

# 福州平原稻田复种轮作与连作试验研究

柯文涛 陈希雄 赵銮夫 陈人珍

(福建农科院耕作轮作研究所)

## 提 要

福州平原人多地少,光热资源丰富,据稻田研究结果,推广复种轮作三熟制,不但经济产量和经济效益高,且改善土壤理化性质,增加地力。三熟制比二熟制有较高的生产力。虽然从土壤中带走的养分较多,由于增加了土壤有机质来源,所以土壤并未衰退。麦、稻、稻三熟制有较高的生产力,在增施肥料的条件下,种麦不会损稻。

福州是我省四大平原(福州、莆田、泉州、漳州)之一。地处亚热带,光热资源丰富,年平均气温 $19.6^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $6457^{\circ}\text{C}$ ,年日照1888小时,年降水量1342.5毫米。人多地少,人均耕地只有0.5亩。群众素有精耕细作的习惯,为我省双季稻地区。冬种多为大、小麦、油菜、蚕豆、紫云英等作物或且休闲。麦稻稻是比较重要的一种三熟制,对增产粮食起重要的作用。目前冬闲田占50%以上。随着人口密度的增加,耕地日益减少,必须扩大冬种面积,提高复种指数,走多熟高产道路。稻田长期实行单一的连作制度,对产量、经济效益和地力有无影响?多熟制与生产力以及土壤肥力的关系如何?为了探索这些问题,我们于1982~1984年开展本试验,为建立农田生态平衡、稳产、高产、经济效益高的合理的稻田复种轮作制度,提供科学依据。

## 一 材 料 与 方 法

试验田设在福州城门良种场,土地平坦,土壤为灰泥田,排灌方便。试验共设六个处理:1.双季稻与不同冬作物复种轮作制;2.双季稻与小麦复种连作制;3.双季稻与油菜复种连作制;4.双季稻与蚕豆复种连作制;5.双季稻与紫云英复种连作制;6.双季稻与冬闲复种连作制。以2、6处理为对照,设计处理见表1。每处理一小区,筑小田埂隔开,单排单灌,灌排分家。小区面积0.25亩,随机排列,三次重复。稻、麦、豆、油、肥等各作物均选用当地生产上主要品种,施肥按中等水平,基肥用粪肥,追肥用化肥,绿肥作物蚕豆及紫云

刘一鸣、张丽华同志参加土壤化验工作。

英的茎秆全部回田, 小麦、油菜、水稻茎秆不回田。田间栽培管理与当地大田管理相同。在试验过程, 每隔15天系统测定作物的叶面积、干物重, 并由此算出叶面积系数、叶、日积与光能利用率。成熟期测定生物量、经济产量。同时进行能量转换、物质循环与经济效益的分析。为了探讨土壤理化性质变化规律, 在试验前和每年晚稻收获后分别取土样进行分析。

表 1

试 验 处 理 内 容 及 种 植 顺 序

处 理 内 容	复 种 方 式 及 种 植 顺 序		
	第 一 年 1981~1982	第 二 年 1982~1983	第 三 年 1983~1984
1. 双季稻与不同冬作物复种轮作制	小麦—稻—稻	油菜—稻—稻	蚕豆—稻—稻
2. 双季稻与小麦复种连作制 (CK)	小麦—稻—稻	小麦—稻—稻	小麦—稻—稻
3. 双季稻与油菜复种连作制	油菜—稻—稻	油菜—稻—稻	油菜—稻—稻
4. 双季稻与蚕豆复种连作制	蚕豆—稻—稻	蚕豆—稻—稻	蚕豆—稻—稻
5. 双季稻与紫云英复种连作制	紫云英—稻—稻	紫云英—稻—稻	紫云英—稻—稻
6. 双季稻与冬闲复种连作制 (CK)	冬闲—稻—稻	冬闲—稻—稻	冬闲—稻—稻

## 二 结 果 与 分 析

### (一) 不同种植方式作物产量及经济效益

1. 不同种植方式的各季节经济产量 由表 2 可见, 不同种植方式的冬作物以小麦亩产 184.9 公斤 (折谷下同) 为最高, 蚕豆最低亩产仅 132.9 公斤; 早晚稻产量以轮稻稻最高, 亩产 745.8 公斤, 紫云英稻稻最低, 亩产 707 公斤; 年产量以轮稻稻最高, 亩产 922.5 公斤。经方差分析 ( $F = 50.7589$ ), 和  $t$  测验, 整个试验处理的差异在极显著范围内, 三熟中轮稻稻与油稻稻差异显著, 和豆稻稻差异极显著, 和麦稻稻无显著差异。从变量分析结果, 轮稻稻等三熟制都极显著高于冬闲稻稻等二熟制, 表明三熟比二熟显著增产。

表 2

不 同 种 植 方 式 经 济 产 量

公斤/亩

种 植 方 式	冬 作 物	早 稻	晚 稻	早 晚 稻	年 产 量
轮 稻 稻	176.7	394.3	351.5	745.8	922.5
小 麦 稻 稻	184.9	383.1	342.6	725.8	910.7
油 菜 稻 稻	154.9	391.6	334.6	726.1	881.0
蚕 豆 稻 稻	132.9	390.1	343.2	733.4	866.3
紫 云 英 稻 稻		372.8	334.3	707.0	707.0
冬 闲 稻 稻		399.4	340.2	739.6	739.6

注: 冬作物折谷标准: 小麦每公斤=1.2公斤, 蚕豆每公斤=2公斤, 油菜每公斤=2.5公斤, 紫云英不计经济产量。

\*  $F_{0.05} = 3.33$  为显著平准

\*  $LSD_{0.05} = 37.1$  公斤/亩为产量差异显著平准

\*\*  $F_{0.01} = 5.64$  为极显著平准

\*\*  $LSD_{0.01} = 52.7$  公斤/亩为产量差异极显著平准

数据为1982~1984年平均, 以下各表均同。

### 2. 不同种植方式的生物量、产能量和粗蛋白含量 从图 1 可以看出:

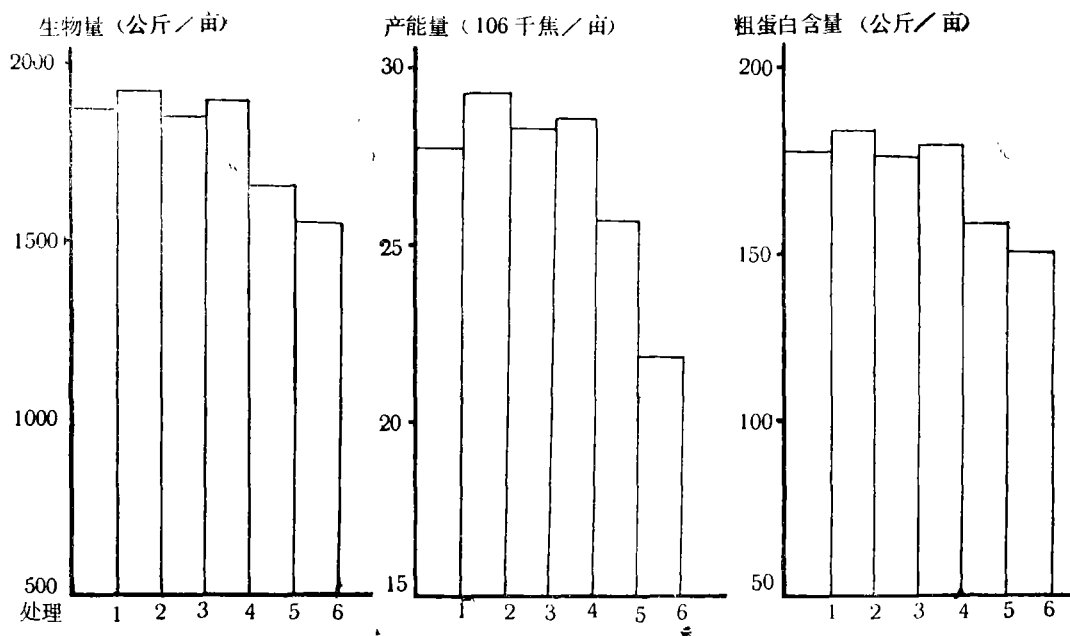


图1 不同种植方式生物量、产能量、粗蛋白含量比较

(1) 在三熟制中,生物量、产能量和粗蛋白含量均以麦稻稻最高,其顺序为:麦稻稻、蚕豆稻稻、轮稻稻、油稻稻。

(2) 在两熟制中,生物量、产能量和粗蛋白含量均以紫云英稻稻最高。

(3) 三熟制四种方式的生物量、产能量和粗蛋白含量均高于二熟制二种方式。以三熟制四种方式平均数与二熟制二种方式平均数相比,三熟制比二熟制增加生物量18.12%、产能量16.41%、粗蛋白17.46%。

3.不同种植方式的经济效益 三熟制四种的种植方式,亩产值以轮稻稻最高,其顺序为:轮稻稻、油稻稻、麦稻稻、蚕豆稻稻,三熟制四种方式均高于二熟制二种方式,三熟比两熟每亩多收37.1~58元。亩纯收入的表现与亩产值完全一致,三熟制比两熟制每亩多收22.5~50.7元。亩成本值麦稻稻第一,豆稻稻次之,轮稻稻、油稻稻又次之,三熟制成本高于二熟制。各处理成本产值以油稻稻效益最高,三熟制效益高于二熟制。工值率以闲稻稻和肥稻稻较高,两者均在5元以上,其余在4~4.3元之间(见表3)。

#### (二) 不同种植方式各作物叶日积及干物重

1.不同种植方式的叶、日积 叶、日积(LAI·D)是表示作物群体平均叶面积系数(LAI)与生长日数(D)的乘积。叶、日积这个指标能较好的综合反映作物群体叶面积与生长日数的关系,可以提高全年光能利用率,充分发挥时间资源的增产作用。提高叶、日积是发展农业生产的一个重要问题。从表4看出,冬作物叶、日积以蚕豆为最大,其次为小麦、油菜。早稻的叶、日积以紫云英稻稻和闲稻稻为高,达500以上。晚稻叶、日积以蚕豆稻稻较高,麦稻稻较低。全年叶、日积以蚕豆稻稻最高,其顺序为:蚕豆稻稻、轮稻稻、油稻稻、麦稻稻、紫云英稻稻、闲稻稻,三熟比二熟高。

表 3 不同种植方式经济效益表

种植方式	产值(元/亩)	成本(元/亩)	纯收入(元/亩)	成本产值(元/元)	工值率(元/工)
轮 稻 稻	220.1	59.0	161.5	3.7	4.3
麦 稻 稻	215.3	61.1	154.3	3.5	4.0
油 稻 稻	216.6	57.0	159.6	3.8	4.1
蚕豆稻稻	207.2	60.3	146.9	3.4	4.3
紫云英稻稻	162.6	51.8	110.2	3.1	5.1
冬闲稻稻	170.1	45.7	124.3	3.7	5.3

注: 1.亩产值不包括茎秆 2.亩成本包括肥料、种子、农药、农械 3.物价按1985年1月市场公价 4.紫云英未算经济产量和产值。

表 4 不同种植方式最高、平均叶面积系数及叶、日积

种植方式	冬 作 物			早 稻			晚 稻			全 年		
	最高叶面积系数	平均叶面积系数	叶、日积	最高叶面积系数	平均叶面积系数	叶、日积	最高叶面积系数	平均叶面积系数	叶、日积	最高叶面积系数	平均叶面积系数	叶、日积
轮 稻 稻	2.084	1.238	180.4	6.334	4.383	479.1	5.644	3.790	474.9	4.687	3.137	1193.0
麦 稻 稻	1.784	1.257	186.9	6.449	4.195	458.5	5.056	3.492	437.5	4.430	2.981	1142.6
油 稻 稻	1.877	1.285	186.7	6.091	4.380	478.7	5.321	3.608	452.1	4.430	3.091	1174.3
蚕豆稻稻	2.077	1.723	234.3	7.138	4.403	494.5	5.441	3.895	488.0	4.885	3.340	1247.8
紫云英稻稻				6.775	4.488	504.0	5.703	3.689	462.2	6.239	4.089	971.5
冬闲稻稻				6.778	4.454	500.2	5.201	3.645	456.7	5.990	4.050	962.3

2.不同种植方式作物干物质积累 作物产量的形成过程,实际上就是干物质生产与分配过程。前人研究证明,作物经济产量主要取决于整个生长发育期的干物质生产与光合性状的差异。从我们试验的资料来看,冬作物干物质积累以小麦生长较快,干物质积累全生育期均居领先地位,轮作居中,油菜、蚕豆较慢。各作物干物质积累的趋势均表现直线上升,各处理间前期差异不明显。中后期以蚕豆稻稻较快,麦稻稻和紫云英稻稻较慢。晚稻干物质积累的趋势与早稻相似,中后期亦以蚕豆稻稻较快,紫云英稻稻较慢。

### (三)不同种植方式的光能利用率

冬作物的光能利用率(E%)以小麦最高(0.733%)、紫云英较低(0.439%)。早稻光能利用率均在1%以上,以蚕豆稻稻最高(1.279%),麦稻稻最低(1.183%)。晚稻光能利用率比早稻低,最高为蚕豆稻稻,最低为紫云英稻稻,分别为0.995%和0.852%。各季作物的光能利用率,早稻>晚稻>冬作物。全年光能利用率,以麦稻稻最高(1.129%),最低为闲稻稻和紫云英稻稻,分别为0.899%和0.963%(表5)。三熟制四种方式的全年光能利用率均在1%以上,二熟制二种方式均在1%以下,三熟比二熟高。所以扩大冬种面积,提高复种指数,是增加光能利用率,充分利用农业资源的主要途径。

不同种植方式能量转化率:从表6看出,麦稻稻产能量和投能量居第一,但能量转化率低,仅6.5,属于产能量和投能量都高、能量转化率低的种植方式。蚕豆稻稻产能量居第

表5 不同种植方式光能利用率(E%)

种植方式	冬作物		早稻		晚稻		全年	
	生物量 公斤/亩	E %	生物量 公斤/亩	E %	生物量 公斤/亩	E %	生物量 公斤/亩	E %
轮 稻 稻	296.9	0.58	839.9	1.28	732.8	0.92	1869.5	1.08
麦 稻 稻	389.7	0.73	777.5	1.18	782.1	0.98	1949.3	1.13
油 稻 稻	287.2	0.56	791.4	1.21	785.2	0.98	1863.8	1.08
蚕 豆 稻 稻	235.3	0.49	880.4	1.28	794.8	1.00	1910.5	1.10
紫云英稻稻	201.9	0.44	778.6	1.19	681.3	0.85	1661.8	0.96
冬 闲 稻 稻			797.8	1.22	754.5	0.94	1552.3	0.90

注: (1) 生物量系指单位面积上作物根、茎、叶、籽粒、壳各器官经105℃烘干的总重量

(2) 光能利用率(E%) =  $\frac{\text{生物量(公斤/亩)} \times \text{有机物的热值}(4.25 \text{千卡/克} \times 600 \times 100)}{\text{同期太阳总辐射量(千卡/厘米}^2) \times 666.7 \times 10^4}$

二, 投能量低, 能量转化率高, 达7.6, 属于产能量较高、投能量低、能量转化率高的种植方式。油稻稻和轮稻稻的产能量不高、投能量也不高, 属于产能量中、投能量中, 而前者能量转化率较高, 后者转化率低的种植方式。二熟制中肥稻稻属于产能量和投能量均低、能量转化率较高的种植方式。闲稻稻属于产能量、投能量和能量转化率均低的种植方式, 在能量转化上不如三熟制和肥稻稻。

表6 不同种植方式能量转化

种植方式	产 能 量 10 <sup>6</sup> 千焦/亩	投 能 10 <sup>6</sup> 千焦/亩			产 / 投
		无 机 能	有 机 能	合 计	
轮 稻 稻	27.4	2.2	2.1	4.3	6.4
麦 稻 稻	28.7	2.1	2.3	4.4	6.5
油 稻 稻	27.8	2.1	1.9	4.0	7.0
蚕 豆 稻 稻	28.2	1.7	2.0	3.7	7.6
紫云英稻稻	25.8	2.5	1.3	3.8	6.8
冬 闲 稻 稻	22.4	2.1	1.3	3.4	6.6

注: 1. 无机能包括化肥、农药、电力、机械 2. 有机能包括有机肥、劳力、畜力、种子。

#### (四) 不同种植方式营养物质的循环

三熟制的种植方式, 需要从土壤中吸取较多的营养物质, 这样会不会引起地力衰竭? 现把试验的各处理投入与产出, 列于表7。从表7看出, 各处理的氮素投入都大于产出, 所以氮素均有剩余, 每亩盈2~9.6公斤, 以麦稻稻剩余最多, 但投肥效益最差, 其产/投比仅0.698; 磷素投入都小于产出, 土壤中磷肥收支均不能平衡, 每亩亏损1.8~2.8公斤, 以油稻稻亏损较多, 但投肥效益较好, 其产/投比为1.292; 钾素的亏损更多, 每亩亏损13~15公斤, 以紫云英稻稻亏损最多, 但投肥效益最佳, 产/投比为3.921。综上所述, 各处理的氮都有剩余, 磷不足, 钾更缺。多熟制从土壤中带走的养分较多, 但施肥量多, 茎、叶、根遗留土壤中也多, 如茎秆和饼肥全部回田, 也为土壤增加有机质的来源。

表 7

不同种植方式投肥与投肥效益

种植方式	养分种类	投入量 公斤/亩				产出量 公斤/亩	产 / 投
		有机肥	无机肥	固氮量	合 计		
轮 稻 稻	N	14.05	16.59	0.48	30.61	22.75	0.74
	P	2.91	6.68		9.59	12.08	1.26
	K	8.28	1.40		9.68	22.65	2.34
麦 稻 稻	N	16.38	15.54		31.92	22.29	0.70
	P	3.28	6.68		9.96	11.80	1.13
	K	9.83	1.40		11.22	23.20	2.07
油 菜 稻 稻	N	13.68	16.59		30.27	22.52	0.74
	P	2.74	6.68		9.42	12.17	1.29
	K	8.21	1.40		9.61	22.69	2.36
蚕 豆 稻 稻	N	14.28	15.54	3.54	33.36	25.42	0.76
	P	3.26	6.83		10.08	12.27	1.22
	K	7.99	1.40		9.39	23.66	2.52
紫 云 英 稻 稻	N	6.20	15.54	4.48	26.21	24.27	0.93
	P	1.21	13.63		14.86	18.19	1.19
	K	3.72	1.40		5.12	20.07	3.92
冬 闲 稻 稻	N	6.99	15.51		22.53	18.68	0.83
	P	1.40	6.68		8.08	10.07	1.25
	K	4.19	1.40		5.59	19.51	3.49

#### (五) 不同种植方式对土壤理化性质的影响

经三年试验结果, 土壤理化性质发生变化如表 8。从表 8 看出试验田各处理有机质均有不同程度的增加, 以轮稻稻增加较多, 油稻稻和肥稻稻较少。全氮各处理亦有不同程度的增加。全磷除麦稻稻略减外, 余均增加。水解氮除肥稻稻外, 亦均增加。速效磷肥稻稻略增, 余平衡或略减。速效钾麦稻稻、油稻稻略增, 轮稻稻平衡, 余略减。土壤容重均减少, 以油稻稻减少较多。

总的来看, 通过 1982~1984 年的三年试验, 初步看出, 三熟制中轮作比连作对土壤理化性质有改善的趋势。各区土壤肥力均有一定改善, 有机质、全氮普遍增加, 全磷、水解氮大部分增加, 土壤容重减轻, 表现土壤越种越肥的良好效果。所以, 在沿海平原人多地少地方, 扩大冬种面积, 提高复种指数, 走多熟高产道路, 仍是今后农业生产上要坚持的方向。

## 三 讨 论

(一) 福州平原具有丰富的光热资源, 较高的水肥条件, 充裕的劳力来源, 适于一年三熟制。在稻田耕作制度上, 以双季稻为主, 与不同冬作物搭配, 组成复种轮作三熟制, 不但

表8 不同种植方式土壤养分状况比较

种植方式	化验年月	酸碱度 (pH)	有机质 (%)	全 氮 (%)	全 磷 (%)	水解氮 (ppm)	速效磷 (ppm)	速效钾 (ppm)	容 重 克厘米 <sup>3</sup>
轮 稻 稻	1981年11月	5.6	2.6604	0.1297	0.1450	106	34	40	1.04
	1984年11月	5.3	3.1000	0.1470	0.1500	120	39	40	1.02
	三年后增减	-0.3	+0.4396	+0.0173	+0.0050	+14	+5	0	-0.02
麦 稻 稻	1981年11月	5.6	2.8019	0.1310	0.1550	106	53	40	1.01
	1984年11月	5.5	2.9800	0.1390	0.1420	113	36	45	1.00
	三年后增减	-0.1	+0.1781	+0.0080	-0.0130	+7	-17	+5	-0.01
油菜稻稻	1981年11月	5.9	2.9782	0.1426	0.1400	110	39	38	1.06
	1984年11月	5.6	3.0800	0.1450	0.1720	118	39	39	0.89
	三年后增减	-0.3	+0.1012	+0.0024	+0.0320	+8	0	+1	-0.17
蚕豆稻稻	1981年11月	5.6	2.7736	0.1304	0.1400	109	38	41	1.05
	1984年11月	5.3	3.0300	0.1400	0.1780	122	33	37	1.02
	三年后增减	-0.3	+0.2564	+0.0096	+0.0380	+13	-5	-4	-0.03
紫云英稻稻	1981年11月	5.9	2.9010	0.1344	0.1400	113	36	42	0.99
	1984年11月	5.6	2.9300	0.1400	0.1420	110	39	37	0.94
	三年后增减	-0.3	+0.0290	+0.0056	+0.0020	-3	+3	-5	-0.05
冬闲稻稻	1981年11月	5.6	2.7524	0.1307	0.1350	102	37	41	1.04
	1984年11月	5.3	2.8000	0.1390	0.1580	115	37	35	1.01
	三年后增减	-0.3	+0.0476	+0.0083	+0.0230	+13	0	-6	-0.03

经济产量高,而且提高经济效益,增加土壤肥力,改善土壤理化性质。

(二)三熟制比二熟制有较高的生产力,表现在经济产量、生物量、热能量、粗蛋白含量及经济效益都高,同时提高了光能利用率和能量转化率。三熟制虽从土壤中带走的养分较多,但茎叶根遗留在土壤中也多,如稿秆和饼肥全部回田,也为土壤增加有机质的来源,在本试验中各处理小区的土壤肥力并未衰退,且均有一定改善,表现土壤越种越肥的良好效果。

(三)麦稻稻的经济产量仅次于轮稻稻,两者之间的差异不显著,在生物量、热能量和粗蛋白含量均居第一,有较高的生产力。因为在较好的水肥条件下,所以小区中的土壤有机质、全氮、水解氮均增加,土壤容重减轻,土壤理化性质都有改善,所以在人多地少的地方,扩大麦稻稻三熟期,只要增施肥料,种麦是不会损稻的。

### 参 考 文 献

- (1) 湘鄂赣协作组, 1983, 湘鄂赣三省稻田三熟制连作与轮作对比试验总结。湖北农业科学 4
- (2) 陈淑君, 1983, 稻田几种主要复种制研究。湖南农业科学 6
- (3) 李锦豹, 1984, 几种稻田种植制能量投放和转换效率分析。浙江农业科学 4

- (4) 刘巽浩, 1984, 能量投入产出在农业上的应用。农业现代化研究 4
- (5) 刘巽浩等, 1981, 论作物的叶、日积及其应用 (油印稿)。
- (6) 韩湘玲等, 1981, 不同熟制生产力的研究 (油印稿)。
- (7) 竺可桢, 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系。人民日报 1964.3.17
- (8) 蔡金禄, 1981, 福建省太阳总辐射分布特征与提高光能利用率途径。生态学报 4
- (9) George R Blake, 1980, Crop rotation vs. monoculture soil physical properties. Crops and soils magazine 32: 6
- (10) W.D. Shrader and R.D. Voss, 1980, Crop rotation vs. monoculture soil fertility. Crops and soils magazine 32: 8

## RESEARCH ON MULTIPLE CROPPING ROTATION AND CONTINUOUS CROPPING IN THE PLAINFIELD OF FUZHOU

Ke Wentao Chen Xixiong Zhao Luanfu Chen Renzhen

(Institute of cultivation & rotation,  
Fujian Academy of Agricultural Sciences)

### ABSTRACT

In the plainfield of Fuzhou area, the population density is very high but the cultivable land is limited, and the resources of sunshine and heat energy are very wealthy. According to our research data from rice fields the extension of multiple cropping and triple cropping system annually not only can get high economical and effective production, but also can improve the physical and chemical character of soil and increase soil fertility.

The productivity of triple cropping system is higher than that of double cropping system.

Because of increasing soil organic matter content though the nutrient has been taken away, the soil fertility is not depleting. The triple cropping system of wheat-rice-rice has higher productivity. Under the condition of increasing fertilizers to crops, plantation of wheat does not damage rice.