后的光热水资源,培肥地力,增加产量;又能减少土壤裸露时间,减轻水土流失。并可增加饲料来源,增加蜜源。应予逐步推广。

农田防护林是稳定生态环境,减轻气象灾害,保障农业生产的重要手段;也是充分利用光热资源的积极措施。本区以前对防护林重视不够,大部分农区缺林少树,风灾严重,春旱突出。今后应引起重视。

有条件的地区和单位采用育苗移栽、地膜复盖及塑料大棚,温室栽培等措施,均可延长作物生长时间,发挥作物光温潜力。

采用提前整地,适时早播,适当增加早熟品种以及催芽坐水种。播后深松,增温促熟等耕作栽培措施,亦可达到减轻低温冷害的目的。

选育合理株型的作物,改善作物群体受光势态,提高作物经济系数则是一项已为农业实践证明,对提高作物光能利用率行之有效的措施。另外,高光效育种,CO<sub>2</sub>施肥和化学药剂抑制光呼吸等提高作物光合作用效率的途径,亦应引起重视。

### 参 考 文 献

- [1] 卢其尧,我国水稻生产光温潜力的探讨,农业气象,1980年,1期。
- [2] 龙斯玉,气候生产力研究之一、二,农业气象,1980年,3期,1981年,2期。
- [3] 邓根云等,我国光温资源与气候生产潜力,自然资源,4期,1980年。
- [4] 陈明荣,秦岭地区气候的生产潜力,西北大学学报,自然科学版,1期,1979年。
- [5] 王书裕,东北及内蒙古东部地区水稻的光温气候潜力,自然资源,4期,1981年。
- [6] 于沪宁等,光热资源和农作物的光热生产潜力,气象学报,40卷,3期,327—334,1982年。
- [7] Rosenberg, N. J., Microclimate: The Biological Environment, New York, 1974.
- [8] Ефимова, Н. А., Радиационные факторы продуктивности растительного покрова, С. 127—129, 1977.
- [9] Cooper, J. P., Plant Breeding for Different Climates, In: Food, Nutrition and Climate, London, 1982, P. 79—96.
- [10] Vguyen Quoc Vong, 村田吉男(1977),气温对一些作物的表现光合作用...的影响,《光合作用》,45—51页,科学出版社,1979年。
- [11] 卢茹义次,作物的光合作用与物质生产,135—136,221页,科学出版社,1979年。

**THE SOLAR LIGHT AND THERMAL  
RESOURCES AND THE  
POTENTIAL PRODUCTIVITY OF CROPS  
IN SANJIANG REGION**

Fang Guangdi

*(Institute of Geography, Academia Sinica)*

Abstract

Sanjiang region is in Heilongjiang Province in the northeastern part of China, its area is about 106800 km<sup>2</sup>. It is now an important region of grains and one of the major reclamation areas in northeastern China.

In this paper, the solar light and thermal resource in Sanjiang region are analyzed with the emphasis on the photosynthesis-temperature productivity. By considering the influence of temperature on the potential productivity of various crops, we suggested an empirical formula for estimating the temperature-influence parameters of C<sub>4</sub>-crops, C<sub>3</sub>-cool season crops and C<sub>3</sub>-hot season crops.

On this basis, the potential productivity of the four major crops (spring wheat, soybean, maize and rice) are estimated in Sanjiang region.

Finally, some questions related to the exploitation and utilization of the solar light and thermal resource in Sanjiang region are discussed.