

# 双季晚稻田大面积放养固氮蓝藻的试验

中国科学院水生生物研究所第五室藻类实验生态学组\*

湖北省折春县科学技术管理局

湖北省折春县新生活公社先锋大队

## 提 要

通过晚稻田大面积放养固氮蓝藻试验，我们初步提出了土池大量培养和茬口田大面积生产藻种等一系列的培养和生产藻种的技术措施；生产了30吨的鲜藻种接种到晚稻田中。经过加强管理，先锋大队990亩晚稻田全部养藻化。接种的藻生长旺盛，平均产量达到1000斤/亩以上。抽样测产估计，晚稻田中鲜藻量达到500吨。

晚稻田养藻使水稻增产约10%，个别达到20%以上。

因此，晚稻田放养固氮蓝藻为晚稻开辟了新的有希望的肥源。

农业要大上，肥料要跟上。我国水稻种植面积日益扩大，产量不断提高，肥料成为突出的问题，特别是晚稻的肥源不足。如何多方面开辟晚稻肥源以满足农业生产上的迫切需要，是当前急待解决的问题。

固氮蓝藻能进行光合作用固定二氧化碳合成糖类，又具有固氮酶，有固氮作用，能利用空气中的游离态氮素合成氨，成为其他作物能利用的氮化合物。它含有活性物质可以促进作物生长<sup>[1,2]</sup>；藻体腐烂后可以培肥土壤；当蓝藻大量生长覆盖稻田水面时，可抑制杂草生长<sup>[1,3]</sup>；藻种还可以晒干保存<sup>[3]</sup>；而且固氮蓝藻多数是喜温性植物，因此把固氮蓝藻作为晚稻肥源是一个很有希望的新途径。

1939年印度报道固氮蓝藻能提供水稻田氮肥后<sup>[4]</sup>，国外许多科学工作者对固氮蓝藻肥效作用，进行了大量试验，证明稻田接种固氮蓝藻可使水稻增产5—30%<sup>[10,13,19]</sup>。我国自1958年以来，也进行了大量盆栽和田间施放固氮蓝藻对水稻肥效的研究，收到类似的效果<sup>[6,7,8]</sup>。然而，固氮蓝藻对水稻既有肥效，为什么试验了将近四十年尚不能推广应用呢？主要原因是大量生产藻种和在大田条件下藻种快速大量增殖问题还未解决，缺少一套可行的生产藻种和大田放养的技术措施。迄今，国外在固氮蓝藻应用上仍处于踏步不前的状况。

1976年我们在湖北省折春县新生活公社原革命大队<sup>1)</sup>的全部990亩晚稻田进行了大面积放养固氮蓝藻作为生物肥源的试验<sup>2)</sup>，目的是摸索固氮蓝藻生长规律，制订出一套藻

\* 原称蓝藻应用组

1) 原革命大队与先锋大队合并，现称先锋大队。

2) 1976年，我们在折春县晚稻田放养固氮蓝藻试验总面积达2,500多亩，1977年达50,000多亩。这里仅报道在革命大队试验的结果。

种生产和大田放养的技术措施,为晚稻开辟新的肥源。

## 一、材料和方法

我们用的藻种是我们所从湖北、湖南、广东等地筛选出的七个固氮蓝藻品种<sup>[3]</sup>,主要是鱼腥藻属(*Anabaena*)的种类,在实验室进行单种培养,然后混合一起,扩大培养,称为混合藻种,作为一级藻种。

田间藻种培养和生产分两个步骤:1)土池培养蓝藻作为二级藻种;2)茬口田露天大量生产为三级藻种,用作晚稻大田放养。两步紧相衔接,逐步扩大,以保证大面积晚稻田及时放藻,对水稻起到肥效作用。

**土池的建造与藻种培养** 在闲田或空地作土池,为防止漏水,可铺一层塑料薄膜,内加一层泥土或不加均可。池上架竹拱高约50厘米,用薄膜覆盖以保温和防暴雨。土池长短可因地制宜,一般为宽1米、长6米,深约10—15厘米,便于操作和通风。池内加清水深3—5厘米;每平方米水面施钙镁磷肥或过磷酸钙15克,然后接入搅碎的鲜藻75—125克(如用干藻,要先磨成粉状再均撒水面,每平方米用10—15克),再撒施草灰25克。藻长满后,加入清水至深约10厘米,捞出2/3的鲜藻用以扩大培养面积,或晒干保存备用。留下的1/3藻种,捏碎拍散,使均匀散布水面,追施磷肥、草灰,继续繁殖。

**茬口田生产藻种** 茬口田有两种类型。一种是自然茬口,利用后三田(小麦、油菜或草籽留种收割后的田)作为晚稻秧田的茬口(空闲时间约有15—20天),在露天大面积生产藻种。茬口田经翻犁、灌水、耙平后,保持水深约5厘米。每亩接种鲜藻约100斤(或干藻粉3—5斤),匀施钙镁磷肥或过磷酸钙约15—17斤,钾肥约3斤(或草灰25斤)。因季节关系,生产的藻还未能直接放到晚稻田里,因此,除作为扩大生产用外,可以晒干贮存备用<sup>[5]</sup>。晒藻时,先在晒制的工具或场地上铺一层草灰,然后将藻薄薄地铺在灰上,在阳光下晒干或在通风处阴干。再一种是人为茬口,利用少数早稻早熟早割后的田块,推迟到最后插秧;可以有15—20天时间,作为早稻与晚稻间的人为茬口,与自然茬口一样处理,露天生产藻种。生产出的藻种可直接放到已插秧的晚稻田中,以解决大量种源问题。

除利用茬口田外,还可利用杂交水稻三系育种田、荸荠田等的水面生产藻种。

**“滚雪球”方式生产藻种** 早插秧的晚稻田在插秧后即放藻,并增施磷、钾肥和加强水的管理,繁殖蓝藻。然后捞出2/3的鲜藻作为藻种接到其他晚稻田中。

**双季晚稻田放藻** 晚稻插秧后即可放藻。将收获的鲜藻放在桶里,用捞子或手将藻搓成细块,然后加入钙镁磷肥或过磷酸钙(每百斤鲜藻加5斤)和少量清水拌匀,当即用瓢均匀地泼洒到田里。放藻量为每亩50—100斤鲜藻(干藻粉为每亩3—5斤)。放藻须在晴天,田水深3—5厘米。

为了使藻种培养和生产以及大田放藻顺利进行,我们在大队科研组设藻种培养中心基地,包括土池培养和茬口田生产藻种。大队有六个生产队,每队都建立少量土池和较大面积的茬口田培养和生产藻种,并设有专人(养藻员)管理和观察、记录藻的生长情况,测定产量等。

田间肥效对比试验采用两种方式:1)选地力均匀,前作生长一致的田块,每丘田中间

作一土埂，一边养藻，另一边不养藻作为对照；在水稻栽种条件、水肥管理相同的情况下，检验放养固氮蓝藻对水稻的生长和产量的影响。2) 选择水稻品种、栽培管理和土肥条件相同，而藻的增长量不同的田块，对比水稻的生长和产量。

固氮蓝藻在田间的增长速度、产量和固氮能力，对比试验田放藻前后土壤中全氮和有机质含量的变化，水稻经济性状和产量，都进行了分析和测定。

全氮测定采用微量凯氏法<sup>[4]</sup>，土壤活性有机质采用硫酸重铬酸钾氧化法测定<sup>[1]</sup>，田间固氮蓝藻的固氮能力测定用乙炔还原法<sup>[11]</sup>。

## 二、试验结果和讨论

### (一) 固氮蓝藻藻种的培养和生产

晚稻田大面积放养固氮蓝藻能否成功的关键是要有充足的藻种。采用土池培养和茬口田生产藻种配套，初步解决了长期以来未能解决的大量种源问题。

#### 1. 土池培养情况和产量

从新生活公社先锋大队科研组藻种基地的土池培养来看，3月下旬到4月上旬，由于气温较低，就是在薄膜覆盖下固氮蓝藻生长也较缓慢，藻产量不高。5、6月份藻生长繁殖快，是培养藻种作为扩大生产的种源的有利时期，每平方米水面，5天左右平均可生产鲜藻1斤，个别可达到3斤。一亩藻种基地(除去排灌水沟和池埂，土池实际培养水面约400平方米)，1个月内可收获4—6次，生产鲜藻1500—2500斤。但必须注意管理水、温和施肥，藻铺满后要及时收藻，否则会发生腐烂现象，影响继续培养。土池连续培养一段时间后，蓝藻增殖逐渐缓慢，须将池水排干，翻耙泥土，晒至龟裂，然后再进行养藻。如系薄膜铺底的池子，则在排水后将薄膜洗干净，再盛水加肥，继续养藻。

有时在培养池中出现杂藻(如颤藻、席藻等)混生，便将藻块拍碎，利用固氮蓝藻上浮水面，颤藻、席藻下沉水底的习性，将它们分开；固氮蓝藻在水面生长占优势后，杂藻就不易发展。接种前，先用灭草灵(按1.5斤/亩施放)处理土池，可减少杂草、杂藻和虫害。

因此，双季晚稻田放养所需的固氮蓝藻，可以从5月份开始土池培养，生产出的藻种正好作为茬口田的种源。如上一年贮存有足够干藻种，直接在茬口田接种干藻，则可省去这一级的藻种培养。

#### 2. 茬口田生产藻种的情况和产量

##### (1) 自然茬口

革命大队科研组小麦收割后的自然茬口田生产藻种的情况表明，利用茬口田生产藻种是可行的。我们在1976年6月5日到22日的培养过程中，虽然天气不好，有5天下雨，5天阴天，由于采取了适当控制水位和看藻施肥，以及早防杂藻、虫害等措施，在0.96亩的茬口田接鲜藻种133斤，培养17天，共收鲜藻1600斤(13日收藻1100斤，22日由于缺场地晒藻，仅收部分藻500斤，仍有大部分藻未收)，纯增重1467斤，增长了11倍。所以，尽管天气不好，增殖速度一般来说还是较快的。

##### (2) 人为茬口

每个生产队用3—8亩的早割的早稻田，作为人为茬口田，每亩接鲜藻种100斤左右，5天左右即可铺满田面，及时捞出鲜藻放到已插秧的晚稻田中，并将留下的藻种拍散、施肥，再经5天左右，又可长满，一般可收藻2—3次。采用这种方式，第三生产队的人为茬口田（田号344号）共收到鲜藻4554斤，作为藻种，尚留有约3000斤作为本田晚稻基肥；第四生产队的429号田生产了4300斤，第六生产队的628号田生产了4000斤。全大队6个生产队的人为茬口田共生产了藻种25,115斤，解决了本大队38.5%晚稻田放养的藻种。同时，还收了部分鲜藻晒干，留作第二年的藻种。

### （3）茬口田生产管理

通过试验，我们发现茬口田生产藻种要注意几个问题：1)田块面积不宜太大，大的要作临时小埂，隔成0.3—0.5亩的小块，避免因大风吹动使藻体堆积，不利铺展；2)田水要清，有油皮、杂藻、青萍等，会影响藻的增殖，要事先除去；3)要在晴天接藻种，浅水养藻，根据藻的生长情况，适时施肥；4)藻铺满水面后要及时分藻，避免藻过度密集发生腐烂；捞藻前先将田水加深至10厘米左右，便于捞取；5)下大雨时藻沉土面，要排水，仅留泥皮水，使藻贴泥，天晴后灌水、施肥，促藻上浮增殖；6)如有杂藻混生，要拍藻除杂。掌握这些要点，加强管理，对实现茬口田生产藻种，是十分重要的。

茬口田生产藻种，可以不占田、面积大、成本低，管理易、产量大，是解决双季晚稻田放藻种源的关键。

### 3.“滚雪球”方式生产藻种的情况

“滚雪球”是便于实现的解决种源的好方式。第六生产队170多亩晚稻田的放藻，主要是靠这个办法解决藻种的。例如613号田，7月18日插秧，当天放干藻5斤/亩，第三天萌发，第五天铺满全田，捞出鲜藻3000斤，放了约30亩晚稻田。

全大队利用“滚雪球”办法生产藻种40,300斤，放藻面积占全队放藻总面积的61.5%，在晚稻田蓝藻化中起了很大的作用。

“滚雪球”方式养藻种有一定的优点：1)插秧后，田间小气候有所改变，在夏季阳光过强情况下，有点遮阴，更适于藻的生长；2)水稻的行株间隔，形成小格框，减少风力影响，有利于藻的铺展。但也有不利一面，由于已插秧，捞藻化劳力较多，不如在茬口田中可用竹竿将藻推到一边，集中捞取，省时省工。

从藻种的产量来看，平均产量1000—2000斤/亩鲜藻，每100亩田应有5—10亩藻母田，才能及时生产出足够的藻种，做到适时放藻。

## （二）双季晚稻田中固氮蓝藻生长情况

1976年革命大队双季晚稻田放养固氮蓝藻，从7月24日到8月11日，共20天左右。放藻面积占大队晚稻总面积（990亩）的75.7%，其中放鲜藻的面积占74.6%（736亩），共放藻65,445斤，平均每亩鲜藻89斤；放干藻面积占1.1%（13.5亩），共放干藻25斤，平均每亩1.8斤（表1）。未接藻种而自然生长野生固氮蓝藻的占总面积的24.3%（240.8亩）。野生固氮蓝藻的主要种类是类颤鱼腥藻（*Anabaena oscillarioides*），多变鱼腥藻（*Anabaena variabilis*），静水柱孢藻（*Cylindrospermum stagnale*），以及管链藻（*Aulosira* sp.）等。根据

以往报道<sup>[20]</sup>，这些蓝藻都是固氮的。我们采用乙炔还原法进行测试，证实这些藻在田间是能固氮的。

表1 坊春县新生活公社革命大队双季晚稻田放藻情况统计

队别	总面积		放鲜藻				放干藻				野生藻		
	块数	面积(亩)	块数	面积(亩)	面积比%	总接藻量(斤)	块数	面积(亩)	占%	接干藻量(斤)	块数	面积(亩)	占%
第一生产队	53	158.6	38	120.8	76.2	10,320	1	5	3.2	12	14	32.8	19.6
第二生产队	37	143.4	19	69.7	48.6	6,550					18	73.7	51.4
第三生产队	62	149.4	50	114.1	76.4	10,150	1	3	2.1	5	11	32.3	21.6
第四生产队	44	213.4	31	155.9	73.1	10,560					13	57.5	26.9
第五生产队	48	135.9	40	95.9	70.6	9,125					8	40.0	29.4
第六生产队	54	177.3	50	167.3	94.4	18,240	2	5.5	3.2	8	2	4.5	2.4
科研组	8	12.3	8	12.3	100	500							
总计	306	990.3	236	736	74.6	65,445	4	13.5	1.1	25	66	240.8	24.3

### 1. 晚稻田固氮蓝藻繁殖的速度

固氮蓝藻能否配合得上水稻生理要求和水肥管理的需要而快速繁殖，对实现双季晚稻田养藻发挥肥效作用，是有决定性意义的。从革命大队大面积放藻情况来看，蓝藻生长繁殖速度是很快的，一般3至5天即可长满全田。以第一和第五生产队调查结果为例（表2），放藻后3至5天长满全田的分别占生产队总放藻面积的73.1%和70.1%。

表2 坊春县新生活公社革命大队第一和第五生产队双季晚稻田放养固氮蓝藻生长情况调查

队别	第一生产队						第五生产队						
	放藻面积(亩)			95.9			放藻面积(亩)			未铺			
放养的蓝藻 铺展全田 %	100		50		100		80		50		未铺		
	天数	田块	亩数	占放藻面积 %	田块	亩数	占放藻面积 %	田块	亩数	占放藻面积 %	田块	亩数	占放藻面积 %
长 满 全 田 的 时 间 和 面 积	2							1	7	7.3			
	3	6	22	19.2				1	0.5	0.5			
	4	8	31.2	26.0				16	46.2	48.2	2	6	6.2
	5	12	33.5	27.9	1	1.0	2.4	9	20.5	21.4	1	1.5	1.6
	6	4	14.1	11.7							2	0.5	0.5
	7	3	7	5.8				1	2.2	2.3			
	8	1	5	4.1									
	9	1	6	5.0									
	10	1	1	0.3									
	13							1	4	4.1			
	14							4	4.5	4.7			
总计		36	119.8	97.6	1	1.0	2.4	27	74.2	77.4	9	18.2	18.9
											2	3	3.1
											2	3	3.1

通过抽样测产（表3），晚稻田间蓝藻的增长率是高的。其中增长最快的是第三生产队356号田块，8月6日放藻（每亩50斤），8月10日测产，5天纯增1,684斤，即增长了

33.7 倍, 每天的细胞分裂率 ( $K$ )<sup>1)</sup> 为 0.7。根据过去报道<sup>[12]</sup>, 实验室培养中, 有的固氮蓝藻一个世代周期约为 12 小时。因此, 如果进一步改善生长条件, 继续提高混合藻种的增殖速度是有可能做到的。

表 3 坊春县新生活公社革命大队双季晚稻固氮蓝藻繁殖速率

队别及田块编号	放藻时间 (月/日)	铺满时间 (月/日)	测产时间 (月/日)	生长天数	放藻量 (斤/亩)	藻总产量 (斤/亩)	纯增重 (斤/亩)	增长倍数
第一生产队 120	8/1	8/6	8/18	17	83.3	1400	1316.7	15.8
第一生产队 129甲	8/6	8/11	8/11	6	56	667	611	10.9
129乙	8/6		8/18	12	56	1267	1211	21.6
第一生产队 105	7/30	8/3	8/11	12	75	820	745	9.9
第三生产队 302	8/2		8/9	7	105	1067	962	9.2
第三生产队 356	8/6		8/10	5	50	1734	1684	33.7
第三生产队 344	7/28		8/3	5	70	1554	1484	21.2
第五生产队 506	8/2	8/5	8/10	8	140	780	640	4.6

根据田间的藻增长速度和放藻的经济效益, 我们认为, 如果藻种质量好, 以每亩放鲜藻 50—70 斤为宜。

## 2. 晚稻田中鲜藻的产量

革命大队双季晚稻田全面养藻后, 我们抽测了 15 块稻田生长的鲜藻产量(表 4), 最高达 1734 斤, 最低为 480 斤(系中耕以后测产), 平均每亩产量为 1086 斤<sup>2)</sup>。放养混合藻种的平均产量为 1,150.6 斤/亩, 野生藻平均 889 斤/亩, 混合藻产量比野生藻高 29.4%。从表 4 中还可以看出, 混合藻在中耕后, 虽大部分藻已踩入泥中, 但 2 至 5 天后还可增长

表 4 坊春县新生活公社革命大队一九七六年部分双季晚稻田固氮蓝藻产量统计

队名 编号	田块 面积 (亩)	藻种来源	插秧日期 (月/日)	放藻日期 (月/日)	放藻量 (斤)	中耕日期 (月/日)	全田铺满 蓝藻日期 (月/日)	测产日期 (月/日)	一平方米 鲜藻量 (斤/米 <sup>2</sup> )	折合每亩 鲜藻量 (斤/亩)
第一生产队 120	1.2	混合藻	7/31	8/1	100	8/13	8/6	8/18	2.1	1400
第一生产队 129	5.0	混合藻	8/4	8/6	280		8/11	8/11	1.4	933
						8/14		8/18	1.9	1267
第一生产队 105	4.0	混合藻	7/27	7/30	300	8/9	8/3	8/11	1.23	820
第三生产队 302	8.0	混合藻		8/2	840		8/8	8/9	1.6	1067
第三生产队 356	3.0	混合藻	7/27	8/6	150		8/9	8/10	2.6	1734
第三生产队 318	3.0	混合藻	7/30	8/1			8/10	8/11	1.2	800
第三生产队 344	2.0	混合藻		7/28	140			8/3	2.33	1554
第五生产队 506	0.5	混合藻	7/29	8/2	70		8/5	8/10	1.16	780
第一生产队 128	4.0	野生藻	8/3			8/14	8/17	8/18	1.0	667
第二生产队 211	4.0	野生藻	7/28			8/7	8/6	8/11	0.73	480
第二生产队 213	2.5	野生藻					8/5	8/11	1.48	987
第三生产队 326	1.5	野生藻	7/26					8/9	2.2	1467
第三生产队 340	0.6	野生藻						8/12	2.1	800
第五生产队 518	5.0	野生藻	7/28				8/6	8/10	1.4	933

1) 细胞分裂率按下列公式计算:  $K = \frac{1}{t} \ln \frac{C}{C_0}$ ,  $t$  为生长的天数,  $C_0$  为开始时的藻量,  $C$  为  $t$  天后的藻量。

2) 大队全部晚稻田的总藻量估算有 1,000,000 斤鲜藻。

到820—1400斤/亩。这就说明，如果及早放藻，适时中耕压藻，剩下的藻继续繁殖，则插秧到晒田之间约有15到25天时间，可以生产2—3批藻，每亩总产藻量可以大大地提高。

### (三) 晚稻田放藻对水稻增产的效果

#### 1. 稻田放藻对水稻产量的影响

为了验证过去肥效试验结果，我们用少数田块进行放藻与不放藻的简单对比试验。考种和测产结果，养藻田比不养藻田增产7.2—7.7%，平均7.5%。经济性状主要表现在提高成穗率，增加了有效穗。

#### 2. 鲜藻产量对水稻产量的影响

以当年新平整的肥力较差的稻田，比较鲜藻产量的高低对水稻的经济性状和产量的影响，发现藻产量高的，穗数明显提高，水稻产量增加18.3%，每百斤鲜藻增产稻谷8.3斤（表5）。藻产量的高低与水稻产量有明显的关系。

表5 新平整的稻田中蓝藻不同产量对水稻产量的影响

队名及田块编号	测产鲜藻(斤/亩)	水稻品种	株高(厘米)	穗长(厘米)	每兜穗数	一穗粒重			空壳率(%)	千粒重(克)	小区测产(斤)	折合亩产(斤)	增产(%)	百斤鲜藻增产稻谷(斤)
						实粒	空壳	总粒数						
第一生产队128	667	争光	59.7	10.1	5.9	25.1	2.0	27.1	7.5	24.9	2.73	273		
第一生产队129	1267	争光	62.2	10.3	7.3	27.6	3.0	30.6	9.9	24.2	3.23	323	+18.3	8.3

#### 3. 人为茬口养藻对晚稻产量的影响

一般来说晚稻应争取在早稻收割后即行插秧。推迟插秧作为人为茬口田，有人担心会不会影响水稻产量。从试验结果来看，革命大队曾作为生产藻种用的人为茬口田，贫下中农一致反映：水稻青秀、苗壮有后劲，长势比一般放藻田好。根据调查和测产（表6），

表6 早割晚插人为茬口生产藻种的田块对水稻产量的影响

处理		蓝藻生产情况	水稻品种	株高(厘米)	穗长(厘米)	每兜穗数	每穗粒数			空壳率(%)	千粒重(克)	小区测产(斤)	折合亩产(斤)	增产(%)
							实粒	空壳	总粒数					
藻种基地	第三生产队344号混 合 藻	捞出鲜藻1554斤后留下满田蓝藻，翻耕插秧后又接藻	争光	71.3	12.72	7.0	46.1	7.8	53.9	14.5	23.2	5.53	553	46.7
稻田放藻	第三生产队329号野 生 藻	测产鲜藻1467斤	争光	68.6	11.96	4.87	38.5	6.0	44.5	13.5	23.0	3.77	377	
藻种基地	第四生产队437号混 合 藻	捞出鲜藻4300斤后，留下满田蓝藻	争光	83.2	14.74	7.13	6.45	11.0	75.5	14.6	22.1	7.33	733	26.4
稻田放藻	第四生产队429号混 合 藻	长满全田	争光	73.5	14.19	5.53	52.4	7.1	59.5	12.0	24.4	5.80	580	
藻种基地	第六生产队628号混 合 藻	捞出鲜藻4000斤后留下1/3田的蓝藻	沪选19									6.83	683	17.8
稻田放藻	第六生产队638号混 合 藻	第六天铺展全田80%	沪选19									5.80	580	

除千粒重无规律外，株高、穗长、有效穗数、每穗实粒数均比一般放藻田增加，水稻增产 17.8—46.7%。因此，虽然推迟了插秧时间，由于有藻作底肥和追肥，不但不减产，反而明显增产。利用人为茬口田生产藻种，既保证了藻种供应，又不影响水稻产量，是切实可行的。

#### 4. “滚雪球”的藻母田的水稻产量

以“滚雪球”方式从先养藻的晚稻田（藻母田）中捞出大量藻种，是否会降低本田的肥料水平，影响当季水稻的产量？从第六生产队作为“滚雪球”的藻母田的 613 号田的调查测产来看，虽捞出鲜藻 3000 斤，但田内留下的藻继续繁殖，铺展全田，水稻产量达到每亩 720 斤，比四周的田的产量还高。因此作为“滚雪球”的藻母田并不会降低本田水稻产量。

### （四）放养固氮蓝藻促使水稻增产的原因分析

为什么双季晚稻田养藻后水稻长势好，增加产量呢？根据我们对田间生长的固氮蓝藻的固氮能力和藻体含氮量的测定，以及放藻后稻田土壤全氮和有机质含量的分析结果来看，有下列几个原因：

#### 1. 固氮蓝藻在晚稻田间能固氮

固氮蓝藻既能进行光合作用又能进行固氮作用，这是众所周知的。生物固氮作用是通过固氮酶的催化分子态氮还原为氨。在有一定数量的化合态氮、尤其是铵存在时，会抑制固氮酶的合成，因而降低甚至丧失固氮能力。水稻田中有化合态氮（如铵）存在，固氮蓝藻在晚稻田中，是利用田间存在的化合态氮、还是通过固定空气中的分子态氮进行生长繁殖，这是大家所关注的。如果是前者，则固氮蓝藻的作用是仅仅通过光合作用增加田间的糖类有机质；如果是后者，则除有机质外，还增加了田间的化合态氮即氮肥。为此，我们不仅测定了晚稻田中固氮蓝藻增殖的数量，同时利用乙炔还原法直接测定田间固氮蓝藻的固氮能力和固氮量。

根据不同田块和不同生长时间的测定表明（表 7），在晚稻田中繁殖的固氮蓝藻能够固氮，最高固氮量为 5792 毫微克分子还原  $C_2H_2$ /分·克干重，最低为 211 毫微克分子还原  $C_2H_2$ /分·克干重，平均为 2250 毫微克分子还原  $C_2H_2$ /分·克干重。夏季日照时间长，可能有 14 小时进行固氮作用，则每 1000 斤鲜藻（折合干藻 50 斤）每天平均固定纯氮量为 220 克（相当于 2.2 市斤硫酸铵的含氮量，按最高固氮量计算则相当于 5.6 市斤，最低为 0.2 市斤）。如果按同一田块的上午、中午和下午取样测定结果来看，分别为 2339、3343 和 1369 毫微克分子还原  $C_2H_2$ /分·克干重，与平均值的结果相近。

从田间测定固氮能力的结果也可以看出，蓝藻固氮量的大小因种类和生活环境条件，以及藻的长势的不同而有差异。但用同样的方法测定田里的水样和水绵 (*Spirogyra* sp.)，都没有乙炔还原反应。试验表明，固氮蓝藻在晚稻田中能够固定空气中的氮素，利用固定的氮素合成蛋白质和核酸，增殖藻体。从第六生产队“滚雪球”的藻母田中取出大量藻种而不影响本田肥力，也说明藻种是固定空气中氮素而增殖的。在藻的代谢作用过程中，它还不断释放出含氮化合物（包括短肽和游离氨基酸等）到体外。据过去报道，在藻的生长停滞期和稳定期，分泌量最高，指数生长期最低，分泌数量达总固氮量的 5—80%（平均 20

表7 在现场测定双季晚稻田蓝藻(野生藻和混合藻)的乙炔还原作用的结果

样 品 来 源	藻 种	反 应 瓶 体 积 (毫 升)	气 相 体 积 (毫 升)	藻 干 重 (克)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 峰 高 (mm)	比 活 nMC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / 分 · 克 干 重	备 注
革命大队第一生产队 129 号田, 当年新平整黄泥田	野生藻	35.5	30.1	0.025	101	4499	
		39.0	33.6	0.03	46	906	
革命大队第一生产队 129 号田, 当年新平整黄泥田	混合藻	40.5	35.1	0.032	75	3043	
		34.0	28.6	0.038	119	3313	
第三生产队肥田	混合藻	28.5	23.1	0.085	78	784	
第三生产队肥田		35.0	29.6	0.073	85	1275	
狮子公社农	野生藻	36.0	30.6	0.058	68	1327	
科所稻田		37.0	31.6	0.034	95	3266	
第一生产队 129 号田	混合藻	32.5	27.1	0.030	70	2339	
		34	28.6	0.026	94	3825	
		32.5	27.1	0.038	8	211	
		30.0	24.6	0.022	140	5792	藻色发黄
		41.0	35.6	0.029	51	2316	
		41.5	36.1	0.042	25	795	藻色发黄
		33.0	27.6	0.041	40	996	藻色发黄
水 样					0	0	
水 绒					0	0	

—30%)<sup>[10]</sup>, 可供作物利用。

## 2. 固氮蓝藻藻体含氮量较高

固氮蓝藻利用空气中的氮素合成蛋白质增殖藻体, 藻体死亡分解后, 便释出大量的氮素化合物供作物利用。藻体的含氮量因种类、生长环境条件和藻的发育阶段不同而有所差异。根据水生所测定: 混合藻室内单种培养物的含氮量平均为 6.99% (干重)<sup>[3]</sup>, 室外不同季节 (5—10 月) 土池培养的混合藻含氮量平均为 4.8% (干重)。我们测定革命大队第三生产队田间生长的混合藻, 其含氮量为 6.04% (干重)。鲜藻含水量为 95%, 按干藻含氮量换算, 鲜藻含氮量应为 0.3%。和其他绿肥作物比较 (表 8), 固氮蓝藻虽含水量高些, 但含氮量还是较高的, 可作为一种优良的生物肥源。所以, 稻田中鲜藻长到 1000 斤, 藻体含氮量就约有 3 斤, 压藻使之腐解后, 就有相当于 15 斤硫酸铵 (平均含氮 20%) 的氮量。如果加上藻生长过程中释放的含氮化合物, 则数量还要高些。在试验中, 藻产量高的, 水稻增产也多, 这是合理的。假如我们设法提高单位面积的藻产量, 就可能提高肥效。固氮蓝藻作为水稻田肥源是有很大的潜力的。

## 3. 固氮蓝藻能培肥地力

双季晚稻田养藻, 不仅直接提供了作物的养分, 也培肥了地力。我们从稻田养藻后土

表8 固氮蓝藻与其它绿肥含氮量的比较

生物肥源	含水量 (%)	含氮量 (%)	
		鲜重	风干重
固氮蓝藻的混合种	95.0	0.30	6.00*
红萍	93.5	0.24	3.05
苜蓿	80.5	0.56	2.32
紫云英	82.0	0.48	2.25
大豆	80.0	0.58	2.49

\* 晒干重

表9 双季晚稻田养藻后土壤肥力变化情况

处理	固氮蓝藻产量 (斤/亩)	全氮 (%)				有机质 (%)			
		放藻前	固氮蓝藻生长旺盛期	晒田时	水稻收割后	放藻前	固氮蓝藻生长旺盛期	晒田时	水稻收割后
第一生产队128号稻田长藻	667 (野生藻)	0.052		0.071	0.042	0.672		0.834	0.448
第一生产队129号稻田放藻	1267 (混合藻)	0.070		0.046	0.042	0.662		0.483	0.693
第五生产队506号稻田长藻	780 (野生藻)	0.121		0.139	0.143	1.76		1.98	2.22
第三生产队349号藻种培养基地	测产为1554斤/亩, 培养中捞出4554斤, 插秧后全田长满蓝藻	0.186	0.186	0.227	0.195	3.05	2.72	6.10	2.95

壤肥力状况分析结果(表9), 可以看出, 除129号田在晒田后土壤有机质和全氮量稍有下降外, 晚稻田晒田后土壤有机质和全氮量均有不同程度的增加, 349号田尤为显著。

稻田中土壤全氮和有机质的含量, 因水稻的吸收利用和微生物的分解, 应当在水稻生长季节逐渐下降的。养藻田中, 水稻收割后土壤中全氮和有机质含量基本上保持插秧时的水平, 这就表明固氮蓝藻在培肥地力、提供水稻所需的氮肥上是起一定的作用的。在水生所内土池养藻中, 进行压藻与不压藻对土壤全氮和有机质含量影响的试验结果(表10)也说明, 养藻后土壤中全氮和有机质含量有所增加, 压藻的特别显著。根据有些报道<sup>[16]</sup>, 在

表10 压藻或不压藻对土池中土壤肥力的影响

采样时间	全氮 (%)						有机质 (%)					
	9号池			10号池			9号池			10号池		
	压藻	不压藻	压藻比 不压藻 增加%	压藻	不压藻	压藻比 不压藻 增加%	压藻	不压藻	压藻比 不压藻 增加%	压藻	不压藻	压藻比 不压藻 增加%
1976.7.2	0.092	0.076		0.083	0.078		0.98	0.91		1.37	1.24	
1976.10.4	0.112	0.088	+27.2	0.122	0.083	+46.9	1.53	1.03	+48.5	1.84	1.37	+34.3

适宜的季节，1克的单枝藻 (*Tolyphothrix campylonemoides*)，在90天中，可产生有机质约300—480克。对改良土壤，培肥地力是能起到良好的作用的。

除上述原因外，过去尚有报道固氮蓝藻含有调节生长的活性物质和植物激素<sup>[18]</sup>，能分泌相当数量的抗坏血酸，加速水稻生长发育<sup>[17]</sup>等。我们虽也曾发现固氮蓝藻促进水稻和其他作物生长，特别是促进根系发育的现象，但究竟是哪些物质起作用，尚需进一步分析研究，加以验证。

为了更好的发挥固氮蓝藻的肥效作用，如何进一步提高田间蓝藻的固氮能力和产量，如何更好地配合水稻生理的要求提供肥料，如何以防为主、及早防治虫害、杂草，以及掌握蓝藻的生长繁殖规律，使藻种生产和稻田养藻达到稳产高产等问题，尚需进一步研究。

### 三、小 结

通过1976年大面积晚稻田放养固氮蓝藻试验结果，我们认为：

1. 目前使用的混合藻种适于晚稻田放养。它们生长繁殖快，每亩放藻种50—70斤(鲜藻)，管理适当，3—7天内可铺满全田，平均产量达到1000斤以上。

2. 固氮蓝藻在稻田中能进行光合作用和固氮作用，提供氮肥和有机质，培肥地力，提高水稻产量；在插秧前后到晒田前大量增殖蓝藻，能对当季水稻起到肥效作用。并验证了我们过去试验放养固氮蓝藻可使水稻增产10%左右的结果，个别可达增产20%以上。

3. 采用土池培养二级藻种和茬口田生产三级藻种，以及“滚雪球”方式，可以解决大面积放养固氮蓝藻所需的大量种源问题，达到以田养藻、以藻肥田的目的。

4. 充分利用本田野生固氮蓝藻，给予合适的生长条件(如施磷、钾肥)，促使它大量繁殖，也可利用它作为稻田肥源。此外，迄今所知，像先锋大队那样的大面积稻田放养固氮蓝藻，平均单位藻产量在1000斤/亩以上，田间增殖鲜藻总量达壹百万斤，有增产效果，以及采用茬口田等方式生产藻种的办法，在国外尚未见报道。

总之，大面积晚稻田养藻的试验表明，应用固氮蓝藻作为晚稻的生物肥源是有前途的。如能充分利用固氮生物特点，晚季养蓝藻，与各种绿肥和早季养红萍配套使用，向空气要肥，将是增加水稻肥源的新的途径。

### 参 考 文 献

- [1] 中国土壤学会土壤农化分析专业委员会编，1965。土壤常规分析法。科学出版社。
- [2] 湖北省水生生物研究所等合编，1977。固氮蓝藻生产和使用技术资料。固氮蓝藻工作通讯第三期。
- [3] 湖北省水生生物研究所第五室藻类实验生态组，几种蓝藻固氮能力(手稿)。
- [4] 陈家坊等译，1955。农业化学分析(A. B. 彼坚布斯基著)。科学出版社。
- [5] 曾继绵等，1959。固氮蓝藻的干燥保存试验。水生生物学集刊，1959(4): 452—455。
- [6] 黎尚豪等，1959。我国的几种蓝藻的固氮作用。水生生物学集刊，1959(4): 429—439。
- [7] 黎尚豪等，1959。固氮蓝藻对水稻肥效的初步研究。水生生物学集刊，1959(4): 440—444。
- [8] 黎尚豪等，1962。固氮蓝藻作为水稻氮肥源的研究。水生生物学集刊，1962(1): 55—62。
- [9] De, P. D., 1939. The Role of Blue-green Algae in Nitrogen-fixation in Rice-fields. Proc. Roy. Soc. Lond., B., 127:121—139.
- [10] Fogg, G. E. et al., 1973. The Biology of Blue-green Algae. Acad. Press, Lond.
- [11] Hardy, R. W. F. et al., 1973. Application of the Acetylene-Ethylene Assay for Measurement of Nitrogen Fixation. Soil, Biochem. Biol., 5(1):47—81.

- [12] Kratz, W. A. and T. Myers, 1955. Nutrition and Growth of several Blue-green Algae. *Amer. Jour. Bot.*, **42**:282—287.
- [13] Singh, R. N., 1961. Role of Blue-green Algae in Nitrogen Economy of Indian Agriculture. New Delhi, India.
- [14] Stewart, W. D. P., 1974. Blue-green Algae. In The Biology of Nitrogen Fixation (A. Quispel, ed.). North-Holland Publ. Co. Amsterdam. 202—237.
- [15] Stewart, W. D. P., 1977. Blue-green Algae. In A Treatise on Dinitrogen Fixation. (R. W. F. Hardy, ed.) Vol. III Biology. 63—123.
- [16] Subrahmanyam, R., 1972. Some Observations on the Utilization of Blue-green Algal Mixtures in Rice Cultivation in India. In Taxonomy and Biology of Blue-green Algae (T. V. Desikachary, ed.). Univ. Madras, India.
- [17] Venkataraman, G. S., 1975. The Role of Blue-green Algae in Tropical Rice Cultivation. In Nitrogen Fixation by Free-living Micro-organisms (W. D. P. Stewart, ed.) Cambridge Univ. Press. 207—218.
- [18] Venkataramen, G. S., S. Neelakantan, 1967. Effect of the Cellular Constituents of the Nitrogen-fixing Blue-green Alga, *Cylindrospermum muscicola*, on the Root Growth of Rice Plants. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, **13**:53—61.
- [19] Watanabe, A., 1951. Effect of Nitrogen-fixing Blue-green Algae on the Growth of Rice Plants. *Nature*, **168**:748—749.
- [20] Панкратова, Е. М., 1975. Распространение Азотфиксации среди Синезеленных Водорослей. *Бот. Журн.*, **60** (4): 583—592.

## STUDIES ON THE LARGE-SCALE ALGALIZATION OF THE LATE RICE FIELD BY THE INOCULATION OF NITROGEN-FIXING BLUE-GREEN ALGAE

Section of Experimental Algal Ecology, Fifth Laboratory, Institute  
of Hydrobiology, Academia Sinica  
Committee of Management of Sciences and Technology and  
Xianfeng Production Brigade, Xinshenghuo People's  
Commune, Qichun County, Hubei Province.

### Abstract

During the large-scale application of nitrogen-fixing blue-green algal mixture in the late rice cultivation, we have developed a series of methods for mass cultivation and production of algal inoculum, including the cultivation in the algal nursery bed in the field, and open air mass culture of algae in the resting field between the two crops. By these procedures, more than 30 tons of algal inoculum had been produced and were introduced into the late rice field. After strengthened management, 990 mu of late rice fields of Xianfeng Production Brigade were fully algalized. The inoculated fields showed exuberant algal growth and no less than 500 kg of algae (fresh weight) per mu was found. Estimated by random sampling, the establishment of nitrogen-fixing blue-green algae in the inoculated rice fields amounted to about 500 tons.

The algalization of the late rice cultivation made an average increase of about 10% in the grain yield, individually more than 20%, as compared with the control.

Therefore, it is possible that the algalization of the late rice field by inoculation of nitrogen-fixing blue-green algae has good prospects as a new resource of supplement fertilizer for the late rice cultivation.