

试论立体生态农业的可行性和合理性

夏明忠

西昌学院, 四川 西昌 615013)

摘 要】立体生态农业是基于自然生态成层原理而模拟的生物种群的人工组合, 这种组合因生物间的相生、互补、促进, 有效地利用了自然资源; 也因其相克、偏害、捕食, 产生了对生活因素的剧烈竞争。人工调节作用旨在使立体组合具有最大的互补效应和最小的竞争能力。虽然有各种度量合理组合的模式, 但其宗旨在于实现物流和能流的高效转换。

【关键词】立体农业 生态成层 可行性 合理性

【中图分类号】S-0 **【文献标识码】**A **【文章编号】**1673-1891(2007)01-0001-04

一、立体生态农业是人类模拟自然生态成层现象的产物

成层 (layer) 现象是生物群落结构的基本特征之一, 它是在群落形成过程中, 不同类型对环境适应性不同, 各自占据不同的空间, 以及它们的组分分别垂直配置在不同高度或地下深度的一种现象。该现象实质上是生物和环境因素相互联系标志。

陆生森林群落按其高度可划分为乔木层、灌木层、草木层 (或地面层) (field Layer) 以及地被层 (Ground Layer) 四个基本垂直层次。每个层次又可划分为若干亚层。

鸟类, 它们虽然很容易在几秒内从地面飞到最高树顶, 但也经常显示出对某种层次的依附性, 特别是在繁殖季节中, 不仅仅是巢, 而且整个觅食区域也往往限于一个惊人的狭窄垂直范围之内。

水生生物群落中, 生态要求不同的生物, 也在不同的深度水层, 占有各自位置。这种垂直分层对于告诫渔民什么地方可以获得所需要的鱼类尤为重要, 而仅了解哪里有鱼还并非捕鱼成功。

至于农田系统的成层结构, 则屡见不鲜, 稻麦的分蘖位次, 作物出苗早迟, 作物和杂草高度以及植物叶片, 果实分层现象均是植物和环境联系的产物。

总之, 自然中可以发现众多不同生物、不同种

型立体并存的事例, 各居其位, 各得其所, 既有海拔高度引起垂直分层, 也有不同生物组成的立体混合群体, 这些自然界宏观和微观上合理复合群体, 维持着动态生态平衡。表面上它们居于相同一致的一般环境, 但实际上它们生活于环境中明确规定的区域, 分界线是时间, 或是空间, 或二者兼有。

人类借助自然成层原理, 利用自然存在的客观规律, 把不同生物、不同种群、不同个体在土地、空间和时间上进行最佳组合, 这种组合有意识无意识地模拟了自然现象, 是对农业生态和农业经济中单项知识的系统和综合化。实际上反映了自然, 并由原始的人工水平组合, 简单的立体种植发展成为目前的多种群复合共生立体结构, 形式多样, 组合得当, 从而使自然得到改造创新和发展。

二、立体生态农业的可行性

基于生态学成层原理而模拟的人工生物种群组合, 往往比单一一种类获得高效物流和能流转换, 从而赋予立体生态农业以生命力, 其根本原因在于不同生物和不同种型垂直组合存在生理特性和生态特点方面的差异, 使环境资源利用上具有相生、互补和促进的效果, 有效地利用了自然资源。

1. 空间上的互补

在人类干预下, 植物立体复合群体因其高矮、株型、叶型、分枝、需光特性等各不相同, 合理地

收稿日期 2006-10-25

作者简介 夏明忠 (1956-), 男, 西昌学院院长, 教授, 国务院特殊津贴专家, 四川省首批学术带头人。

搭配在一起,使空间利用上相互补充,分层镶嵌,从而为合理增加单位面积上株数、叶面积、受光时间及空间提供了条件,获得更大的立体种植优势。研究认为,理想的立体群体是上部高而稀疏,喜光强;下部稠密,水平叶角,适于低光强。立体胶林,按高矮安排橡胶—肉桂—茶树—砂仁四层次,从上至下一个比一个耐阴,而从下至上一个比一个耐旱;动植物立体组合稻—萍—鱼模式也使光照呈强—弱—阴顺次变化,使受光面积和生存空间增大,这正是立体组合增值的实质所在。

2. 时间上互补

因群体中不同种类生育期差异,造成不同时间上充分利用生活资源。如 IRRI 把 80 天的玉米和 160 天的水稻间作,增产 30% ~ 40%; 85 天的菜豆和 120 天玉米间作增产 38% ~ 50%。时间上的互补形成的原因主要是不同作物对生活资源的需要在时间上错开,避免了同时争夺同一资源,更协调地利用各种环境资源。

3. 土壤养分,水分利用上互补

不同植物立体组装,因其根系类型不同,分布深度宽度各异,吸收力和所需求养分数量、种类也不相同,合理地结合有助于充分利用土层中水分养分资源。

由于植物的“相互回避”现象,即一种植物“避开”已经被另一植物耗尽养分和水分的区域,使土壤养分互补成为可能。至于我国的“桑基鱼塘”和国外的“稻、鱼、猪、鸡、沼气”立体系统则是养分互补的典例。

4. 生物特性的差异质互补

利用生物本身生物学特征上的差异质互补作用,二层次或三层次立体,可以减少自然灾害,例如玉米下层种马铃薯,由于后者结薯期怕高温,需要相对阴湿的生态条件,而玉米正好起到了遮阴降温的良好作用,因而对结薯有利。另外,植物群落中的代谢产物,如根系分泌物,为另一植物根系吸收,或经土壤液生物吸收利用,促进营养物质分解,间接供给其他植物吸收。

综上,人工复合立体组合,即立体生态农业自觉不自觉地模拟了自然群落的成层性和演替性,使生物种群间、植物种间存在异质互补,从理论上使立体生态农业可行。

实践情况怎样?自然生态规律一旦被人类掌握,并与现代生物科学相结合,就会产生丰富多彩

的创造:从我国古代的“桑基鱼塘”到现代的“立体林业,立体渔业,大田立体农业,庭院立体农业和空中立体农业”等等,广东珠江三角洲有改造后的“桑基鱼塘”,江苏太湖区有“林—草—禽—鱼”一系列的立体模式应运而生,如菜园立体型,水面立体型,旱地立体型,水田立体型,山地立体型……如此种种,不胜枚举。

我国立体农业的宝贵实践,古代立体农业理论,历来为世界各国重视,并作为世界生态农业理论的重要依据,印度学者学习我国“桑基鱼塘”经验,发展创造了“稻—鱼—猪—鸡—沼气”的立体综合系统,菲律宾、美国、丹麦、泰国等地也有类似系统。

三、立体生态农业的合理性

立体农业成败取决于是否遵循生态法则和经济法则,那种违背客观规律的立体农业只能是夺自然资源和自然财富的恶性循环农业。

为了更客观地遵循生态法则,有必要研究立体组合物种间的相互关系。

1. 共生。一般而言,在农田生态中,常见的根瘤菌和豆科作物的共生正是这种关系。

2. 互利。即指两种生物作用时互有利,但并非被迫合作。稻田养鱼,前者为后者提供了枯叶和隐蔽条件,鱼为水稻除草、吃土、松泥通气。作用结果,使稻田增产增收。

3. 偏害。群落偏害主要表现在一种生物的代谢产物对另一种生物有抑制作用。如胡桃不能和苹果立体组合种植,因为前者分泌的胡桃醌,对后者起毒害作用。胡桃下面也不能种蕃茄、马铃薯,苹果树下不应种玉米等等。

4. 捕食。指一种生物以另一种生物为食的关系,如昆虫以作物为捕食对象,而不少鸟类和青蛙又以昆虫为食。虫和虫之间也存在捕食关系,如瓢虫对蚜虫的捕食。

5. 寄生。在农业系统中,寄生虫、病毒、寄生蜂与人、畜、禽、植物林木、昆虫之间广泛存在寄生和被寄生关系。

人工模拟的立体组合,虽不如天然群落那么复杂多样,但必须充分认识和掌握种间关系,坚持协调、谐合的配置,而机械盲目性的凑合,达不到促进生产的目的。为此,必须遵循下述三项原则:①

生物共生（互利）优势原则；②生物相克趋利避害原则；③生物相生相养原则。

由于群体共生也产生了对生活因素——光、水、养分的剧烈竞争，处理不当反而会引引起总生物量降低。Stoskopf 指出，群体中个体间竞争现象普遍存在。无论个体接触多么密切，只要环境因素供应量小于二者需求时，竞争即开始。美国的玉米和豆作立体种植的试验结果就是否定的，我国也有失败或经济和生态效益不高的例子。

现将种植业立体组合的竞争现象简述如下：

第一，群体对光和 CO₂ 的竞争

居于最上层的植物一般高大，光合面积居优势地位，光照和通风条件良好，而处于中层或下层，甚至地面层的植物矮小，这必然影响对光的截取。研究表明，对光和 CO₂ 的竞争导致生物产量和经济产量下降，尤其对大豆影响明显。Agboola 发现，禾谷类作物和豆类立体种植，在生育后期发生剧烈竞争，尽管玉米产量未受影响，但豆作产量却因遮阴而明显降低，美国 Mississippi 农试站的试验也获得类似结果。

第二，对土壤养分和水分的竞争

有试验表明，土壤养分水分竞争有时比地上部光照等因子的竞争更激烈。Gunaseena 在斯里兰卡进行六项试验发现，玉米—大豆组合，在不施 N 时，玉米产量下降，施 N 则提高，认为可能存在种间养分竞争。在实际生产中，很难把对 CO₂ 和对养分水分竞争效应区分开，二者相互联系，相互促进。Ahmed 等发现，在 N 素充足时，大豆减产严重，认为这是 N 促使玉米生长良好，加剧了对大豆遮阴度。可见，两种竞争是相互作用的。

目前，亚非拉大多数，以及英、美、苏、澳部分科学工作者认为，合理的间混作有利于增产。澳大利亚 Treubath 公开发表 344 个试验，结果牧草、大田作物立体种植增产者占试验总数的 60.2%。但并非所有组合都能增产，在一些情况下是减产的，其原因往往是：①两种或两种以上作物组合密度比单作少或者不增加；②一种作物占绝对优势，另外作物虽占据一定的空间，但得不到适宜的阳光和水分、养分，营养生长仍然和优势作物竞争，但生殖产量甚微；③品种、生育期搭配或田间配置不合理，竞争过甚而减产；④水肥条件得不到保证。

人工调节的立体种植必须充分利用不同种类间的上述互补、互利关系，组成合理的群体结构，尽

量减少竞争。为此，必须做到：①检择适宜的植物和品种，不能根据单作条件下品种习性来推测组合条件下的习性，只能在特定的组合状态下测定其优势。适宜的标准是：使它具有最小的竞争能力和最大的互补效应；②建立合理的空间排列，立体组合总群体可以大于分别净作的最佳群体，分清主次、再次关系；③确定最适播期范围，造成时间上的互补，使二者相对竞争力差不多；④因地制宜，注意和生产条件相适应，特别要注意当地的气候因子，山地具有自然立体条件，而平原则缺乏山地优势，应建立对号入座的主攻方向。‘顺天时地利之宜，知阴阳消长之理，则百谷之成，斯可必矣’。

四、立体农业合理化的数学模式

立体组合怎样才算合理？即哪些组合有益？哪些有害？是增产，还是减产？目前，国内外学者对于广义的立体农业合理化定量指标研究尚少，但对于组合成份较少，构成模式不是十分复杂的立体种植比较常用的有以下几种度量指标。

1. 代换系列（Replacement Series）。即把每种作物都保持单植状态，同时用等量的一种作物代换另一种作物，以构成一定比例的立体组合。假定组合中有 A 和 B 两种作物，以 a:b 比例种植，先用下式求相对产量：

$$\text{在 } a:b \text{ 组合中 A 的相对产量} = \frac{\text{组合中 A 的产量}}{\text{单植时 A 的产量}}$$

$$\text{在 } a:b \text{ 组合中 B 的相对产量} = \frac{\text{组合中 B 的产量}}{\text{单植时 B 的产量}}$$

A 和 B 相对产量的和为相对产量总和（RYT）。RYT 表示在特定组合中两作物互作关系的有用指数，RYT 求法是：

$$RYT = \frac{A_2}{A_1} + \frac{B_2}{B_1}$$

将 RYT 减去 1，转换为百分率，即为该组合的增产率。经过一系列的替换试验后，我们可以得到组合中有下述 5 种互作结果：一是立体组合对两种作物均有利，属互利型，RYT>1；二是，对 A 有利，对 B 无影响，属单利型，RYT<1；三是，对 A 无影响，对 B 不利，属单害型，RYT<1；四是，组合对 A 有利，对 B 有害，属利害型，利害相抵，RYT≈1；五是，对 B、A 均有害，属互害型，RYT

<1。在实际生产中,只有组合的总产(值)高于单作时,才能提倡立体组合种植,否则得不偿失。

2. 种间竞争指数 (Interpeific, competition Index)。这是 1963 年 Donald 在研究种间竞争现象中,提出的量化单值和复合群体的指标。

$$C_1 = \frac{(N'A - NA)(N'B - NB)}{NA \cdot NB}$$

式中 $NA \cdot NB$ 分别为组合 A 密度和 B 密度; $N'A$ 和 $N'B$ 分别表示组合群体中 A 类和 B 类平均个体重量相当的 A 类和 B 类单作群体的密度。该式表明,如果 $C_1 < 1$, 则为正值群体,如果 $C_1 > 1$, 则为负值群体。

此外,Donald 也对播种量相同的 A、B 两组合群体的生物产量 ($\bar{Y}$) 同与这种组合群体密度相同的 A 类单作群作的生产量 ($\bar{Y}_A$) 和 B 类单作群作的生物量 ($\bar{Y}_B$) 进行比较。如果 $Y_A > Y_B$, 则一般有 $Y_A > Y > Y_B$, 以及 $y \leq (\bar{Y}_A + \bar{Y}_B) / 2$ 的关系。

3. 洛特卡—沃尔泰拉 (Lotka — voltterra) 模式。这是 1925 ~ 1926 年由 Lotkat 和 Voltterra 在不同刊物上发表的模式,该方程适合捕食者—猎物、寄生者—宿主,竞争或其他二种类间相互关系。就有限空间而言,每个种群具有一个极限值 K, 即环境对物种的内容纳量:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= r_1 N_1 \frac{K_1 - N_1 - \alpha N_2}{K_1} \\ \frac{dN_2}{dt} &= r_2 N_2 \frac{K_2 - N_2 - \beta N_1}{K_2} \end{aligned}$$

在此 $\frac{dN_1}{dt}$ 和 $\frac{dN_2}{dt}$ 是单位时间内物种 1 和物种 2 的数量变化, N_1 和 N_2 是物种 1 和物种 2 的数量, α 和 β 为竞争系数,表示物种 2 (物种 1) 对于物种 1 (物种 2) 的抑制影响。实验证明,如果竞争系数和密度比率 (K_1/K_2 和 K_2/K_1) 相比较时非常小,那么,两种在理论上是能够共存的。虽然如此,竞争作用的结果,对于另一物种抑制影响最大的那个物种,会把前一物种从这个空间中抑制掉。

4. 土地当量比 (Land Eguivalenecy Ratio), 简称 LER。即指为获得组合种植时某一作物的同等产量在相同管理水平上,该作物单体时所需的面积比。

这是 1974 年由国际水稻研究所提出的判断组

合种植是否优于单植的数量指标,若以 Y_i 表示单位面积上组合的第 1 个成员的产量, Y_{ij} 表示该成员在同样面积单位下的产量,那么,组合种植中各部分之和即为 LER:

$$LER = Y_1^i / Y_1^m + Y_2^i / Y_2^m + \cdots + Y_n^i / Y_n^m = \sum_{i=1}^m \frac{Y_i}{Y_{ij}}$$

如果 $LER = 1$, 则从单位面积上组合种植收获的各个部分产量等于单位面积上分别占有总面积的相当部分各作物单植的产量,表示组合种植单位面积产量永远不会超过最丰产的单作。

如果 $LER > 1$, 而单植产量仍是原样的,那么 $LER + 1 + X$ 意味着组合种植比单作超产 100x%。如果 X 相当大,证明组合种植是合算的。另一方面,X 是已定的,而单植产量十分不同,那么 LER 的超过就不足以证明组合种植产量是高的。当 $LER = 1 + X$, 需要一个额外的单作的 X 面积未产生从组合面积上所获得的一系列产量 $Y_1, Y_2, \cdots Y_m$, 在此情况下组合种植仍然可能是有利的。如果这一列不同产量类型的各种比例是合意的,例如也增加了此经营组合种植的价格,这样的组合也是有利的。

5. 面积时间当量比 (Area Time Eguivalency Ratio) 简称 ATER。由于 LER 没有含有种植系统的(土地利用的)持续时间,而实际上组合种植的持续时间比单植长得多,所以,HiedSch 等人于 1987 年提出了既包括了对产量 ($\bar{Y}_i / Y_m$), 又包括持续时间的 ATER 概念:

$$ATER = [(Y_1^i / y_1^m)](t_1^m) + (Y_2^i / y_2^m)](t_2^m) + \cdots + (Y_n^i / y_n^m)](t_n^m)] / t_i$$

式中 t_i 为组合种植的持续时间, t_m 为组合种植各成分 1, 2, $\cdots n$ 的单作生产循环持续时间。

用上式计算的土地利用比 LER 值低,例如 MaSon (1986) 等人将 330 天生长期的木薯与 90 天的豇豆或与 110 天花生组合种植,估计的 $LER = 1.47$, 即组合种植土地利用率高 47%, 但 ATER 表明,组合种植和单作的使用面积几乎相当 (ATER = 1.03)。实践证明,在低 N 条件下,豆科作物和非豆科作物间作的 ATER 作用较高,但供给非豆科作物 N 肥时,ATER 约为 1。至于在其他不同条件下,ATER 的适宜值还有待进一步探索。

(下转 8 页)

参考文献：

- [1]凉州农业局. 2004 年统计年报[Z]. 2004.
[2]夏明忠等. 实用经济作物栽培[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994 :101 - 121.
[3]陈文宽,谭静. 农业产业化概论[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2000(8) :255 - 260.
[4]华劲松,李大忠,戴红燕. 冕宁县主要农作物种植效益调查与分析[J]. 西昌学院学报自然科学版[J]. 2005. (2) :10 - 12.

The Growth Actuality and the Development Countermeasure of Rape in Panxi Area

DAI Hong - yan

(Research Institute of Subtropical Crops of xichang college, Xichang, Sichuan 615013)

Abstract: The paper analyzes the growth actuality, problems existing, limiting factor and advantage in developing rape in Panxi. This article puts some policies and measures. That is , we should build the base of rape production with the support of government. The proportion of wheat should be curtailed properly, but the proportion of rape should be increased. Insisting high jumping - off and high standard development, the agriculture department should provide good the technical service. Then we should promote the Industrialization of management and increased the benefit by deep processing and utilization.

Key words: Panxi; Rape production; Countermeasure of development

(责任编辑 张荣萍)

(上接 4 页)

On Feasibility and Rationality of Dimensional Ecological Agriculture

XIA Ming - zhong

(Xichang College, Xichang, Sichuan 615013)

Abstract: Dimensional ecological agriculture is a simulated artificial combination of biological species based on natural ecological layer formation principle. This combination takes full advantage of natural resources due to the interdependence of organisms. On the other hand, it also brings about fierce competition in living factors due to the interaction of organisms. The aim of artificial adjustment is to maximize the interdependence and minimize the competition.

Key words: Dimensional Agriculture; Ecological layer; Feasibility; Rationality

(责任编辑 张荣萍)