

国際農林業協力

JAICAF

**Japan Association for
International Collaboration of
Agriculture and Forestry**

特集：ガンジス流域平原地域における稲・小麦体系
資源維持技術 — 農業を変えた新しいパラダイム
不耕起技術のインパクト
稲・小麦体系における収穫後作物（圃場）残渣の利用管理
稲・小麦体系の多様化を目的とした畝立て灌漑栽培技術

Vol. 28 (2005)
No. 1

社団法人
国際農林業協力・交流協会

巻頭言

インド大陸の農業改革を導いた RWC Raj K. GUPTA ... 1

特 集：ガンジス流域平原地域における稲・小麦体系

資源維持技術 - 農業を変える新しいパラダイム Raj K. GUPTA ... 2

不耕起技術のインパクト

R.K.MALIK・Mushtaq GILL・Ganesh SAH ... 7

収穫後作物（圃場）残渣の利用管理

Bijay-SINGH・Yadvinder-SINGH・J.K. LADHA ... 17

稲・小麦体系の多様化を目的とした畝立て灌漑栽培技術

M.L.JAT・Samar SINGH・H.K.RAI・R.S.CHHOKAR・

S.K.SHARMA・Raj K.GUPTA ... 25

図書紹介

『作物遺伝資源の農民参加型管理 - 経済開発から人間開発へ - 』

西川芳昭著 農山漁村文化協会

河瀬 眞琴 ... 43

JAICAFホームページ <http://www.jaicaf.or.jp/> 上で、本誌既刊分のコンテンツをみる
ことができます。



インド大陸の農業変革を導いた RWC

Raj K. GUPTA

CGIAR は研究機関横断的な、あるいは地域横断的な研究プロジェクトをいくつか立てているが、この Rice-Wheat Consortium (以下 RWC と略) も CIMMYT, CIP, ICRISAT, IRRI, IWMI の各研究所と、バングラデシュ、インド、ネパールおよびパキスタンの NARS との協力による生態型地域研究プログラムとして活動しており、CIMMYT が運営の推進事務局を務めている。協力機関として AVRDC の他オランダ、イギリス、オーストラリア、ニュージーランド、アメリカなどのいくつかの大学・研究所がある。研究の達成目標は、南アジアの稲・小麦の生産性を持続的に高め、自然資源を保持し、生活を改善し、貧困を軽減することにおいている。2000年には「優れた Scientific Partnership」で CGIAR 議長賞を、2004年には Baudouin 国王賞を得ている。

RWC の推進事務局は 4 か国の研究の調整、長期的なシステムの保全のための課題をより優れたものに磨く役割をも受け持っている。RWC は地域および国際協力機関 (DGIS, ADB, DFID, IFAD, USAID, ACIAR, および世銀) の資金で継続されてきた。

この号では、稲と小麦の作付を中心とする省力・省資源的な一貫作業体系の中から、多くの成果が得られているのでそのいくつかを紹介する特集を組んでいる。

Raj K. GUPTA : Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains.

南アジアは総面積 4 億 1300 万 ha、世界の人口のほぼ半分にあたる 31 億人を抱え、その 59% が農業で生きている (FAO 1998)。土地面積のほぼ半分が農作物生産に供されているが、RWC 加盟 4 か国の稲作は灌漑水田から干ばつ・洪水害を受けやすい天水田まで多様な生態系のもと、小さな耕作規模で営まれている。従来、小麦はインド・パキスタンの北西部ガンジス流域平原 (IGP) の半乾燥地に、稲はインド・ネパール・バングラデシュの東部 IGP で高温・半湿潤/湿潤地帯に栽培されてきた。1960-70 年代の農業政策の変化から、稲・小麦体系 (RWCS) が IGP で 1,050 万 ha を超える主要な作型となり、緑の革命を先導した。現在、作付面積 (ha) はインド 1,000 万、パキスタン 220 万、バングラデシュ 80 万、ネパール 50 万と推定される。中国でも 1,000 万 ha 近く、他にブータン、タイ、エジプト、マリ、ニジェール、セネガルなどでも行われており、これら全体では稲作の 32%、小麦作の 42% がこの作付体系であり (Hobbs and Morris 1996, Ladha ら 2000)、インドの食料安全保障、地域開発、自然資源保全、貧困軽減のための戦略の基礎となっている。

以下の頁には、RWC の概観、不耕起栽培のもたらしたインパクト、作物残渣の効果的利用、および畝立栽培による畑作物への増収効果について、研究報告を集録する。

(CIMMYT RWC ファシリテーター)

資源維持技術 農業を変える新しいパラダイム

Raj K. GUPTA

稲・小麦体系の持続性について

近年、南アジアの農民はどこでも生産費の高騰と収益の減退、自然資源の衰退、土壌や環境の質への負のインパクトを嘆く。しかし一方では生活が以前よりもよくなったことを認める。このことは過去に、生産性を高め、維持する新技術を導入して成長への新しい糧とすることが行われたことを示している。

IGPの各地域で生産阻害要因はさまざまであるが、モンスーンのもたらす雨、耕起作業、水と労力の有無がからみあって、稲の移植を遅らせ、稲の収穫が遅れると、小麦の播種が遅くなり、こうして小麦の生産性は1日1.5%の率で低下する (Ortiz-Monasterio ら 1994)。稲・小麦体系を長年続けると、土壌有機物の減少、栄養の枯渇、水位の低下をもたらすと言い (Abrol ら 2000)、作物残渣の焼却は生物の多様性を減退させ、環境を劣化させる。稲・小麦体系の主な問題点はかなり理解されていたが、農民は緑の革命以後の生態系問題に対応する新技術を十分に活用することはできないでいた。それは研究-普及の連携が弱く、自然資源管理のための地域特異的な問題に対応するシステムの展望を欠いていたからである。

GUPTA Rajk.:Resource Conserving Technologies:
A New Paradigm Transforming Agriculture.

農業の変革を成功させるパラダイムシフト

近年拡大しつつあるグローバリゼーションと都市集中化は農業へのパラダイムを変えてきた。それはプラウによる土壌の全面反転に基本を置くパラダイムから保全する農業へのシフトで、その最もいい例は土壌の攪乱や圧密を最少にする不耕起 (No-till/Zero-till)、新しい作付体系や管理技術に基づく資源保全技術 (Resource Conserving Technologies: RTCs) である。Zero-till は耕起作業の用語ではあるが、完全な土壌と作物の管理システムであり、地域の条件と農家の資源投入の仕方によって変化するもので、さまざまな状況に応じてどう活用するか、何をを使うかによって、きわめて多様なものになりうるシステムパッケージである。

これまでにできあがった RCT パッケージは、安価 (US\$500) な播種・施肥ドリルの開発を基礎としており、最小限の土壌攪乱で作物を栽培できる。新しくできた多作物ドリル播種機では、前作物の土壌水分が残っている時に播種して、播種前の灌漑水、ディーゼル燃料、労力を節減できる。

RTCの農民間のやりとりはIGPにおける技術の拡散を早める機能を果たしている。04-05年 rabi 期には200万 ha以上も不耕起 (no-till ~ reduced till) で作付けされた。これ

は灌漑地域ばかりでなく、若干の技術修正を加えれば平地・山地の天水地帯にも利用できるものであり、'adaptable', 'divisible', 'reliable' で予期したよりもずっと早く広がっている。

研究の革新と農民参加型研究

生産現場への支援を強化するために、農業研究に対する社会的な取組みが新しい形をとるようになった。研究者は関連部門と連携して理論的な支援を行い、小規模企業は地方色のあるドリルの原型を考案し、デザインを改良し、農家の需要を満たすだけの数を生産する。サービス業者は隣人農家がレンタルで使えるように技術支援し、農家は研究者のために試験圃場、労力、資材を提供する。農家からのフィードバックにより、研究者やドリル製造業者は耕耘、栽培、ドリルのデザインを更に改良する。こうして現在は、稲わら、麦稈が残っていても大抵の作物を直播できる“次世代”のドリルができています。ドナーは CIMMYT を convenor とし、国際研究センターや先進的な研究機関を結集する RWC を支援しており、その RWC は数十万の農家による RCT の開発・実施の中軸的役割を果たし、すべての関係機関が何らかの形でインド農業の新しいパラダイムシフトのために貢献している。廉価なドリルは世界的に注目されており、特に南アジア、東南アジア、中央アジアで需要がある。

ドリル播種機を用いた No-till パッケージが普及している IGP では、土地なし農民も含めてすべての農民グループがその恩恵を受けており、実証試験を重ねるごとに、RCT は研究・普及機関、先進農家、農機製作所、顧客サービス部門、資材業者などと変革のために共進化を続けている。ドリル播種機は人気

高く、IGP 全体で 100 セット近くに達する。

小さな変革で生産性や暮らしへの驚異的なインパクト

不耕起栽培は耕作規模と関係なく、すべての農民に利益がある。零細農民には適期の植付けによって生産費の節減、生産性の向上、灌漑水や焼却する作物残渣を減らせる、稲跡の休閑を減らせるなどの利点があり、小麦への灌漑水の 20～30% 節約を除いても、北西部で ha 当り 70～80 ドル、東部で 70～140 ドルの増益になる。RCTs の実施面積を 200 万 ha と見積もれば、農民全体としての 2004 - 05 年 rabi (乾季) 期の総利益は 1 億 4000 万ドルを越える。

IGP 全域での試験から、200 万 ha での RCTs の採用により、少なくとも 60 万トンの小麦の増産が期待されるほか、耕起や揚水のための燃料の節約で 8000 万ドルの外貨、20 億 m³ の水が節約される。

RCTs は稲跡休閑を減らす

IGP 東部のインド・ネパール・バングラデシュでは、稲跡の 500 万 ha 以上が土壌水分過多で冬季休閑となる (Subbrarao ら 2001)。こうした Diaram, Tal, Chaur あるいは Barind と呼ばれる土地でも、表土播種技術によってレンズ豆やひよこ豆などを作付けできる。さまざまな生態系をモザイク状にもつ東部 IGP で RCTs を適用することにより、農民が受ける利益は莫大である (Chandna ら 2004)。Kharif (雨季) および Rabi 期の適期作付は数万トンの穀物の増収、各地の貧農に一連の社会的向上への動機づけ、家畜飼養の推進ももたらす。農民参加による圃場試験は、東部 IGP の冬のトウモロコシ、ジャガイモ、ポロ期稲 (夏

稲)が高生産を上げることが示した。ジャガイモの後作に、少し地下水位を調整することができればボロ期稲を植えることができ、野菜と間作する冬トウモロコシの面積を増やせば、東部 IGP の農村社会の様相を変えられる。

RCTs は生産性増強の新たな手段となる

市場経済も国の政策も作物多様化の形や速さを推し進めるが、稲・小麦体系の多様化に関係するもう一つの要因は、RCTs が資源を持たない貧しい農民に提供する新しい 'platform' であろう。それは収入や必要労力の季節変動、モンスーンの爪痕というリスクなどの苦しい状況を緩和するであろう。畝立畦間灌漑 (FIRB) は稲の代わりに極早生のキマメ (ICPL88039) や QPM を導入したり、サトウキビと小麦、ひよこ豆、カラシナなど、あるいは冬小麦とジャガイモ、エンドウ、野菜などと、冬小麦とミントとの間作をしたりする新しい途を開いた。FIRB の技術が農民に浸透してきているのは、種子や水を 30~40% も節減できる、作物の倒伏を減らす、穀粒の稔実を高めて多収・良質にする、water logging の問題を起こさない、ためである。RCTs はレーザー利用の耕地均平ができれば最善の効果をあげる。レーザー利用は、立毛、収量を向上させるほかに、灌漑面積を 2%、作付面積を 3~4% 増加させる。すでに 10 人ほどの農民は輸入のレーザーシステムのサービスを受けているが、原子力研究部の研究者が開発中の国産機が出回るにはまだ時間がかかっている。

様々な問題の解決

生物的・物理的なストレスに対する耐性の改良とそれに関連する RCTs とが連携する

と、貧しい農民たちが価値の高い作物や畜産物を生産して収入を増やすことに役立つ (その市場が得られれば)。RCTs は家畜-作物-土地-水の管理に関する研究を結集して、生産の限界環境を農業生態学的に補強したり多様化したりするのに役立つ。また、生産性を増強するための従来とは違った手法を創成して貧しい農民の収入を上げ、国の重点研究領域やミレニアム開発目標に貢献し、さらにより安価な食糧へのアクセスを通じて、また新たな雇用の機会を提供することで、貧困から脱却するための基盤を提供する。若者の離村が減ると、子供、高齢者、婦人にとって社会保障が改善される。

RCTs の環境問題へのインパクト

精密農業という考え方は急速に広まりつつある。施肥の時期と量、作物の養分要求は最近まで概括的な勧告に基づいていた。それぞれの土地特有な作物の養分要求に基づく施肥技術は、農家の収入を増やし、各種の汚染を減らす。農民参加による圃場試験で、窒素肥料 (必要量の 80% の N) 団子を 1 回土中にうめる方法は施肥と同じ効果がある。作物残渣が地表にあり作付が遅れているときには、この情報は特に興味深い。簡単な葉色チャートを使うと、窒素肥料の効率は 13~20% 高まり、資材投入を節減できる (Gupta ら 2003)。こうした技術は他の稲作地域にも敷衍できる。

残渣処理で焼却をやめる

稲・小麦体系では 10 トンものわらが出るが、適当な播種機を持たない農民はそれを焼却して、貴重な栄養、家畜の飼料になるものを無駄にしている。1 トンのわらを燃やすと 3 kg の微粒物質 (陽光量を減少させたりす

る), 60 kgのCO, 1460 kgのCO₂, 199 kgの灰, 2 kgのSO₂が出る (Guptaら 2004)。残渣量があまり多くなければ, ドリル播種機の利用で焼却しないで播種が可能である。表土に残されたわらは優れた除草剤の働きをし, 地温を和らげ, 蒸散による水の損失を防ぐ。作物残渣をマルチにするか, 家畜の餌にするかは議論があるが, 土壌被覆にも, 青刈飼料にも, 穀物生産にも使える小麦品種VL-616 が開発されて, この問題は解決できる (別報参照)。この品種は搾乳用の家畜の餌に乏しい初冬に5 t/haの青草を生産し, 再生した小麦からは同じ量の穀粒が穫れる。青刈しない時は2~3%の増収で, 青刈による穀粒収量の損失は小さく, 飼料不足をかこつ畜産業にとって得るところは大きい。

Brown manuring' と Double No-till' 農業

緑肥の良さは理解していても, 農民は作物が育つ真夏にダムに水がないため, その恩恵を受けられない。Dhaincha (セスパニア) のような緑肥作物を稲と一緒に栽培し, 30~35日後に2,4-Dで枯らす栽培技術 brown manuring' は, 多くの農民に歓迎されている。それはモンスーン期によけいな灌漑水を使わずに表土を被覆でき, 20~30 kg/haの窒素が節約され, 雑草を半減して代かき-移植の稲作から直播稲作への移行を容易にするためである。この方法は最近数百の農家とともに開発されたもので, 環境保全的な農業にとってきわめて重要な表土被覆の問題を解決する鍵になる。IGP 以外の他の地域にも雨季に利用できる技術である。

終わりに 緑の革命との大きな違い

緑の革命が限界環境地域では資源を持たな

い農民に恩恵がなかったのと違って, 'No-Till Revolution' はすべての農民, 市民社会に有益である。もっぱら私的な資金で運営され, より多くの食料を少ないコストで生産し, 土地と水資源を保存しつつ, 環境の質を改良しようという静かな, 多くの関係者による運動である。緑の革命が食料の安全保障と農業の保全に貢献したのに対して, RCTs は食料安全保障, 貧困軽減, 健康, 農村開発, 生産性向上, 環境改善, 自然資源保存の戦略のための1つの構成要素である。

参考文献

- 1) Abrol, I.P., K.F. Bronson, J. M. Duxbury, and R. K. Gupta. 2000. Analysis of Long-term soil fertility experiments with in rice-wheat rotations cropping systems in S. Asia. RWC Paper Series 6. Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Delhi, India.
- 2) Chandna, P., D.P. Hodson, U.P. Singh, A.N. Singh, A.K. Gosain, R.N. Sahoo, and R.K. Gupta. 2004. Increasing the Productivity of Underutilized Lands by Targeting Resource Conserving Technologies-A GIS/Remote Sensing Approach: A Case Study of Ballia District, Uttar Pradesh, in the Eastern Gangetic Plains. Mexico D.F.: CIMMYT.
- 3) Gupta, R.K., R. K. Naresh, P. R. Hobbs, Jheng Jiaguo and J. K. Ladha. 2003. Sustainability of Post-Green Revolution Agriculture: The Rice-Wheat Cropping Systems of the Indo-Gangetic Plains and China. In J.K. Ladha, J. Hill, R.K. Gupta, J. Duxbury and R.J. Buresh. (eds) Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems: issues and impact. ASA, Spec. Publ. 65. Chapter 1:1-25. ASA Madison, WI. USA
- 4) Gupta, P.K., Shivraj Sahai, Nahar Singh, C. K. Dixit, D.P. Singh, C. Sharma, M.K. Tiwari, Raj K. Gupta and S. C. Garg. 2004. Residue Burning in Rice-Wheat Cropping System: Causes and Implications, Current Sci. Vol. 87, No. 12, 25 December 2004, pp 1713-1717.

- 5) Hobbs, P.R., and M.L. Morris. 1996. Meeting South Asia's future food requirements from rice-wheat cropping systems: Priority issues facing researchers in the post-Green Revolution era. NRG Paper 96-01. CIMMYT, Mexico, D.F.
- 6) Ladha, J.K., K.S. Fischer, M. Hossain, P.R. Hobbs, and B. Hardy (Ed). 2000. Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems of the Indo-Gangetic Plains: A synthesis of NARS-IRRI partnership research. IRRI Disc. Pap. Ser. No. 40. IRRI, Los Banos, Philippines.
- 7) Ortiz-Monasterio, J.I., S.S. Dhillon, and R.A. Fischer. 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. *Field Crops Res.* 37: 169-184.
- 8) Regional Technical Coordination Committee, 2005. Annual Report of 13th RTCC, RWC, Dhaka, Bangladesh, 163p.
- 9) Subbarao, G.V., J.D.V.K. Kumar Rao, C. Johansen, U.K. Deb, I. Ahmed, M. V. Krishana Rao, L. Venkataratanam, K. R. Hebbler, M. V. S. R. Sai, and D. Harris. 2001. Spatial distribution and quantification of rice-fallows in South Asia - potential for legumes. ICRISAT, Patancheru, India.
- [RWC ファシリテーター, CIMMYT, New Delhi]



不耕起技術のインパクト

R. K. MALIK¹⁾・Mushtaq GILL²⁾・Ganesh SAH³⁾

はじめに

稲・小麦体系 (RWCS) は、インド、パキスタン、バングラデシュおよびネパールを含むインド・ガンジス流域平野 (IGP) のうちの 1,350 万 ha 以上に普及している。この体系は、当該地域の農村や都市に住む多くの貧困層の食糧・生活の保障に大きく貢献している。この 30 年間における RWCS による緑の革命は、インドにおけるサクセス・ストーリーの一つといえる。

RWCS による生産性向上は、技術革新によってもたらされたものである。しかし、最近、研究者や政策担当者が本農法における収量水準の低迷について懸念をもっている。高収量 (緑の革命) 品種は、短程で効率的な光合成能力をもち肥料効率に優れている。従って、作物が過剰な養分を吸収して土壤肥沃度を低下させるおそれがあるし、さらに、RWCS によって水位が低下するという重大な懸念も抱えているので水管理の問題も大きな課題である。加えて、害虫の農薬耐性も懸念される課題である。これらの諸課題への対策は、栽培コストを高めることになる。RWCS における土地・労働・資本、全ての生産要素の生産性低下に関する懸念は、ないがしるにできないことである (Harrington ら, 1992)。

2020 年における小麦の世界の需要予測が 8 億 4 千万トン (Rosegrant ら, 1995) から 10 億 5 千万トン (Kronstad, 1998) と幅はあるが、いずれにしても、この需要予測に対処するためには、現行の生産レベル 5 億 6 千万トンを年率で 1.6~2.6% 伸ばしていかなければならない。すなわち、小麦の現在の世界平均反収 2.5t/ha を 3.8t/ha に上昇させることが必要なのである (CIMMYT, 1996)。

農地の生産力を維持しつつ、かつ環境破壊につながらない持続可能な土地管理法の確立も緊急な課題といえる (FAO, 1993)。

このような状況を踏まえ RWCS の生産性を持続していくための唯一の答は、多様化にあると主張する科学者も多い (Johl, 2002)。

多 様 化

天然資源に対する負荷が少ない作物や作付体系の導入、あるいは天然資源を保全するための技術について我々は関心をもたなければならぬことはいうまでもない。この視点から政策立案者が、RWCS の懸念部分を取り除くことおよび本作付体系の多様化について関心を高めているが、本農法の平均的収益性は他の体系のそれよりも高い (Singh および Sidhu, 2004) という点にも留意しなければならない。多様化の信奉者は、農家とくに小規模農家が他体系の収益面のリスクに耐えられないということに注意を払う必要がある。

R. K. MALIK, Mushtaq GILL and Ganesh SAH: Impact of Zero-Till in the Indo-Gangetic Plains

多様化に関するこれまでのいろいろな試みのなかで印象的なものはない(Rangi, 2004)。RWSCの多様化は必要かもしれないが、作付多様化のこれまでの試みから得られた相対的メリットでは農家は満足しない。研究者たちは、いま何をなし、何をなさざるべきかを知るべきである。農家をひきつけることのできる研究成果がよくて、そうでないものは不可なのである。

全ての私企業は、総収入・費用比、すなわち収益を上げるため合理的に行動するが、農家もその例外ではない。しかし、農家にとっての合理的な行動は、取り巻く制度的文脈に影響される(Subroto, 1984)。どのような行動が合理的か、非合理的かについて論じたレポートがある(Malik ら., 2002)。

RWCSの多様化で他の作物を組み入れるということは成功していないが、資源保全型技術(RCTs)については導入の可能性が高い。今後は、大幅な多様化ということではなく生態系に適應する RCTs について考慮してゆくことが適切なのではなからうか。

不起起 (Zero-Tillage) などの技術は、多様化計画から生まれてきたものであるが、この技術はリスクの回避と天然資源の保全にとって大いに役立つものである。

不耕起栽培

不耕起栽培は、天然資源の維持管理に役立つ農法である。不耕起栽培は、広大な面積で適用可能なので、それに応じた量の天然資源の保全ができることになる(図1)。

インドにおいてパンジャブ地方を除く RWCS 導入地域では、小麦播種期の遅れが収量に対する最も大きな障害となるが、不耕起栽培はこの問題の解決に役立つ (Fujisaka ら, 1994)。小麦の生産性を上げるため適期に種を播くことが特に重要とされている南アジアでは、11月末以前に小麦を播種することにより最適な収量が得られることがわかっている。そして、この時期よりも1日遅れる毎に収量が1から1.5%減るとされている(Randhawa ら, 1981, Ortiz-Monasterio ら, 1994)。なお、パキスタンのパンジャブ地方において小麦播種が遅れる原因は長い生育期間、強い感光性をもつバスマテ稲の収穫期が遅いためである。

不耕起栽培のような資源保全型技術は、その活用によって農家の利益を高め、IGP 全域の多くの農家に受け入れられることになる。ミネラルや水といった天然資源は公共財であ

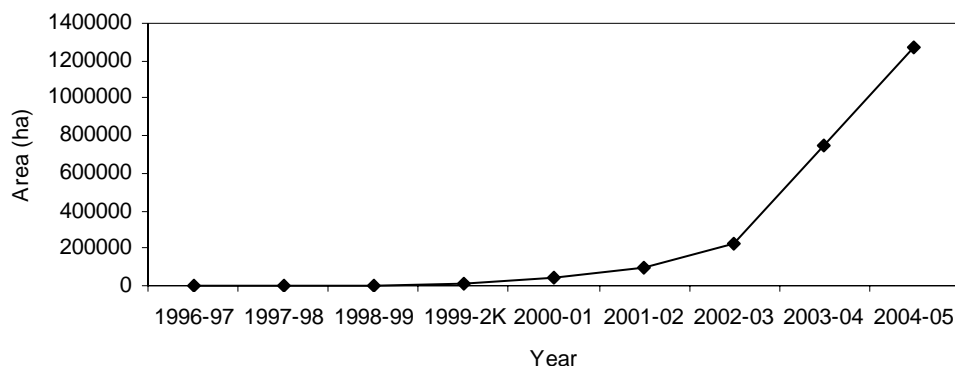


図1 インドの小麦作地帯における小麦不耕起栽培面積の推移

る。不耕起技術は、広範囲に適用可能なだけに極めて多くの農家による水などの天然資源消費を抑えることができる。従って不耕起技術は、農業の成長にとって決定的な意味を持っているといえる。

RCTs の開発に当たっては、分野横断的取組み、多組織による共同、さらに農民の参加が必要である。開発途上国の極めて多くの農家にとって、少ない投入で高い労働・土地生産性が得られる技術が求められている(Lipton, 2004)。

1983 年以降、RWCS に係わる技術革新のプロセスに関するパラダイムシフトが起こった。試験場 (experimental farm) における試験研究から共同、公開を原則とする参加型アプローチへの変革である。不耕起技術の中核となった、CIMMYT によりニュージーランドから導入された農業機械、逆 T 字オープナー (inverted-T openers) に関するインド (Malik ら, 2000, 2002) 及びパキスタン (Ismail ら, 2000) での研究開発 (Hobbs, 2002) がこの新しい参加型アプローチで進められた。さらに、南アジア 3 か国 (インド、パキスタン、ネパール) においても農家圃場における実証・展示、研究と普及の緊密な連携および各国農

業研究システム (NARS) と国際農業研究システム (IARS) の協力などの新たなアプローチが広く実践された。

生産性

1980 年代、緑の革命は、収量水準の上昇がとまり、急速に減速した (Lipton, 1999; IFAD, 2001)。農家は生産活動のために労働、資本及び土地を投入する。実質利益を計算するには、労賃、資本利子及び地代が含まれる。一般的には、天然資源に係わる直接的経費が上昇すれば、資源の効率的利用が促進されることになるが、小農向けとしては省資源型技術の方がより合理的である。

貧農に役立つ技術は、労働時間当りと同時に ha 当りのアウトプットを増やすものでなければならない (Lipton, 2004)。アウトプットの増加しない技術は農家にとって魅力がない。早播きが収量を増加させる主要な要因である (Aslam ら, 1993) パキスタンの場合、不耕起栽培によって小麦の播種適期である 11 月 20 日に最も近い時期に播種ができるので、この技術は広く受け入れられたのである。Haryana における 3 年間の調査 (図 2) およ

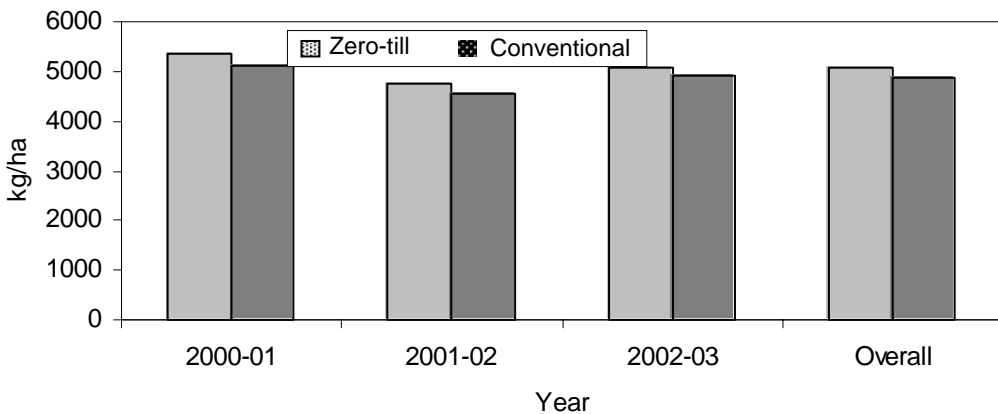


図 2 不耕起及び在来耕起法における小麦収量の比較

び8年間の調査(図5)では、不耕起による小麦栽培の収量が在来農法のそれよりも高かった。不耕起によって早期あるいは適期播種ができるほか、雑草の発生が抑えられ、株立ちも良好で、さらにドリル播による均一な栽植による肥料効率向上が収量を高めている。

収益性

既成概念を変えるには、そこには認識を変えるだけの確証がなければならない。

農家における3年間の記録から、不耕起栽培は収量が増加するばかりではなく(図2)栽培費用を節約し(図3)、在来法に比べ収益性が高くなっている(図4)。

収益性が、全ての経営形態の農家が当該技術を受け入れるキーポイントとなる。パキスタンにおける3年間にわたる実証試験のデータによると、不耕起栽培は、在来耕起農法に比較して灌漑水に要する経費を22%、種子代を31%、燃料を78%、栽培に要する費用を88%、除草剤費用を50%節減でき、かつ収量、農家収益ともに多くなっている(Mannら、2003)。

不耕起栽培によって収益が確実に上がる(在来法に比較してha当り58米ドル高い、図4)ので、この技術が広く普及したのである(図1)。

豪州の国際経済学センター(Centre for International Economics, Australia)が2002年に不耕起栽培の成功がもたらすインパクト評価を行い、報告書を作成しているが、このなかで、2001年からの今後30年間において約18億豪州ドル(正味現在価格換算)の利益をインド経済にもたらすとしている(VincentおよびQuirke、2002)。このインド経済に対する貢献価値は、92万ha(2006~2030)を基礎に計算したものである。不耕起

栽培は、すでに100万ha近くに達しているし、近い将来さらに拡大するものと考えられるのでインド経済への貢献は上記の評価額よりさらに大きいものになるであろう。

この技術は規模に対して中立であるし、特に播種時の労働力不足に悩む小規模農家にとっては大きな利益をもたらすものである。

一人当り0.14ha以下の農地しかもたないインドの農家においては、技術進歩による収益が当該農村社会の富を導きだす。農家の収益は技術によって生み出される価値の指標である。さらにこの収益が貧農に、子供の教育といった、有益な投資を促すことにもなる。商家とは異なり、この収益は個別の農家のものとなる。

当該技術の適用によってもたらされる収益が農家に対し新しい不耕起栽培用ドリル播種機の購入意欲をおこさせるし(約25,000台、1997-98から2004-05)、この機械を賃借して不耕起栽培を導入しようとする農家の意欲も高める。

投入経費を上回るアウトプットが得られれば社会全体の利益になり、各個別農家も利益が稼げる(図4)。

このような個別農家の自己利益の探求が、公共財である水の節約、土壌改良、RWCSでの小麦作の主要雑草である*Phalaris minor*の密度が減少することに伴う除草剤の節約と雑草の除草剤耐性付与についての可能性をも低下させるなどの、合理性を生み出したのである。

RWCSは、他の体系に比べて天然資源を多く消費することは確かである。近い将来に天然資源が劣化するということでは持続可能な開発とはいえない。収量水準の上昇も止まってしまうことになる。しかし、不耕起栽培によっ

て水が節約でき、生産性も高まり、かつ土壌の生物的特性を改善することにより天然資源の消費パターンを持続可能なものにできる (Singh, 2003)。すなわち、天然資源がより効率的に、そして経済的に使用されることになる。近い将来、不耕起栽培技術がさらに広く普及すれば社会財である資源が大規模、多量に節約できるのである。

持続性

低コストで高い収量をあげることによって得られる利益とは別に、省資源型技術の広範な応用によって、幾つかの重要な環境負荷を低減することができる (Grace ら, 2001)。なかでも不耕起により耕耘のための燃料が不要になるので温室効果ガスの発生を防ぐというメリットは大きい。不耕起によって、ha当り平均で 60 リットルのディーゼル燃料が節約できる。もしRWCSの普及面積 100 万haに不耕起栽培が行われるとすればディーゼル燃料の

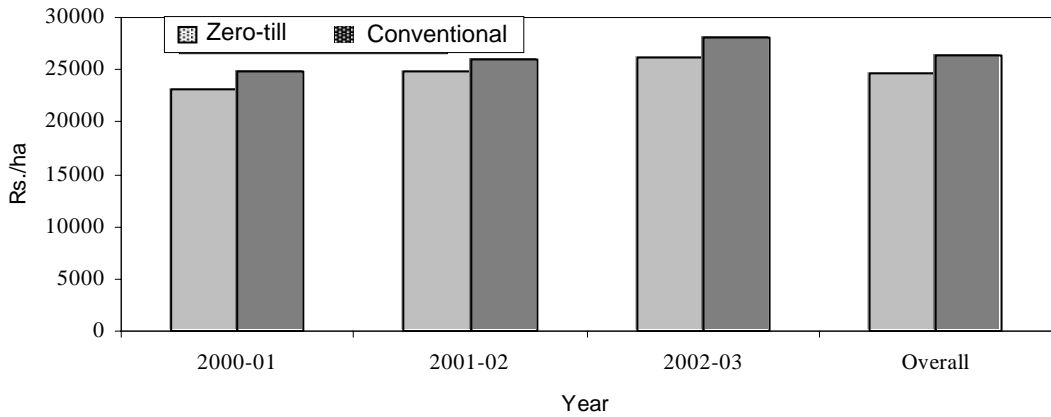


図3 不耕起と在来耕起による栽培経費の比較

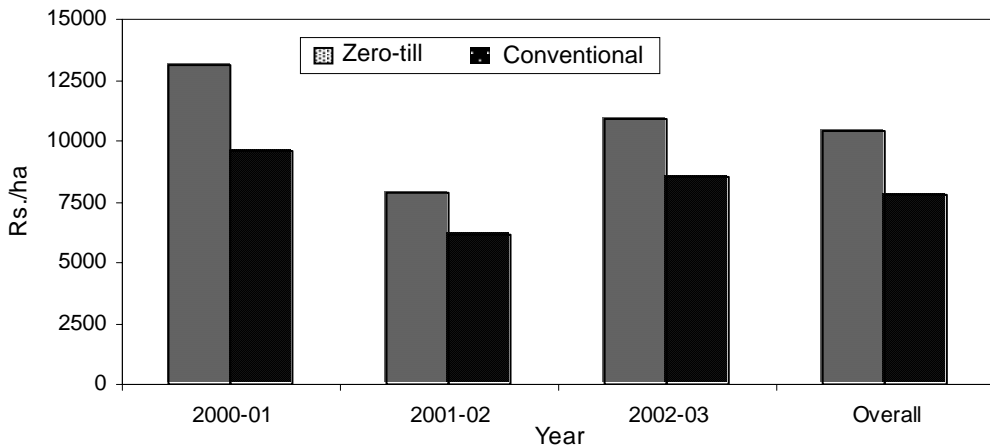


図4 不耕起と在来耕起栽培による収益比較

節約量は6千万リットルにもなる。このことは、ディーゼル燃料を1リットル燃焼させると2.6kgの二酸化炭素(CO₂)を排出するとして、二酸化炭素排出量を毎年15万6千トン以上削減できるということである。CO₂以外のメタンや亜酸化窒素などの温室効果ガスも地球温暖化をもたらすが、肥料効率を上げることによって亜酸化窒素の排出も削減することができる。不耕起によって土壌有機質中の炭素の酸化が抑えられ、炭素の固定にもつながる。

収穫後残渣を適切に管理(例えば焼却しない)すれば大気汚染を軽減させることになり、また、地域住民の二酸化炭素に由来する健康障害を軽減させることになる。現在実施中の研究の中には稲わらによる土壌マルチや、マルチした畑に小麦を直接播種する方法に焦点をあてたものがある。

飲料水や工業用水の需要増加が見込まれる中、水の問題が今後とも農業に対する主要な制限要因となる。IGPでの水利用効率は低いので、RWCSにおいてレーザー利用による圃場均平化技術、灌漑水路のライニング、RCTsの適用などが実施されれば水利用効率を向上させることができる。不耕起で小麦を作付することは、前作田の残存湿度を利用することができ、その後の灌漑量を減らすことができる。これで節減できる水の量は10cm-ha、ha当りでみれば約100万リットルにもなる。この量は小麦作の全灌漑水量の35%以上にもあたる。不耕起栽培における水の生産性は、伝統的耕起栽培の場合の1.3kg/m³に対して1.5kg/m³と高いことがわかっている(Mannら、2004a)。

不耕起栽培すると雑草の繁茂が抑えられ除草剤の利用を抑えることができるし、害虫も少なくなるので農薬の散布も少なくてすむ。

不耕起は、環境にやさしい技術といえることができる。除草剤を使用することは土壌生物学的にも障害となる。

畑に刈り株を残すことは有用昆虫の生息環境を良好にするので、後の作稲におけるメイチュウ発生を抑えることができる(Salimら、2001)。

不耕起栽培の面積を増やすことと、それを持続させることは別問題かもしれない。農家や政府高官から、どれだけ長く不耕起を繰り返すことが出来るのかと質問されることがよくある。これらの懸念に答えるには、土壌の理化学性がどう変化するか(Kumar、2004)、土壌の微生物相がどのようなになるか(Singh、2003)、あるいは害虫がどのような影響を受けているか(Jaipalら、2005; Singhら、2005b)を知ることが重要である。これまでの研究で不耕起によって土壌健全性が増すこと、農家が長期間にわたって不耕起をくり返しても問題はないことがわかっている。ただし、長期間にわたる不耕起栽培の影響についての不確実性を払拭するためには、さらに農家圃場において大規模プロットの展示が必要である。

CCS Haryana 農科大学の研究者たちが、ACIAR プロジェクト(現在はインド農業研究会議のNATP プロジェクト)で長期的実験を重ねて理論的解析を進めてきた。インド以外の国における試験においても不都合と思われる結果はでていない。これまで実施した試験によると8年経過した不耕起圃場においても小麦収量は在来耕起法のそれより高いという結果がでている。

不耕起栽培は、これから新たにでてくる問題は別として、懸念された問題は払拭できているのではなからうか。

不耕起栽培の持続可能性に関する Yadav ら (2005) のデータを図 5 に示した。これによると不耕起への転換が RWCS の生産性を長期的に持続できるという結果になっている。

ただ、北西部で 10 月中旬、東部で 11 月播種を可能とする、やや気温の高い地帯に適應する品種の改良を進めることは有効である。穀物収量は作物の生育期間との関数である (Malik ら, 2002; Singh ら, 2005a)。栄養成長および生殖成長にとって、また収量を高めるためには作物の生育期間を長くすることが必要である。

今後における研究開発

最近製造され IGP で利用されるようになった前述の不耕起栽培用ドリル播種機は逆 T 字型オープナー (inverted-T openers) が基盤となっている。この鋤・播種機複合のシステムは逆 T 字型になっている狭いスロットに種子がセットされるようになっている。

しかし、逆 T 字型はコンバイン収穫の稲作

田ではうまく使えない。インド北西部やパキスタンの農家ではハーベスタによる稲収穫が一般的になってきているので、現在のドリル播種機はスムーズに使えない。従って農家には収穫後残渣を焼却するという選択肢しかない。しかし、焼却は前述の通り大気や土壌有機物に対し悪い影響をあたえることになるので RWCS の持続性にとって障害となる。

これに対応するため、圃場に残されるルーズな稲わらを適切に処理できる第二世代のドリル播種機のプロトタイプが開発されている。この機械は、前方で稲わらをつまみ上げ、溝に種をまき、しかる後に敷わら (マルチ) することが出来るように工夫されている。この機械は Happy seeder との名称があたえられ、広い地域に導入されつつあり、また更なる調整も進んでいる。また、畜力および二輪耕耘機によるドリル播種機の開発も進められている。

RWCS において水田の代掻きや 3 - 4 か月にわたる長期のたん水は土壌物理性を損なう

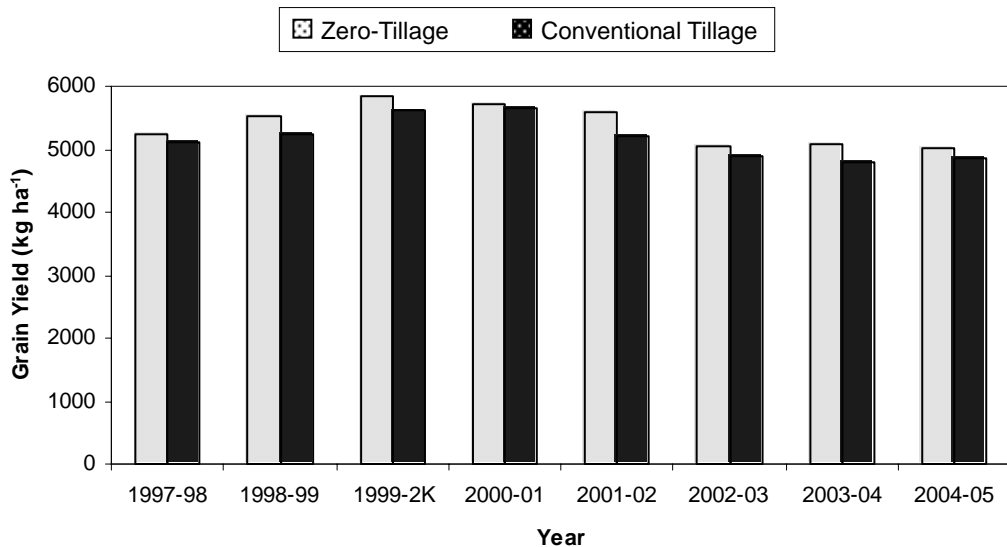


図 5 Haryana における農家圃場における 8 年間継続不耕起栽培 6 箇所の持続可能性

ことになる。このことは後作の小麦作にも悪影響を与える。そこで、例えば稲と小麦作に対するダブル不耕起のアイデアが実利的であるように思えるが、このためのパッケージ技術の開発には更なる努力が必要であろう。

この新技術の利害を長期的に評価するためには土壌・生物的要因のモニタリングや社会経済的研究も必要である。新たな栽培法が炭素隔離、水の節約、作物生産性などの改善や投入効率の向上に役立つものでなければならない。さらに、雑草、病害、害虫、穀粒品質（バスマテ稲品種の）などに対する、より長期的視点でのとりくみが必要である。これらの対応技術から誰が利益を得るのか、そして農家の生活水準向上、貧困撲滅に貢献できるかについて注視すべきである。

小麦品種の草型は直立型より穂先が広がったものの方が不耕起栽培には適しているとのデータがある。稲については無代掻・直播に適応し、雑草に対する競争力が強い、低水要求量イネ品種（aerobic rice）を育成することも重要な課題である。

今後の見通し

栽培コストが節約できる低投入技術、早播きによる収量性の改善あるいは投入資材の効

率を高める技術などは極めて有益であることはいうまでもない。1 ha を不耕起栽培することによって2,600 ルピーの利得があるし、ディーゼル燃料を50 リットル節約できる。過去4年間で不耕起栽培技術は60億8千8百万ルピー（初年度2億6千万、2年度5億7千2百万、3年度19億5千4百万、四年度33億2百万ルピー）の富を生み出した。ディーゼル燃料の節約は1億1千7百万リットルにも及んでいる（表1）。1200万 ha のRWCS 総面積の半分に不耕起栽培を広げてゆければその利益は劇的に拡大してゆくことになる。

参考文献

- 1) Aslam, M., A. Majid, N. I. Hashmi and P. R. Hobbs, 1993. Improving wheat yield in the rice-wheat cropping system of the Punjab through zero tillage. *Pakistan J. agric. Res.* **14**: 8-11.
- 2) CIMMYT, 1996. CIMMYT 1995/96 World Wheat Facts and Trends. Mexico, D. F. CIMMYT.
- 3) FAO, 1993. *World Soil Resources*. Report No. 73, Food and Agriculture Organization, Rome.
- 4) Fujisaka, S., L. W. Harrington and P. R. Hobbs 1994., Rice-wheat in South Asia : System and long-term priorities established through diagnostic research. *Agric. Systems* **46**: 169-187.
- 5) Grace, P. R., M. C. Jain and L. W. Harrington, 2001. Global Environmental Impacts from Conservation Agriculture. Keynote paper presented at

表1 インドにおける NATP プロジェクトによる不耕起栽培実施面積、燃料節約量、純益額

年	面積 (ha)	純益(百万 Rs.) @ Rs.2600/ha	省燃料代 (百万リットル) @ 50 /ha
2001-02	100,000	260	5.0
2002-03	220,000	572	11.0
2003-04	750,000	1,954	37.5
2004-05	1,270,000	3,302	63.5
Total	2,340,000	6,088	117.0

- the International Workshop on "Conservation Agriculture for Food Security and Environment Protection in Rice-Wheat Cropping Systems", Lahore, Pakistan, 6-9 February, 2001. (in press).
- 6) Harrington, L.W., M. Morris, P. R. Hobbs, V. P. Singh, H. C. Sharma, R. P. Singh, M. K. Chaudhary and S. D. Dhiman, 1992. Wheat and rice in Karnal and Kurukshetra districts, Haryana, India. Exploratory survey report. CCS Haryana Agricultural University, Indian Council of Agricultural Research, Centro International de Mejoramiento de Maiz y Trigo, and International Rice Research Institute, pp. 40-42.
 - 7) Hobbs, Peter R., 2002. Resource conserving technologies A second revolution in south Asia. International Workshop Proceedings on Herbicide Resistance Management and Zero-Tillage in Rice-Wheat Cropping System March 4-6 at CCS HAU, Hisar . pp 67-76.
 - 8) International Fund for Agricultural Development (IFAD), 2001. Rural Poverty Report 2001 : The Challenge of Ending Rural Poverty . Oxford University Press, N.Y.
 - 9) Ismail, Inu G., S. Kartaatmadia, D. Pasaribu and S. Partoharjono, 2000. Crop diversification in lowland rice : Indonesian experience. In : Proc. International Workshop on Developing an Action Programme for Farm-level Impact in Rice Wheat Systems of Indo-Gangetic Plains, 25-29 September 2000, New Delhi, India. Rice-Wheat Consortium Paper Series 14, New Delhi, India : Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains. pp: 60-79.
 - 10) Jaipal, Saroj, R. K. Malik, Ashok Yadav and Raj Gupta, 2005. IPM Issues in Zero-Tillage System in Rice-Wheat Cropping Sequence. Technical Bulletin 8. CCS Haryana Agricultural Univeristy, Hisar, India. pp. 32.
 - 11) Johl, S.S. 2002. *Agricultural Production Pattern Adjustment Programme in Punjab for Productivity and Growth*. Expert Committee Report, Government of Punjab.
 - 12) Kronstad, W. E, 1998. Agricultural development and wheat breeding in the 20th century. pp. 1-10. In : H. J. Braun, F. Altay, W. E. Kronstad, S. P. S. Beniwal, and A. McNab (eds.). *Wheat : Prospects for Global Improvement*. Proc. of the 5th Int. Wheat Conf., Ankara, Turkey. Developments in Plant Breeding, v. 6. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
 - 13) Kumar, Anil, 2004. Impact of zero-tillage in wheat on physical properties of soils, and growth and yield of wheat under rice-wheat cropping system. M. Sc. thesis, Department of Soil Science, CCSHAU, Hisar.
 - 14) Lipton, Michael, 2004. Crop science, poverty and the family farm in a globalising world. 4th International Crop Science Congress held in Brisbane, Australia from September 26 to October 1. pp. 49.
 - 15) Lipton, Michael, 1999. Reviving global poverty reduction : what role for genetically modified plants? Sir John Memorial Lecture (CGIAR, Washington, DC).
 - 16) Malik, R. K., Ashok Yadav, Samar Singh, R. S. Malik, R. S. Balyan, Saroj Jaipal, Peter R. Hobbs, Gurjeet Gill, Samunder Singh, R. K. Gupta and R. Bellinder, 2002. Herbicide Resistance Management and Evolution of Zero-Tillage A Success Story. Research Bulletin 2002, CCSHAU, Hisar. pp. 1-43.
 - 17) Malik, R. K., B. K. Singh and R. S. Mehla, 2000. Conservation tillage technologies and farmers participatory research and extension approaches in Haryana A case study. In Proc. International Workshop on Developing an Action Programme for farm-level impact in Rice Wheat systems of Indo-Gangetic Plains, 25-29 September 2000, New Delhi, India. Rice-Wheat Consortium Paper Series 14, New Delhi, India: Rice-Wheat Consortium for Indo-Gangetic Plains, pp: 31-45.
 - 18) Mann, R. A., M. Ashraf and Gul Hassan, 2004b. Wheat establishment with zero-tillage for integrated weed management. *Pakistan Weed Sci. Res.* 10:17-24.
 - 19) Mann, R. A., M. Ashraf and Mushtaq Gill, 2003. Sustainable wheat production system in Pakistan through conservation tillage technology. In :

- Proceedings of the environmentally sustainable agriculture for dry areas, September 15-19, 2002, Shijiazhuang, China.
- 20) Mann, R. A., W. A. Jehangir and I. Masih, 2004a. Improving crop and water productivity of rice-wheat system of Pakistan. Paper accepted for 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Sept. 25-Oct. 02, 2004.
- 21) Ortiz-Monasterio, J. I., S. S. Dhillon and R. A. Fischer, 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. *Field Crops Res.* **37**: 169-184
- 22) Randhawa, A. S., S. S. Dhillon and D. Singh, 1981. Productivity of wheat varieties, as influenced by the time of sowing. *J. Res, Punjab agric. Univ.* **18**: 227-233.
- 23) Ranghi, P. S. 2004. Crop diversification vis-à-vis development of market infrastructure in Punjab, Dilawari, V. K., Brar, L. S. and Jalota, S. K. (eds.). Proc. Workshop on Sustainable Agriculture Problems & Prospects, November 9-11, organized by Punjab Agricultural University, Ludhiana in collaboration with Technology Information, Forecasting & Assessment Council and Department of Science and Technology, New Delhi. pp 143-147.
- 24) Rosegrant, M. W., A. Agcaoili-Sombilla and N. Perez, 1995. Global Food Projections to 2020. Discussion paper 5. Washington, D.C., IFPRI.
- 25) Salim, M. S., A. Masud, and M. Ramzan, 2001. Integrated pest management of basmati rice in Pakistan. In : Specially Rices of the World : Breeding, Production and Marketing, Chaudhary, R. C. and Tran, D. V. (Tech. eds.) and Duffy, R. (ed.), FAO, Rome, Italy. pp. 149-162.
- 26) Singh, C. M., R. V. Pandey, and Janmejai Singh, 2005a. Accelerating of zero-tillage technology in Indo-Gangetic Plains of eastern Uttar Pradesh. Project Workshop Proc. on "Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-Wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains" held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 148-153.
- 27) Singh, Joginder and R. S. Sindhu, 2004. Trends and possibilities of crop diversification in high potential rice-wheat belt of Punjab, Dilawari, V. K., Brar, L. S. and Jalota, S. K. (eds). Proc. Workshop on Sustainable Agriculture Problems & Prospects, November 9-11, organized by Punjab Agricultural University, Ludhiana in collaboration with Technology Information, Forecasting & Assessment Council and Department of Science and Technology, New Delhi. pp. 132-142.
- 28) Singh, Ram, R. K. Malik, S. Singh and Ashok Yadav, 2005b. Effect of tillage practices on diseases of rice-wheat system. Project Workshop Proc. on "Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-Wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains" held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 69-73.
- 29) Singh, Surinder, 2003. Influence of tillage in wheat (*Triticum aestivum* L.) on microbial population and their activity. M. Sc. thesis, Department of Microbiology, CCS HAU, Hisar.
- 30) Subroto Roy, 1984. Pricing, Planning and Policies A study of economic distortions in India. Occasional Paper 69. The Institute of Economic Affairs, 2 Lord North Street, Westminster, London SW1P 3LB. pp. 70.
- 31) Vincent, David and Quirke, Derek, 2002. Controlling *Phalaris minor* in the Indian Rice-Wheat Belt. ACIAR Impact Assessment Series No. 18, Australia. pp. 35.
- 32) Yadav, Ashok, Malik, R. K., Jaipal, Saroj, Singh, Samar, Singh, Ram, Kali Ram and Singh, Sher, 2005. Sustainability of long-term zero-tillage in wheat and its impact on the productivity of rice. Project Workshop Proc. on "Accelerating the Adoption of Resource Conservation Technologies in Rice-Wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains" held on June 1-2, 2005 at Hisar (Haryana), India. pp. 18-22.

〔 1) インド CCS Haryana 農科大学,
2) パキスタン 圃場水管理研修所,
3) ネパール 地域農業試験場 〕

収穫後作物（圃場）残渣の利用管理

Bijay-SINGH¹⁾・Yadvinder-SINGH¹⁾・J.K. LANDHA²⁾

要 約

南アジアのガンジス流域平原地域における稲・小麦体系(Rice-Wheat Cropping System-RWCS)の中で生じる大量の収穫後作物（圃場）残渣（訳注：以下、「作物残渣」と表記する）は、土壤有機質の蓄積、養分の循環および土壤物理性の改良に役立つ資源である。作物残渣を畑で燃やすことは、大気汚染と養分の消失をもたらす。作物残渣の鋤込効果は、穀物収量に対しては一定でないものの、土壤の生物・化学・物理的性質の改善には顕著な効果をもたらす。稲わらのリサイクルは、麦稈よりも多くの利用上の課題を有する。一般的にいつて、稲わらの鋤込が後作小麦の収量に短期的にはマイナスの影響を与えるが、このネガティブな影響も、籾殻やマメ科緑肥鋤込みと適切に組み合わせることによって解消できる。収量に対する効果を高めるためには、作物残渣の鋤込みと化学肥料施用を適切に組み合わせることが必要である。作物残渣の鋤込み効果は、粘質土壤のほうが粗粒な土壤よりも高い。稲わら・麦稈鋤込みと化学肥料併用施用の効果が幾つかの試験で実証されている。作物残渣を鋤込む場合、初期の1, 2年は化学肥

料を標準量より多く施用する必要がある。コンバインで収穫した稲刈跡地に小麦を不耕起栽培するための農業機械が開発されている。

はじめに

1960年から1990年までの間に肥料反応の高いイネ・コムギ品種の育成や栽培管理法の改良が進んだことで稲・小麦体系における生産性・生産力は劇的に向上した。その結果、インド北西部においてそれまでに例を見ない量の作物残渣、特に稲わらを土壤-作物システムに組み入れることが可能になり、この状態は現在も続いている。従来、麦稈や稲わらは畑の外へ持ち出し、牛の餌、家畜の敷藁、住居の屋根葺材あるいは燃料として利用していた。しかし、収穫機械化の進展に伴い圃場に大量の作物残渣が残り、これが後作の耕起・播種作業の妨げとなるため農家は畑で燃やしたが。しかし、作物残渣の焼却は、大気汚染をもたらすばかりでなく貴重な大量の作物栄養資源を無駄にしてしまう。

作物残渣の分解や養分化などのプロセスをいかに効率化するかが、作物残渣利用プログラムにおける主要テーマである。例えば、後作の作付までに作物残渣が十分に分解する期間を設けることによって窒素過剰による悪影響や植物毒性の障害を軽減することができる。

ドリル播種が普及したことに伴い、稲の刈株

Bijay-SINGH, Yadvinder-SINGH and J.K. LANDHA
: Management of Crop Residues in Rice-
Wheat Cropping System in the Indo-Gangetic
Plains of South Asia

の上に小麦を播種する方法に対する関心が高まっている。農業機械の開発がすすみ、稲刈株上への播種と同時に稲の作物残渣を処理することが可能となりつつある。

作物残渣とその養分的潜在力

インドのガンジス流域平原地域各州における稲・小麦体系の中でリサイクル可能な稲及び小麦の作物残渣総量は、3,787 万トンと推定される。1 トンの稲わらには N が 6.1kg, P が 0.8kg, K が 11.4kg 程度含まれているし、麦稈 1 トンには、それぞれ 4.8kg, 0.7kg, 9.8kg 程度含有している。Bhardwaj および Gaur は、作物残渣の全量が圃場に残され、その 50% (1 作期で) が養分化すると仮定した場合に得られる養分量を推計している(1985)。それによると、直接リサイクルできるであろう NPK の総量は 634 万トン、肥料換算で 316 万トンとなる。NPK 三要素のほかに、稲あるいは

は麦 1 トンにつき亜鉛 (Zn), 鉄 (Fe), マンガン (Mn), 銅 (Cu), ボロン (B) 及びモリブデン (Mo) のそれぞれを 96, 777, 745, 42, 55 および 4 グラムを土壌から持ち去る。インド全体の作物残渣量が 1 億トンだととしてその中の微量元素量は 35,400 トンになる (Prasad, 1999)。

稲作に対する麦稈利用

窒素の標準(奨励)施肥量の 50%を鋤込み麦稈によって供給しようとする処理区の稲収量は、NPK 標準施肥量全量を化学肥料で施用した場合に比し、7 箇所中 6 箇所ですべて 4 ~ 18% 低かった(表 1)。稲作への麦稈鋤込みは後作小麦の収量にも影響を及ぼし、化学肥料単独施用区に比べ収量は僅かだが低い。Rattan (1996)らの 10 年間の作物残渣鋤込み試験の結果によると、稲、小麦収量は初年目が化学肥料単独施用区で最も高く、2, 3 年目に麦

表 1 7 箇所での稲・小麦輪作栽培における麦稈鋤込みによる稲および小麦の収量比較 (6 年間平均)

場 所	試験期間	稲収量 t/ ha		小麦収量 t/ ha	
		100% NPK†	50% NPK + 麦稈 鋤込み‡	100% NPK†	50% NPK + 麦稈鋤込み‡
Ludhiana	1983-84 to 1997-98	6.08	5.06	4.46	4.40
Pantnagar	1983-84 to 1997-98	4.56	3.84	3.75	3.45
Kanpur	1985-86 to 1997-98	4.47	3.66	4.53	4.38
Faizabad	1984-85 to 1997-98	4.21	3.78	3.45	3.31
Sabour	1984-85 to 1997-98	4.11	3.87	3.13	3.15
Kalyani	1986-87 to 1998-99	3.33	3.47	2.67	3.09
Jabalpur	1985-86 to 1997-98	4.78	4.37	2.55	2.48
Mean		4.24	4.01	3.51	3.47

出所: Yadav ら. 2000 から

† 100% NPK to rice or wheat consisted of 120 kg N, 26 kg P, and 33 kg K ha⁻¹

‡ 50% NPK through fertilizer plus 50% replacement of N by wheat crop residues to rice, 100% NPK through fertilizer to wheat.

稈鋤込み + 非有機肥料（化学肥料）施用区と化学肥料単独施用区が同等になり、3～4年目ようやく麦稈鋤込み + 無機質肥料（化学肥料）施用区の方が高くなっている。なお、西ベンガルの酸性培壌土においては、麦稈の鋤込みによって稲収量が顕著に上がるし、さらに、後作の小麦作にもよい鋤込み効果があることがわかっている（Sharma, Mittra, 1992）。重粘土壤での麦稈鋤込みも稲の収量が 0.5%～28%高いし、後作の小麦収量も 10～25%高い。

作物残渣を利用した総合的養分管理（Integrated Nutrient management）の狙いは、十分な養分サイクルを長期的に維持することと、短期的には作物へ十分な養分を供給することにある。Thakur および Singh（1987）は、麦稈を ha 当り 5 トン鋤込んだ場合、あるいは鋤込まない場合における稲に対する最適窒素施肥量は、それぞれ 140kg および 115kg であるとしている。Rajput（1995）は、ha 当り麦稈を 10 トン鋤込むと標準施肥量（ha 当り N60kg, P13.1kg, K25kg）の最大 50%が節減できるとしている。しかし、いくつかの長期にわたる研究において、稲の窒素要求量の一部を麦稈で置き換えることは不可能であるとの結果もある。Kanpur での実験では、窒素を

標準施肥量の 50%、そして残りの 50%を麦稈鋤込みによって供給し、さらにその後作小麦に奨励施肥量全てを施用することによって稲と小麦の収量が安定するという結果がでている（Katyál ら、1998）。しかし、他の 3 箇所においては、窒素肥料の一部を鋤込み麦稈で置き換えることが不可能であった。Yadvinder および Singh（2004b）は、麦稈鋤込みでは稲の収量が下がるが、セスバニア緑肥と組み合わせれば収量に悪い影響は出ないとしている（表 2）。

小麦作に対する稲わら利用

稲わらを後作物の苗立ち最短 10 日、最適で 20 日前に鋤込めば稲および小麦の生産性に悪い影響はでない（Yadvinder-Singh ら、2004a）（表 3）。7 年間の実験結果によると、小麦作付前の休閑期間中に 25%の稲わらが分解している。小麦作前の稲わら鋤込みが後作の稲作に残存的に効果をもたらす事例はない。¹⁵N をマーカーとする尿素を利用した圃場実験においては、（Bijay-Singh ら、2000）小麦播種の少なくとも 20 日前に稲わらを鋤込めば小麦及び後作の稲の収量に悪影響がでなかった（表 4）。

しかし、稲わら鋤込み + 窒素標準施肥量 25%

表 2 麦稈と緑肥併用鋤込み畑の稲・小麦収量と有機質 C 含量
（Ludhiana における長期試験結果、1988 から 1999）

処 理 区	稲平均収量 (t / ha)	小麦平均収量 (t / ha)	土壌有機 C 含量 (%) 1999 稲作跡地
尿素施肥	5.74b	4.41 bc	0.41d
緑肥	5.70b	4.41 bc	0.45d
麦稈	5.37b	4.32 c	0.53c
麦稈 + 緑肥	5.76a	4.44 b	0.59b

出所: Yadvinder-Singh ら、2004b

施肥区は、多くの窒素が消失するし、小麦収量も低かった（表3，4）。Singhら（1996）は、埴壌土において小麦播種の3週間前に稲わらを鋤込めば確実に小麦収量が上がるとしている。一方、砂壌土においては収量が上がっていない。しかし Verma および Bhagat（1992）による実験結果では、小麦播種30日前に稲わらを（乾物重で5 t/ha）鋤込んだ場合、小麦収量は、稲わら圃場外持出、あるいは圃場内焼却の場合に比べて最初の2年間は劣り、その後は差がなくなる。

稲わら鋤込み土壌における窒素肥料の施用

Misra らが行った研究（1996）では、稲あるいは麦の茎稈鋤込みにプラス窒素肥料20kg/ha 施用区が圃場内焼却や鋤込みのみによる処理区よりも小麦および稲の収量が高くなっている。Sharma および Mittra(1992)は、小麦播種前15～20日の稲わら鋤込みにより小麦収量が減り、田植前15～20日の麦稈鋤込みにより稲の収量が上がり、さらに稲わら、麦稈

表3 小麦作に対する稲わら鋤込みの効果と後作稲に対する残存効果（場所：Ludhiana）

小麦に対する処理	収量(t/ha) 小麦	稲	有機質 C	平均 K
稲わら圃場外持出	4.94	6.19	3.75	34.7
稲わら圃場内焼却	5.10	6.25	3.91	41.4
稲わら鋤込み-播種40日前	5.17	6.34	4.91	45.3
稲わら鋤込み-播種20日前 ^s	5.22	6.29	5.02	44.2
稲わら鋤込み-播種10日前	4.95	6.33	5.14	46.0
稲わら鋤込み-播種20日前 + N25%施用併用	4.97	6.29	5.05	45.6

出所：Yadvinder-Singhら，2004a

表4 小麦作及び後作稲に対する稲わらと窒素（120kg/ha）施用の効果

処 理 区	小麦収量 (t /ha)	稲収量	¹⁵ N recovery (%)	¹⁵ N losses (%)
稲わら圃場外持出し	5.06	4.90	40.9	31.7
稲わら焼却	5.11	5.13	40.8	31.3
稲わら鋤込み (40 DBS ^a)	4.89	4.87	36.1	36.6
稲わら鋤込み (20 DBS)	5.00	4.97	34.4	34.0
稲わら鋤込 (20 DBS) + 鋤込み時25% N 施用	4.79	5.02	30.4	45.2

出所：Bijay-Singhら，2001

^aDBS = 小麦播種前日数

各々の鋤込み時に窒素を 15kg/ha 施用すると稲、小麦ともに収量が上がることを観察している。Brar ら (2000) は、稲わら鋤込み時に ha 当り 40kg の窒素を施用し、かつ播種時と播種後 3 週間後に窒素標準施肥量(120kg/ha)の2分の1ずつを分肥すると、窒素標準量一括施用の場合よりも小麦収量は確実に高まり (ha 当り 4.94 t が 5.31 t に)、窒素吸収量も増える (ha あたり 101kg から 116kg へ) としている。Narang ら (1999) の研究において、最初の 2 年間は稲わらおよび麦稈鋤込み + 窒素 160kg/ha 施用区が、残渣を圃場外に持ち出した後に窒素を標準施肥量 (120kg/ha) 施用する場合よりも小麦ははっきりとした反応を示している。この試験の 3 年目になると茎稈鋤込み区の小麦の窒素反応は、鋤込み + 窒素肥料 120kg/ha までの施用区でも現れる。この研究結果から、当初の 1-2 年は、稲作または小麦作に麦稈あるいは稲わらを鋤込む際に窒素を標準施肥量より 20~30kg 多く施用することが必要であることが分かる。その後は、鋤込みに併せ窒素の標準施肥量を施用することが稲・小麦体系の生産力を高くすることにな

るであろう。

また 6 年間の試験によって、半湿潤あるいは温暖気候下においては作物残渣鋤込み時に ha 当り 20kg の窒素を施用することが稲、小麦作ともに必要であることが分かっている (Yadav, 1997)。

他方、Kanpur のような高温気象条件のところでは作物残渣鋤込み時に窒素を施用しても効果はなかった。しかしながら同じ場所でも、稲および小麦に対する窒素標準施肥量よりも 20kg 多く施用することによって、一般に普及している標準施肥量施用区の収量よりも総体的に 16% 高めることができた (Katyal ら、1998)。

Beri らが行った 5 年間の研究では、小麦の播種時に窒素を標準施肥量 120kg/ha の半分をドリルあるいは散布方式で施用し、残りを播種後最初に灌漑する際に追肥すると最も高い収量が得られ、稲わら鋤込み時に窒素の 50% あるいは全量を施肥する方法は適切ではなかった。(表 5)。播種以前の灌漑時に窒素の最初の半量を施用する方法も小麦播種時に 50% 施肥するものよりも劣っていた。

表 5 稲わら鋤込みと窒素施用併用した場合の小麦収量 (Ludhiana, 5 力年間平均)

		処理区			収量 (t /ha)
稲わら	利用	N 施用時期・方法 (kg/ ha)			
		播種前灌漑期鋤込み時 N 施用(kg /ha)	播種時 N 施用 (kg/ ha)	初灌漑時 N 施用 (kg/ ha)	
焼却		0	60- broadcast	60- top dressed	4.61
鋤込み		0	60- broadcast	60- top dressed	4.79
鋤込み		120-broadcast	0	0	3.63
鋤込み		60- broadcast	0		4.13
鋤込み		0	60- drilled	60- top dressed	4.91
鋤込み		60-broadcast at	0	60- top dressed	4.11

出所：Beri ら, 2002

注：小麦播種前 20 日稲わら鋤込

土壤特性に対する作物残渣鋤込み効果

稲・小麦体系において作物残渣を鋤込むと土壌中の有機Cと全N量を増やすことができる。11年間にわたる砂壤土での試験では、稲・小麦両方の作物残渣を鋤込んだ場合、残渣を圃場外に持出したものよりも土壌中の全リン酸、有効態リン酸・カリの含量が増加している。

土壌中の全リン酸、有効態リン酸および有効態硫黄の含有量が一番多いのは作物残渣を鋤込んだ区、次いで持出した区、そして圃場内焼却区の順である。比較的冷涼な気候条件下でのシルト質壤土における5年間の試験では、麦作に稲わらを鋤込んだ場合、土壌中のリン酸・マンガン・亜鉛含量が若干増え、カリ含量が確実に増加するという結果がでている (Verma 及び Bhagat, 1992)。長期的には、作物残渣の鋤込みによって土壌中の DTPA - 可溶性亜鉛・銅・鉄および亜鉛含有量が増加する (Yadvinder-Singh ら, 2000)。

ガンジス流域平原の東部地域で行った Misra ら (1996) による長期間の試験では、作物残渣の鋤込み土壌における有効態窒素・リン酸・カリ含有量の増加が観察されている。

作物残渣の鋤込みが土壌物理性を維持することに大きな役割を果たす。残渣の圃場外持出しや圃場内焼却した場合の土壌物理性は、いずれの条件下でも鋤込みの場合より劣る。砂質壤土における稲・小麦体系において、田植え前の麦稈の鋤込みによって5年間は団粒形成、とくに1-2mm径の団粒形成を促進する。また土壌の平均重量も高める (Yadvinder-Singh ら, 2000)。作物残渣の単独あるいは緑肥との併用鋤込みのいずれの場合でも作土の体積重は軽い。砂質壤土における

稲・小麦体系に関する長期間の研究によれば、稲わら・麦稈の鋤込みが圃場外持出しや焼却に比べて浸透速度や累積浸透量が大きくなっている (Singh ら, 1996)。

小麦不耕起栽培における稲わら利用

低コストおよび小麦の適時播種ができるということで最近盛んになっている小麦の不耕起栽培では稲わらを利用することが不可能である。ハーベスタによる稲収穫畑で小麦不耕起栽培をするときに稲わらをマルチ用に圃場に残すというオプションはある。最近、圃場表面を被覆するために稲わらを切断し散布すると同時に不耕起で小麦をドリル播きする農業機械が開発された。この機械は農民等が“happy seeder”と呼び評価している (図1)、これとあいまってガンジス流域平原地帯の様々の地域で新たな稲わら管理利用技術の導入が進んでいる。



写真1 Happy Seeder - オーストラリア CSIRO・パンジャブ農科大学共同開発による稲のコンバイン収穫畑における小麦の不耕起栽培向け播種機

参考文献

- 1) Beri, V., Sidhu, B.S. and Bahl, G.S. 2002. Crop residue management. In : *Recent Advances in Agronomy* (G. Singh, J.S. Kolar and H.S. Sekhon, Eds.), pp. 190-212. Indian Soc. Agronomy, IARI, New Delhi.
- 2) Beri, V., Sidhu, B.S., Bahl, G.S. and Bhat, A.K. 1995. Nitrogen and phosphorus transformations as affected by crop residue management practices and their influence on crop yield. *Soil Use Manage.* 11:51-54.
- 3) Bhardwaj, K.K.R., and Gaur, A.C. 1985. Recycling of Organic Wastes. Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India.
- 4) Bijay-Singh, Bronson, K.F., Yadvinder-Singh, Khera, T.S. and Pasuquin, E. 2001. Nitrogen-15 balance and use efficiency as affected by rice residue management in a rice wheat system in northwest India. *Nut. Cycl. Agroecosyst.* 59:227-237.
- 5) Brar, S.S., Kumar, S., and Narang, R.S. 2000. Effect of moisture regime and nitrogen on decomposition of combine harvested rice (*Oryza sativa*) residue and performance of succeeding wheat (*Triticum aestivum*) in rice-wheat system in Punjab. *Indian J. Agron.* 45, 458-462.
- 6) Katyal, V., Sharma, S.K. and Gangwar, K.S. 1998. Stability analysis of rice (*Oryza sativa*) wheat (*Triticum aestivum*) cropping system in integrated nutrient management. *Indian J. Agric. Sci.* 68:51-53.
- 7) Misra, R.D., Pandey, D.S. and Gupta, V.K. 1996. Crop residue management for increasing the productivity and sustainability in rice-wheat system. In: *Abstract of poster sessions. 2nd Int. Crop Sci. Cong.* pp. 42. National Academy of Agricultural Sciences and ICAR, New Delhi, India.
- 8) Narang, R.S., Brar, S.S., and Kumar, S. 1999. Effect of crop-residue incorporation load on nitrogen requirement of succeeding crops and soil productivity in rice (*Oryza sativa*) - wheat (*Triticum aestivum*) system. *Indian J. Agron.* 44, 8-11.
- 9) Prasad, B. 1999. Conjoint use of fertilizers with organics, crop residues and green manuring for their efficient use in sustainable crop production. *Fert. News* 44(5): 67-73.
- 10) Rajput, A.L. 1995. Effect of fertilizer and organic manure on rice (*Oryza sativa*) and their residual effect on wheat (*Triticum aestivum*). *Indian J. Agron.* 40:292-294.
- 11) Rattan, K.R., Singh, M.P., Singh, R.O. and Singh, U.S.P. 1996. Long term effect of inorganic and organic-inorganic nutrient supply system on yield trends in rice-wheat cropping system. *J. Appl. Biol.* 6:56-58.
- 12) Sarkar, A., Yadav, R.L., Gangwar, B. and Bhatia, P.C. 1999. Crop residues in India. Tech. Bull., Project Directorate for Cropping System Research, Modipuram, India.
- 13) Sharma, A.R. and Mittra, B.N. 1992. Integrated nitrogen management in rice (*Oryza sativa*) - wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Indian J. Agric. Sci.* 62:70-72.
- 14) Singh, Y., Singh, D. and Tripathi, R.P. 1996. Crop residue management in rice-wheat cropping system. In: *Abstracts of poster sessions. 2nd International Crop Science Congress.* pp. 43. National Academy of Agricultural Sciences, New Delhi, India.
- 15) Thakur, K.S. and Singh, M.N. 1987. Effect of organic wastes and N levels on transplanted rice. *Indian J. Agron.* 32:161-164.
- 16) Verma, T.S. and Bhagat, R.M. 1992. Impact of rice straw management practices on yield, nitrogen uptake and soil properties in a wheat-rice rotation in northern India. *Fert. Res.* 33:97-106.
- 17) Yadav, R.L. 1997. Urea-N management in relation to crop residue recycling in rice-wheat cropping system in North-Western India. *Bioresour. Technol.* 61:105-109.
- 18) Yadav, R.L., Dwivedi, B.S., Kamta Prasad, Tomar, O.K., Shurpali, N.J. and Pandey, P.S. 2000. Yield trends and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manures and fertilizers. *Field Crops Res.* 68:219-246.
- 19) Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, Ladha, J.K., Khind, C.S., Gupta, R.K., Meelu, O.P., and Pasuquin, E.

2004. Long-term effects of organic inputs on yield and soil fertility in the rice wheat rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 845-853.
- 20) Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, Ladha, J.K., Khind, C.S., Khera, T.S., and Bueno, C.S. 2004b. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice wheat rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 854-864
- 21) Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, OP Meelu and CS Khind 2000. Long-term effects of organic manuring and crop residues on the productivity and sustainability of rice-wheat cropping system in Northwest India. In: *Long-term Soil Fertility Experiments in Rice-Wheat Cropping Systems* (I.P. Abrol, KF Bronson, JM Duxbury and RK Gupta, eds.) pp. 149-162. Rice-Wheat Consortium Paper Series 6, Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Delhi, India.
- 〔¹）パンジャブ農科大学土壌学部，²）国際
稲研究所〕



稲・小麦体系の多様化を目的とした 畝立て灌漑栽培技術(FIRB)

M.L.JAT¹⁾, Samar SINGH²⁾・H.K.RAIL²⁾・R.S.CHHOKAR³⁾・
S.K.SHARMA¹⁾・Raj K.GUPTA²⁾

要 約

稲・小麦体系(RWCS)は世界で最も多く採用されている作付体系で(南アジアの作付面積は1,300.5万ヘクタール),インドガンジス流域平原(IGP)における耕作地の約85%を占めており,この数値はインド亜大陸面積の約6分の1である。この栽培体系は,稲,ムギとも南アジアにおいて約3分の1占めていることになる。RWCSによりこの地域の食糧の45%が賄われ,南アジアの総人口1億3千万のうち,42%に当る人々の主食を提供している。過去20年間の試験研究の結果,IGPにおけるRWCSは,地下水位の低下,土壤有機物および肥料成分の利用率低下,土壤の塩類集積,病害虫の発生増加等の問題を孕み,危機に瀕していることが明らかにされた。農業を持続的に営むための技術的背景として,資源の有効利用(RTCs)と土壤保全を目的とする輪作作物による圃場の被覆および肥沃度の維持がある。近年のRCTs技術として,不耕起栽培,畝立て栽培,レーザー光線を利用した圃場の均平化,輪作体系の中に高付加価値作物を混作する方法等が,IGPにおける稲・小麦輪作体系で採用されている。この地域では

畝立て灌漑栽培(FIRB)は農家の技術としては緒に就いたばかりである。この報告では,FIRBが水,養分,労働力等の資源の節約になるばかりでなく,稲・小麦輪作体系の大きな革新をもたらすことを実証した。この報告では,RWCS輪作体系の変革をもたらすために,FIRBが重要な技術であることを詳しく紹介する。

インド・ガンジス流域平原

インド・ガンジス流域平原(IGP)は,インド,バングラデシュ,ネパール,パキスタンにまたがる肥沃で,適度に灌漑された熱帯半乾燥ないし熱帯半湿潤地域に広がる,インダス・ガンジス両河川の沖積平野である(北緯21度32分24~33度7分48,東経67度4分48~90度58分40)。この地帯は地形的および生物気象の違いによって5種の地域に分けることができる。即ち,トランスガンジス河平原はインドおよびパキスタンの東西パンジャブとハリヤナ地域である(リージョン1と2)。3番目および4番目の地域はガンジス河の中・上流域で,インドのウッタルプラデシ州とネパールのウタランチャル州のテライ地区がこれに当る。インド・西ベンガル州とバングラデシュのガンジス河下流域は5番目の地域である。11月から3月までの小麦のシーズンは気温は冷涼で乾燥し,6月から9月にかけての稲作期は湿度が高く,暑いモンス

M.L.JAT, Samar SINGH, H.K.RAIL, R.S.CHHOKAR, S.K.SHARMA, Raj K. GUPTA: Furrow ligated Raised Bed (FIRB) Planting Technique for Diversification of Rice-Wheat System in the Indo-Gangetic Plains

ーン気候である。平均の降水量が 400mm 以下の北西部からガンジス河下流域の 1,800mm を越える地域まで広がり、降水の 85% は 6 月から 9 月までの夏季モンスーン期に降る。伝統的にトランス・ガンジス河流域とガンジス河流域北部の乾燥および半乾燥地域では、大麦、キビ、油糧作物、豆類が栽培され、平原中部の灌漑地帯では小麦、稲、サトウキビ等が作付けされている。下流域の湿潤地帯では稲や黄麻が栽培される。

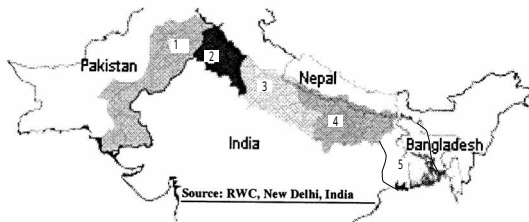


図 1 IGP 地域区分

注：数字はリージョン番号

IGP における稲・小麦作付体系

稲と小麦は食用作物としてアジアでは 6,000 年以上栽培が続けられてきた。稲 - 小麦の輪付体系も 1,000 年以上の歴史があるが、今日に見られる稲 - 小麦の集約的栽培では、資材の多投入に敏感に反応して収穫量の増加が見込まれる品種が普及した 1960 年代に広まった技術である。南アジアにおける稲 - 小麦輪付体系 (RWCS) の 85% は IGP で行われている (Timsina・Connors, 2001)。地域毎の作物統計は個々の作物についての数値で示されており、作付体系別の収穫量として表示されていないので場所により、また年による数値に変動があると思われるので、RWCS による作付面積や収穫量は主観的、仮定的なものである (Timsina・Connors, 2001; Yadav

ら, 1998; Paroda ら, 1994; Hobbs・Morris, 1996)。稲と小麦の栽培面積は研究者により数値に違いがあるが、稲と小麦で穀物生産量の 70% 以上を占めているということは見解が一致している。IGP 地域における稲 - 小麦輪付体系は 1,350 万 ha と推定されている (Ladha ら, 2003)。単純に単位面積当たりの収量を考えた場合、増加する人口を養うために稲、小麦の更なる増産が必要である。しかしながら IGP 地域では栽培面積、生産量および単位面積当たりの生産力が減少しつつあるという確証が得られている (Singha ら, 1998)。各地で環境の質の低下が起こり、問題を複雑にしているが、これは多くの国で緑の革命が起こってから明らかになったことである (Cassman・Pingali, 1993)。試験場でも農家の圃場でも収穫量が減少し、投入に対する収益の増加率が減少し、また、土壌・水資源の劣化・減衰が RWCS の持続性を脅かしつつある (Hobbs・Morris, 1996; Sinha ら, 1998; Duxbury ら, 2000; Ladha ら, 2002)。農業は生物的、物理的目的と社会的、経済的目的が一致すれば持続的となるので、持続性を改善し確固なものにするために RWCS の生産性と自然の資材 (土壌の健全性および水利) を継続的に監視することが必須である (Powlson ら, 1998)。

緑の革命の最初の段階では、資材投入に対する反応が速い品種の開発と導入、灌漑施設の拡大、無機肥料や農薬の積極的な使用を通じて、コメ生産を加速化することが試験研究の第一の目標であった。農家にこのような投入をさせるには公共投資が不可欠であった。現在では継続的な RWCS により土壌環境の劣化と穀類生産力の落ち込みが激しいことが明らかにされている (Nambiar・Abrol, 1989)。最近投入量と耕作方法を同じにした長期

間の稲 - 小麦試験の結果を検証したところ (Dowe ら, 2000; Duxbury ら, 2000; Yadav ら, 1998), 稲の単収が漸減傾向 (-0.02t/ha/yr 即ち年間5%の減少) であった。緑の革命後の農業は, 対応する技術として加えられた環境の質を維持しながら, 同じ農耕地で農業用水の使用量も変えることなく, より良質のコメを生産することが必要なことが求められるようになった。従って試験研究者は更なるコスト削減, 収益性の改善および環境の持続性を維持するための技術開発に意欲的に取り組むことが求められている。このことは農業にはさらなる生産性向上のための新技術と, 農業の持続性を維持する技術とを合理的に混合することが不可欠であることを示している。したがって IGP における稲 - 小麦二毛作体系では持続性の維持と資源の保全に関する事項に注目する必要がある。畝立て灌漑栽培技術 (FIRB) のような資源保全技術 (RTCs) の採用と, 稲 - 小麦体系の多様化とにより, IGP における持続性維持の抑制を解きほぐすことができるのではないかと考えられる。

IGP における稲・小麦体系の多様化

栽培作物の多様化とは, 当該地域における栽培関連の活動を活性化し, 栽培に伴う危機を最小限にするため, 多種類の作物を栽培することである。また, IGP 地域における食糧の安全保障に係る問題を解決するために決定的な要素となる。IGP における作物の多様化は伝統的に栽培されてきた資材投入効果の小さい作物から, その効果の大きい作物への転換であると捉えられている。現在の IGP 地域ではフードバスケットを満たすためのシナリオとして, コメの後作として全地域での小麦の単一栽培が優先されている。栽培作物の多

様化は単一作物の栽培に伴う環境問題を軽減するために一般的に重要なことである。ある種の作物を途切れることなく栽培したり異種作物を間作することによって, 厄介な雑草をかなりの程度抑制でき, 従ってその雑草が優占種である場合に除草剤の使用を大きく削減することが可能である。畝間を広く取って豆科作物を間作することにより, 窒素の流亡が大きく抑制できることが報告されている (Yadav, 1981)。並行的多毛作 Parallel multiple cropping (異なった生育を示す異種の作物を同時並行的に栽培する方法) により, サトウキビとひよこ豆, あるいはキマメとトウモロコシを混作すると, それぞれの作物を単独で栽培した時より土壤中の硝酸態窒素の含有量が低くなった (Yadav, 1982)。硝酸態窒素の流亡を防ぐ栽培管理技術として, Singh ら (1995) は作物が窒素を必要とする時期まで窒素肥料の大量投与を遅らせることと, 根域に多量の硝酸態窒素がある場合には灌漑を避けるべきであることを提案している。Singh ら (2005) は, 稲 - 小麦の作付け体系での小麦収穫後の深さ 45cm 以下の土壌プロフィールにおける硝酸態窒素の濃度が, キマメ - 小麦の体系による栽培に比べて非常に大きいことを示した。このことはキマメを栽培することにより, 硝酸態窒素が根域以下の土層へ流亡するのを最小限に留めていることが推定される。彼らはまた, RWCS を続けることにより土壌の比重 (BD) が増え, 特に 30-45cm の土層で増加が著しかった。キマメを導入した場合には, 表層 (0-15cm) の BD は初期状態が維持されたばかりでなく, 15-30cm および 30-45cm の下層でも BD は減少傾向 ($p < 0.05$) になった。

マメ科作物は空中窒素を固定し, 土壌を肥

沃にするので、長期間の穀物栽培における生産性を高める働きがある。土壌や環境的な制限がある中で、稲 - 小麦の栽培体系は代替作物としてマメ科作物を導入することにより変革ができる (Yadav ら, 1998)。栽培体系に関する AICRP の試験結果は、RWCS よりも稲 - マメ栽培体系の方が常に生産性が高いことを示している (Hedge, 1992)。輪作にマメ科作物を用いることの有利性は窒素固定のみにかぎられることではない。なぜならマメ科作物の導入は養分の利用率を高め、土壌構造が改善され、病気の発生を減らし、土壌微生物相の改善さえ図られる等の効果があるからである (Wani ら, 1995)。RWCS にマメ科作物を導入することにより、土壌中の炭素含量が増加し、窒素、りん酸、カリの利用率が向上した (Hedge and Dwivedi 1992)。AICRP-CS の試験結果では、換金作物、緑肥あるいは家畜飼料としてマメ科作物を導入する場合、地域、土壌条件及び導入するマメ科作物の種類によって効果に差があるので、作物生産と土壌の肥沃度維持に最適なマメ科作物を選定する必要がある。

畝立て灌漑 (FIRB) 栽培システム

作物を、畝あるいは苗床に播種する栽培体系である。作物により、苗床の高さは 15 ~ 20cm、畝幅 40 ~ 70cm にする (図 2 参照)。小麦の場合、畝幅 45cm としてそこに 15cm 間隔で 3 列に播種する。畝の間隔は通常 25cm である。IGP では過去 10 年間に畝立て栽培システムは非常な勢いで増加した。このような栽培法を採用することによって、生産性が上がるとともに、灌漑水の節約が図れるからである。最近の 10 年間にこの栽培技術は世界的に関心が持たれ、この技術の普及が広ま

っている。例えばメキシコ北西部では灌漑による高収量性の小麦栽培が広まり、この地域では 1981 年には畝立て栽培の実施率がわずかに 6% であったものが、1994 年には 75% にまで増加している (Meisner ら, 1992; Sayre・Moreno Ramos, 1997)。1970 年代にオーストラリアの重粘質土壌米作で稲以外の作物の畝立て栽培が初めて行われた (Maynard, 1991)。IGP の稲・小麦体系地帯では、メキシコの小麦トウモロコシ栽培体系における成功例に刺激され、畝立て栽培が始まった (Meisner ら, 1992; Sayre・Hobbs, 2004)。畝立て栽培の利点としては、農作業のため圃場に入る際歩く部分が決まっているため土壌の踏み固めの減少、水の排出減少、土壌表面からの排水が速く、農業機械を制限なく利用できることなどが挙げられる。IGP の畝立て栽培では、また、機械除草と施肥作業の時期が制限されなくなった。アジアやオーストラリアの稲 - 麦栽培地帯では畝を常に作っておくことにより、従来の畝を作らない平地作には適さない野菜栽培でも水管理ができ、その結果野菜の市場価格が高い時期を狙って野菜栽培を行うことが可能となった。IGP 地域で小麦栽培に畝立て栽培が有効なことは以前から知られていた (Dhillon ら, 2000) が、継続的に畝立てが行われるようになったのは最近のことである (Conner ら, 2002)。灌漑水量を減らして、畝立て栽培と従来の栽培法を比較して、小麦の収量が従来と同程度あるいは増収になることが、現地の農家も参加した試験および IGP の各地試験場で行われた試験で明らかにされた。灌漑水量の節約例として、従来の 18% 程度から 30 ~ 50% となったことがいろいろと報告されている (Hossain ら, 2002; OFWM, 2002; Talukder ら .2003; RWC-CIMMYT, 2003a

& 2003b; Hobbs・Gupta, 2003; Khanら, 2003)。

IGP 地域の農家での圃場試験および研究者による試験で、稲の直播 (DSRB) と比べて畝への移植栽培 (TRB) で 12% ~ 60% 灌漑水量を節約することができた。この場合 TRB での収穫量は、溜水による栽培 (PTR) に比べてほぼ同等かいくらか少ない程度であり、DSRB では若干少なかった (Gupta ら, 2002; Jehangir ら, 2002; Balasubramanian ら, 2003; Hossain ら, 2003; Khan ら, 2003; OFWM, 2002)。

しかし、IGP 北西部の実績では畝立て栽培稲の生産性は典型的には kg 当り 0.30 ~ 0.35g となり、灌漑水が節約できるが同時に収量も減少した (Sharma ら, 2002; Singh ら, 2002; Jehangir ら, 2002; OFWM, 2002)。ところで、IGP や他の地域でも畝立て栽培で得られる利益に関して実施のデモンストレーションが行われている。少しの例外 (Maybard, 1991; Kleinhenz ら, 1996; Limon ら, 2000) を除き、毎年相当の費用をかけて集約的栽培が行われたり、畝の上塗りや全面的な畝の作り直しが行われている。農家はいろいろな情報を得て、

畝立て栽培に相当な興味を持っている。その主な理由は、機械除草によって例えば麦とサトウキビを輪作したり、灌漑に要する時間を減らすことができ、また、排水に伴って土壌構造が改善されることなどである。即ち、畝立て栽培を継続することによって、以下に示す多くの利点により生産と利益の向上が図られると考えている (Cooner ら, 2003)。想定される便益としては、継続的な畝立て栽培により、耕起の回数が減り、直播栽培を行うことにより、労働のコストが減少し、初めて畝を作るのに比べて機械の使用、そのための燃料消費量が減ること、乾季、雨季とも栽培する作物の種類と選択の幅が広がり、市場の求める作物を作ることができるようになるとともに、水の使用量も節減できることなどがある。このことは例えば台湾にあるアジア蔬菜センターの研究で野菜の栽培は稲作より収益性が高い (Kleinhenz・Schnitzler, 1966; Kleinhenz ら, 1996) ことが明らかにされており、さらに水稻の連作に比べて土壌構造の破壊が少なく、硬盤の形成も遅くなる。機械除草と麦と

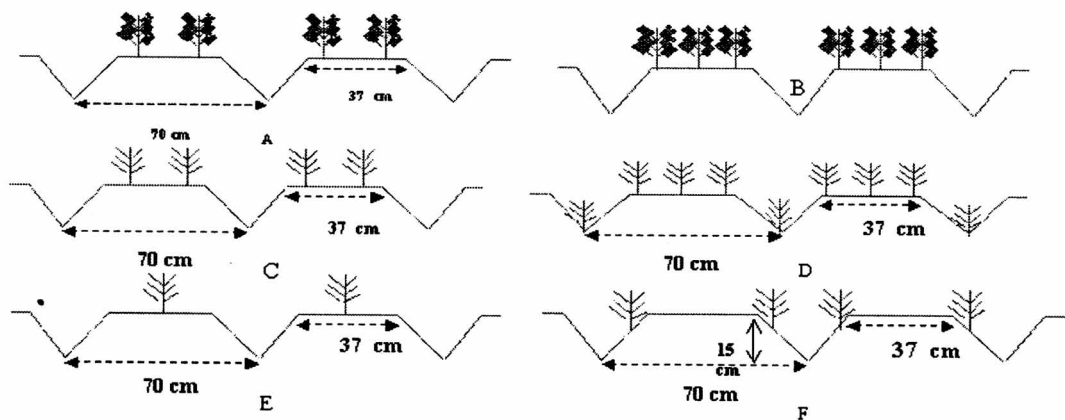


図2 畝立て栽培システム

注：A = ひよこ豆 2 条植，B = 小麦 3 条植，C = 稲 2 条植，D = 小麦 3 条植，サトウキビ 1 条畝間植，E = キマメ 1 条植，F = 2 条植畝面

稲以外の作物を混交栽培することで、除草剤の使用量が減り、労働コストも減少する。このことは稲の畝立て栽培の場合にも適用できるであろう。肥料を土壌表面でなく土層内に機械で施用することができるので、肥料の利用効率が上がる。平地作の圃場に比べて種子の必要量が減る。灌漑のコストが削減される。ここにいうコストには灌漑用の動力と労働力の減少とともに、灌漑水路の掘削、維持、より深くするための手数などの削減も含まれる。(これら費用の削減は地域政府の財政にも効果があり、例えばインド・パンジャブ地方では農家に対して灌漑水ポンプアップのための電気代を課していない)。直播、迅速な排水、その他の栽培管理の結果、タイムリーに耕作ができ、土層の維持と土壌表面からの迅速な排水により、作物の収量は向上する。現在のようなあるいは近い将来に予想される水不足状態での畝立て栽培は、(i) 灌漑水節約のために間歇灌漑による稲栽培や水の要求度の高い作物を採り入れることが可能となる。環境汚染について、平地作の水田において溜水状態で稲を栽培した時に比べて、畝立てを行い間歇灌漑を行って溜水状態にしない稲栽培では地下水汚染と水田からのメタン発生を抑制することができる。(反対に溜水状態でないために環境汚染物質が溶脱や、亜酸化窒素の生成は多くなる)。

継続的畝立て圃場における 不耕起栽培システム

現在行われている耕起栽培から耕起回数を減らしたり、あるいは前作の作物残渣を除去しない完全な不耕起栽培に移行するに当たって、その利益と損失が明らかになるまでにいくつかの作物の組合わせに関する検討が必要であ

る(Blevans ら, 1984)。畝立て栽培の利点は、畝立てが半永久的に継続して行われること、即ち、一作毎に畝を立てたり壊したりすることなく、一度作った畝の利用がかなりの期間続いてからでないとならならない。この栽培システムでは作物収穫後の稈等の残渣はそのまま圃場に残すか焼却される。そして畦溝を補修する。トウモロコシ、キマメ、大豆、ヒマワリ、綿等の作物が2番目の作物として同じ畝の前作の刈り株のところに植付けされる。刈り株のような前作の作物残渣を土壌中に残したまま半永続的な畝に作付けすることにより、メキシコでは小麦とトウモロコシの収量が増加し(Agustin ら, 2000)、他の地域では他の作物についても同様な結果が得られている。農家の圃場での試験でも稲を畝立て栽培することが可能であることが明らかにされ、RWCSでもこの栽培法を採用することができることがわかった。増加する労働コストと逼迫しつつある労働力、世界市場における競争の激化の中にあって、投下コストに比べて効率的な農業技術の開発が必要で、生産者にとってより収益性の高い技術を開発しなければならない。こうした条件下で、作物残渣を圃場に残す半永続的な畝立て栽培は有用な技術である。このような栽培技術は耕作に必要なコストが節約されるだけでなく、土壌の生産性を維持することにも役立つ。このような栽培法では最初の作物のために畝立てのための作業が入念に行われ、次いで播種と畝の補修がなされる。作物残渣が残っていることにより、土壌の物理化学的および生物学的な性質が改善され、そのために作物の根が土壌の深部にまで到達することができ、土壌・水・空気の良い関係が保たれる。更に集約的農業では次作の播種までの空き時間

をなるべく少なくする必要があるが、半永久的な畝立てにより栽培の空き時間が削減されて結果的に栽培が密になることになる。RWCS では圃場の土壌学的な管理が重要である。細土での耕作には現在の圃場管理法が必要であり、FIRB システムの採用が必須である。小麦を中心とした他の作物との組み合わせ、例えば綿と小麦、大豆と小麦、トウモロコシと小麦のような栽培体系では、各組み合わせ作物を同じ畝に栽培する。半永久的な畝立て栽培ができる作物の組み合わせとしては、小麦 - リョクトウ - 大豆、小麦 - リョクトウ - キマメ、豆類 - 小麦トウモロコシ、カラシナ - 大豆、ひよこ豆 - ダイズ等の組み合わせがある。

Sayre・Hobbs (2004)に関しては、前作の残渣の扱いについて何らかの対策が必要ではないかと指摘している。そのためには畦切り機の前に作物残渣を切る刃を付けることが考えられる。Sayre・Hobbs (2004) はまた、高収穫量は現在主流となっている残渣を鋤込むことにより達成されたもので、畝立てに際して残渣を焼却するなどの方法で取り除いた場合には収穫量の低下が引き起こされると報告している。Jatら (2005) は、畦灌漑によるトウモロコシの栽培でha当り 5.66tの収穫を得たが、

平地作不耕起栽培の場合 (ha当り 4.75t) やこれまで慣例的に行われてきた耕起栽培 (ha当り 4.39t) に比較してかなり高収量であった (表1 参照)。一方小麦の生産量は畝立てしない平坦不耕起栽培 (収穫量はha当り 5.56t) は、不耕起FIRB栽培 (ha当り 5.18t) および畝立てしないこれまでの慣行による栽培 (ha当り 5.12t) に比べてそれぞれ 7.3%及び 8.6%増収になった。さらに、水の生産性 (1 m⁻³当りの水量に対するkg収穫量) はトウモロコシ、小麦ともFIRBによる耕作で高く (2.79 と 1.98t), 次いで不耕起栽培 (1.74 と 1.89t), そして慣行法で最も低かった (1.36 および 1.38t)。ただし、水の生産性から見た収量は、慣行法と比較してFIRBあるいは不耕起栽培では小麦よりトウモロコシで大きかった。経済的な解析 (ha当りのUSドルで比較) では、トウモロコシと小麦について不耕起 (\$ 340 と \$ 463) の場合ももっとも収入が多く、次いでFIRB法 (\$ 332 と \$ 441), 慣行法では最小 (\$ 144 および \$ 337) であった (表1 参照)。

半継続的な畝立て栽培は水や窒素肥料、リン酸肥料の節減効果があり、エネルギーも節約でき、作業計画が立て易くなり、土壌の圧密が減るので作物周囲の土壌構造を改善する

表1 無耕起栽培と畝立て栽培の比較

栽培方法	穀物収量 (t/ha)			水生産性 (kg穀物量/水量m ³)			利益 (US\$/ha)	
	トウモロコシ	小麦	合計	トウモロコシ	小麦	トウモロコシ	小麦	合計
無耕起	4.75	5.56	10.31	1.74	1.89	340	463	803
FIRB	5.66	5.18	10.84	2.79	1.98	332	441	441
慣行	4.39	5.12	9.51	1.36	1.38	144	337	481
平均	5.03	5.15	10.17	2.08	1.68	238	389	627

出所: Jatら, 2005

等の効果がある。また、耕起や前作の残渣が残されるために、耕起や残渣を焼却する場合に比べて、ナトリウム含量と電導性が低くなると同時に有機質含量と窒素のレベルが高くなる。炭素や窒素のレベルが高いことは土壤が健康であることを意味し、従って持続性が保たれることになる。前作を鋤き込んだ畝立てにより土壤の流亡と侵食が少なくなり、0～15cmの耕土の土壤構造が改善される（Hulugalleら、2002）。以上のような考察の結果、半永続的な畝立て栽培はコストを引き下げ、環境保全的でより多い収穫が得られるような技術を提供していることになろう。

IGP地域における作物多様性のための畝立て栽培技術

IGP地域における主な作物栽培システムを採っている地帯では高収穫、集約的栽培の持続性が問題である。即ち生産性の低下と養分及び水消費量のアンバランスが問題になっている。作物が継続的に栽培されている地域でのマメ科作物の改善効果は以前から知られているが、穀物栽培の集約化に伴い、マメ科作物の重要性が減少してきている。それはマメ科作物の収量性が低く、穀類に比べて生物的・非生物的ストレス耐性が低いことによる。その結果特に資材・技術を持たない農家にとって豆は安定性にかける作物であるとの認識を持たれることになった。しかしながら、最近の栽培管理技術の進歩により、穀物栽培が主体の地域でも栽培作物の多様化を目指して、豆類のいろいろな活用方法が取り上げられるようになり、栽培の安定化に寄与している。農業気象についても、生物科学的にも、また、社会経済的にも多様なIGP地域では、RWCSから脱却して多種類の作物の多

様な栽培体系が考えられる。IGP地域において、作物生産を持続するための作物の多様化と栽培システムの集約化は、特に新しいmulti crop bed planter（多機能植付け機）の考案に伴って実用化が図られている。FIRBによる耕作技術は、多種類の作物を採り入れるとともにそれらの間作、輪作により資源を有効活用した栽培方法を提供している。キマメはIGP地域で高湿度の雨季に稲単作から複数の作物を栽培する作物の多様化に活用されるマメ科作物として有用である。非常に短期間（ESD）キマメを栽培し、FIRBの技術を導入することで、この地域における水生産性を高め、限られた資源を活用することにより農家の経済的発展に多大のポテンシャルを与えている。IGPにおける圃場試験の結果、水生産性が増し、稲栽培を主体とする時に比べてキマメを主とする栽培では収益が多くなることがわかった（Jat・Sharma,2005）。この報告では平地作に比べてFIRBによる栽培でさらに水の生産性と農家の収益が上がることも報告している（表2）。

冬作物のひよこ豆は、この2～30年の間に灌漑による穀物-サトウキビという栽培体系のために、栽培されなくなっている。生産性を維持し、栄養的な見地からも研究者はこの地域の冬期間の作物体系として栽培に適するマメ科作物を採り入れることを推奨している。IGP地域における持続的作物生産と作付体系のための作物の選択と栽培の集約化は、特に新世代の多目的植付け機（new generation multi-crop bed planter）の発達により実践されるようになった。FIRBによる栽培技術は、多種類の作物を導入して必要に応じて間作あるいは中継ぎ栽培を採り入れることにより臨機応変で能率的な栽培体系を組むための機会が

得やすくなった。南アジアの雨季に最も重要なマメ科作物であるキマメは IGP における栽培作物の多様化に貢献することが明らかにされた。キマメ (ICPL-88039) の超短期間栽培 (ESB) の導入と FIRB 式栽培技術の導入により、この地域では限られた資源の有効利用と水の生産性の効率化および農家収入の増加が図られることが期待できる。IGP での圃場試験により、稲を基本においた栽培体系に比べてキマメを基本にした栽培で、水の生産性の改善と農家収入の増加が認められた (Jat・Sharma, 2005a)。平地作栽培に比べて FIRB 法を用いることにより、水の生産性と農家収入の一層の増加が図れると報告されている (表 2)。ここ 20~30 年の間に、ひよこ豆のような冬作用マメは集約的なサトウキビと穀物の作付体系が主要な体系となって栽培されなくなっ

た。農業を持続的に行ない、土壌養分の保全のためにも地域の作付体系に冬作用マメ科作物を導入する必要があると研究者は主張している。この地域に適用できる冬作用マメ科作物としてひよこ豆が一般的で、また、特に FIRB 栽培体系で有効である。IGP 地域の西部における一般圃場と試験場の圃場での試験で、平地作栽培では小麦に比べてひよこ豆では生産性と収入増は小さかったが、FIRB による栽培ではこの点が改善されている (Jat・Sharma, 2005b, 表 3)。

米作に替えてトウモロコシと小麦を輪作した時に、穀粒の収穫量、水の生産性、小麦による収入は顕著に増加した (表 4)。増収効果等は、平地作栽培よりも FIRB の栽培技術を取り入れることで更に大きくなった (Jat・Sharma, 2005b)。この研究では、FIRB 栽培技

表 2 稲とキマメの栽培様式の違いによる収量、水の生産性、収益の違い

栽培方法	稲とキマメの収量 (t/ha)		水の生産性 (kg収穫量/水量 m ³)		収益 (US\$/ha)	
	水稲	キマメ	水稲	キマメ	水稲	キマメ
平地作	5.60	2.2	0.70	1.47	262	644
畝立て	5.80	2.6	0.85	2.31	318	811
平均	5.70	2.4	0.78	1.89	290	728

出所：Jat・Sharma,, 2005a

表 3 小麦とひよこ豆の栽培様式による収量、水の生産性、収益の違い

栽培方法	小麦とひよこ豆の収量 (t/ha)		水の生産性 (kg収穫量/水量 m ³)		収益 (US\$/ha)	
	小麦	ひよこ豆	小麦	ひよこ豆	小麦	ひよこ豆
平地作	4.80	1.40	1.23	0.88	275	271
畝立て	4.73	1.85	1.70	1.67	320	419
平均	4.76	1.63	1.45	1.27	298	345

出所：Jat・Sharma, 2995b

術によって冬季にはトウモロコシのような条植え作物の畝間に付加価値の高い経済作物を栽培することを提案している。彼らはインド西部ウッタルプラデシの農家が、FIRB 栽培技術によって冬作にトウモロコシを基幹作物にし、その間作に高付加価値作物を栽培することでかなりの収益を得ることができたことも報告している(表5)。インドのモジプラムにおける別の試験で、トウモロコシの間に野菜や花きのような作物を作付けた場合にトウモロコシ単作に比べて高い収益が得られたと報告されている。トウモロコシの間作にグラジオラスを栽培したとき、農家の収入はトウモロコシ単作に比べて4倍の収益があった(表5)。グラジオラスは市場価値が高く、都市周辺での栽培に向いている。輸送手段が発達している都市周辺地域では、FIRB 栽培技術を活用したトウモロコシ栽培の間作としてグラジオラスや野菜栽培を採り入れれば農家の収入は増加する。

FIRB 栽培技術の導入とその後の普及によ

り、IGP 地域のインド人農家は小麦とサトウキビを同時に栽培するという新しい栽培法を受入れつつある。この方法では小麦は畝に、サトウキビは畝間に植え付けられる。地域によって、小麦収穫後の5月にサトウキビを栽培すると発芽が悪く、雑草との生育競争に負け、更に生育期間が短いので、収穫量がかなり減少する。秋作のサトウキビは収穫量が25%多く、春作のサトウキビに比べて糖の回収率も高い。従って秋作サトウキビの収穫量を増やし、農家の収入を確保するためには特別な注意が必要である。もし秋季サトウキビだけが栽培された場合、rabi(インド・パキスタンで春先に収穫する作物)が収穫できなかったときに、混作では小麦とサトウキビの双方を収穫できる。Samar Singh ら。(2002)は FIRB 技術を用いた栽培体系ではサトウキビは冬の間休眠するので小麦と競合することはなく、ヘクタール当り 5.84t の小麦とヘクタール当り 95t のサトウキビを収穫したことを報告している。

表4 稲 - 小麦体系とトウモロコシ - 小麦体系による
半継続畝立て栽培における小麦の収量、水の生産性、収益

栽培方法	小麦の収量(t/ha)		水の生産性 (kg収穫量/水量 m ³)		収益 (US\$/ha)	
	RWCS	MWCS	RWCS	MWCS	RWCS	MWCS
無耕起	4.45	5.56	1.37	1.89	316	463
畝立て	4.33	5.18	1.59	1.98	308	441
慣行法	4.54	5.12	1.19	1.38	240	337
平均	4.44	5.15	1.39	1.68	274	389

RWCS は稲 - 小麦栽培体系を、MWCS はトウモロコシ - 小麦栽培体系を示す。

データは USAID プロジェクト (PDCSR、Modipuram) により実施された研究による。

出所: Jat・Sharma, 2005b

FIRB 栽培技術と雑草管理

畝立て灌漑栽培技術（Furrow Irrigated Raised Bed-planting, FIRB）による栽培では作物と雑草との競合は少なくなる。FIRB では肥料は畝に沿って帯状に施され、作物は肥料を利用しやすくなるとともに雑草との競争に勝

つことができる。肥料の施用場所として作物が利用し易いことと、畝の頂部の乾燥も速いために雑草の発生が少なくなる。Chokar ら（2002）は小麦を3列-畝で栽培した方が2列-畝のそれより雑草発生量が減り（雑草の乾燥重量で比較）、小麦の収量は増加することを報告している（表7）。FIRB システムで

表5 FIRB 栽培システムによる冬作トウモロコシの間作作物としての高付加価値作物の種類

栽培体系	収量 (kg/ha)		収益 (US\$/ha)
	主作物	間作作物	
トウモロコシのみ	5,970	-	396
小麦のみ	4,720	-	335
トウモロコシとタマネギ	5,818	3,500	633
トウモロコシとコリアンダ	3,845	3,150	781
トウモロコシと馬鈴薯	4,554	9,500	806
トウモロコシとトマト	5,970	1,500	485
トウモロコシと豆類	4,958	2,500	484
トウモロコシとグラジオラス	4,301	180,000	1,748
トウモロコシと甜菜	17,000	6,000	1,935

トウモロコシは穂軸の収量 グラジオラスは茎の本数
出所：Jat・Sharma 2005b

表6 FIRB 技術による小麦栽培で、間作作物を栽培することによる効果

作物と栽培方法	(収量 (t/ha))	
	小麦	サトウキビ
慣行法による小麦単作	5.57	-
間作作物を導入せずに小麦の畝立て栽培を実施した場合	6.00	-
植え溝にサトウキビを栽培し、畝に小麦を作付けた場合	5.84	94.5
春植えサトウキビ	-	78.8
夏植えサトウキビ	-	60.0

出所：Chhokar ら, 2002

作物を栽培した場合には中耕除草でトラクターによる機械除草が可能である。1 畝に 2 列で小麦を作付けた場合、播種後 40～45 日にトラクタ装着の中耕除草機による除草を行うことができる。機械除草の結果、小麦の間と畝間にある雑草は中耕除草機の刃先で根が掘り返される。機械除草は人手による除草作業よりも高能率である。機械除草が導入できれば除草剤への依存が減ることになる。FIRB システムでは雑草との競合が少なくなるので、収量の減少率が小さくなる(表 8)。発芽に高湿度が必要な雑草の種子発芽は畝間では高湿度のため多いが、畝、とくに畝の上部では乾燥が速いので、発芽が抑えられるのである。それ故作物と雑草の競合は少なくなり、畝を高くすることによって作物と雑草の競争状態がなくなり、作物の生育に有利となるわけである。播種前に畝間灌漑を行うと物理的に雑草が除去されることになり、また播種前に非選択性除草剤を施用しても雑草の防除ができ

る。機械による中耕除草は雑草防除の有力な手段である。機械除草のほか、畝立て栽培では動力噴霧器を用いて小麦の出芽前および後における除草剤、殺菌剤、殺虫剤の施用が可能となる。

FIRB 栽培システムと水管理

FIRB 栽培システムは水の効率的使用が目的であるから、水が最も重要な資源である乾燥地帯の農民には利益となる。平地作栽培と畝立て栽培では水文学上の扱いはまったく異なっている。畝立ての場合、水は畝から畝へと移動し、同時に蒸散と毛細管現象で畝の上部へも移動する。畝間では重力に従って下方へ移動する。この下方への水の移動は半永続的な畝立てでは大幅に減少する。従って軽膨な土壌の方が地下浸透による養分と水分が減って有利である。畝上部への水移動は表面に塩類集積を引き起こすことがあり、作物の生育障害を引き起こすことが考えられ、注意が必

表 7 FIRB 栽培技術による雑草の抑制効果

栽培方法	雑草の乾燥重量 (g/m ²)	小麦の収量(t/ha)	
		WF	WC
1 畝当り 2 列播種	163.92	6.05	5.43
1 畝当り 3 列播種	89.64	6.39	5.73

出所：Chhokar ら, 2002

表 8 小麦の収量に及ぼす雑草の影響、除草剤の効果及び雑草の発生量

栽培様式	小麦の収量 (t/ha)		除草を行わなかった場合の 雑草の乾燥重量 (g/m ²)
	除草せず	アルファルファ施用	
慣行(非畝立て栽培)	2.24	5.47	370
FIRB による栽培	3.32	4.92	149

出所：Chhokar ら, 2002

要である。保水力が小さく浸透力の大きい軽い土壌では、湛水による灌漑は蒸発と漏水による水の損失が大きい。その結果水と養分やその他の損失が大きくなり、無駄な時間を要することになる。FIRB システムでは畝間の土壌がトラクタのタイヤで固められるので水の移動が速く、灌漑によってカバーされる面積は約 40%と少なくなる。それ故畝立て栽培では少ない水量で広い面積の灌漑を行うことができ、水の節約割合は土壌の種類によって異なるが、20～40%である。

畝立て栽培により、燃料油、時間、水の必要量の 40%を節約できる。Morenoら (1993)、Sayre (2000) はメキシコでFIRBにより小麦を栽培したとき、平面全面灌漑と比べて必要な水量の 35%を節減し、畝立て栽培で小麦の収量は 10%増加したと報告している。同様に、Morenoら (1993) は高い水生産性、太陽エネルギーに高利用率、雑草との競合と作物の倒伏が少ないことを報告している。この栽培システムの付加的利益として、非畝立て栽培では倒伏の原因となる稔実期の灌漑が可能ながある。この方法は千粒重の増加をもたらす。畝立ては水の効率的利用のみならず水はけもよくなる。従ってこの栽培方法は乾燥条件下でも過湿条件下でも収量増加をもたらす。Ahmadら (1998) はパキスタンで 3 年間に亘り、灌漑の水深、回数等について 3 種類の水管理方法を用いた試験を行った。3 種類の管理方法とは、利用可能な水量の 50%削減 (DAW)、同じく 25%削減、および流亡を 0.2とした上での 50%削減で、栽培は平地作および畝立て栽培の二つである。一年間の排水灌漑で平地作栽培よりも畝立て栽培でよい結果が得られた。流亡 0.2、50%の排水灌漑を行い、畝立て栽培栽培により穀物の収量は

多くなった。更なる改善点として、水資源が非常に少ない地域では、1 畝おきに灌漑を行う方法も採用されている。この灌漑方法により、流亡、地下浸透、蒸散による水資源の減少を緩和することができる。

FIRB 栽培技術と養分管理

FIRB システムによる栽培ではこれまでの非畝立て栽培に比べて窒素の施用量を削減することができる。大雑把に見て節約量は 25%程度である。この削減は肥料が根の近くに施用されたことにより利用率が高まってもたらされたものである。元肥の施肥は播種機を使って播種と同時行う。播種機の刃先を調節することにより肥料は補肥によって施用され、除草と施肥を同時に実施できる。根の近くに穴を開けて施肥を行う方法により、全面施肥に比べて窒素の利用率向上を図り、雑草との競争に勝つことができる。肥料の利用率が高いので、平地作栽培に比較して作物の葉色が濃い。従来の方法では全面灌漑が行われ、窒素の高濃度施用により硝酸態窒素の気化と地下水への硝酸の移動によって窒素が失われる。(Elmi ら,2002; Jaunes ら,2001; Stite and Kraft, 2001)。FIRB による各種作物における水と肥料の節約については多くの研究者の報告がある (Borrell ら,1997; Limon ら,2000; Singh, 2002)。

FIRB 栽培技術と病害虫管理

作物の栽培位置を大きく変えることにより作物頂部の微気象が変わるので、害虫や病気の発生も変わってくる。Fahongら (2004) は作付け位置が変わることにより作物周辺の微気象が有利に働き、sharp eyespot とうどんこ病の発生が少なくなることを認めている (表

9) これに対しSharmaら(2004a)は平地作栽培よりも畝立て栽培でうどんこ病の発生が多くなったと報告している。Sharmaら(2004)はまた、小麦の畝立て栽培でシロアリの発生が多くなると報告しており、畝の頂部が乾燥するのでシロアリにはよい生育環境となるからであるとしている。

FIRB 栽培システムと土壌の性質

播種時に従来の耕作法に比べて畝立て栽培では、かさ密度と0~10cm および10~20cm 土層の水浸透力は小さい。これは畝の頂部の土壌が密でないことによるものである。かさ密度が小さいということは特に上層部で孔隙が多いことを意味する(表9)。時を経るに従って畝の高さが減り、土壌の圧密度が増すので、土壌間の物理性の幅は小さくなる(Aggarwal・Goswami, 2003; Limonら2000)。畝立て栽培では土壌の物理的環境がよい(圧縮度が小さいこと)ので、CTシステム(conventional tillage)に比較して土壌の上層

0~50cmの位置に根の張りがよく、このことが収量の増加に反映される。半永久的畝立てでは人が入って踏みつける位置が制限されるので、根の生育にはよい環境となる。耕作環境が良好であり、通気がよいため根の張りがよく、従って収量も増加する。長い湛水条件は収量を減らすことになるので、畝立てで高収量が得られるのはその良好な土壌環境によっている(Tisdall・Hodgson, 1990)。

結 語

現行の栽培システムにおける増産に対する隘路、資源の枯渇、環境問題などを克服して従来の栽培方法に替わる方法が求められている。IGP地域で実践されている栽培にはいろいろな制限が目立ってきている。作物の種類を増やし、近代的管理方法に基づく水の生産性の効率化、収益性の改善、栽培方法の多様化、持続的な農業の導入により上記の制限は克服可能であろう。FIRB耕作システムは多様化による繁栄をもたらす技術である。

表9 小麦の栽培方法が収量、水利用効果、sharp eye spot, うどんこ病の発生と倒伏に与える影響

小麦の品種	栽培方法	収量 (kg/ha)	水の利用 効 率 (kg/m ³)	sharp eye spot の 発生率(%)	うどんこ病の 発生率(%)	倒伏率 (%)
Jimai 19	畝立て	6900	1.96	7.9	7.7	0
	平地作	6415	1.67	19.6	19.6	10
Yannong 19	畝立て	7065	1.99	9.2	9.2	5
	平地作	5799	1.51	22.8	22.8	70

出所：Fahongら, 2004

参考文献

- 1) Aggarwal, P. and Goswami, B. 2003. Bed planting system for increasing water use efficiency of wheat grown on Inceptisol (Typic Ustochrept). *Indian J. Agral Sci.* 73 (8): 422-25.
- 2) Agustin, L.O., Kennyth, D. S. and Charles, A. F. 2000. Wheat and Maize yield in response to straw management and nitrogen under a bed planting system. *Agron. J.* 92 : 295 302 .
- 3) Ahmad, A.; Mahmood, N. and Akhtar, B. 1998. Effect of different depths of irrigation on the grain yield of promising late sown wheat cultivars . *Rachis Publ.*, 16: 1-2, 77-80.
- 4) Balasubramanian, V.; Ladha, J.K.; Gupta R.K.; Naresh, R.K.; Mahela, R.S.; Singh, B. and Singh, Y. 2003. Technology options for rice in rice-wheat system in south Asia. P. 115-118. In J.K. Ladha et al.(ed.). *Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems: Issues and impact.* ASA Spec. Pub. 65ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- 5) Blevins, R. L.; Smith, M. S. and Thomas, G. W. 1984. Changes in soil properties under no-tillage. In *No-Tillage Agriculture-Principles and Practices* Phillips S.H., Eds: Van Nostrand Rheinhold Company. New York, 190-320.
- 6) Borrell A.K., Garside, A.L. and Fukai, S. 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research* 52, 231-248.
- 7) Borrell, A., Garside, A. and Fukai, S. 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Res.* 52: 231-248.
- 8) Cassman, K.G. and Pingali, P. L. 1993. Extrapolating trends from long-term experiments to farmers fields: the case of irrigated rice systems in Asia. In *Proceedings of the Working Conference on Measuring Sustainability Using Long-Term Experiments.* Rothamsted Experimental Station, 28-30 April 1993, funded by the Agricultural Science Division, The Rockefeller Foundation.
- 9) Chhokar, R.S., Chauhan, D.S., Sharma, R. K., Singh, R.K., and Singh, R. P. 2002. Major weeds of wheat and their management. *Research Bulletin* No 13, Directorate of Wheat Research Karnal, pp 16.
- 10) Connor D.J.; Gupta, R.K.; Hobbs, P.R.; and Sayre, K.D. 2003. Bed planting in rice-wheat system. *In* : *Addressing resource conservation issues in rice-wheat system of south Asia: A Resource Book.* Rice-wheat consortium for the Indo Gangetic Plains- International Maize and wheat Improvement Center, New Delhi, India, p 103-108.
- 11) Connor, D.J.; Timsina, J. and Humphreys, E. 2002. Prospects for permanent beds in the rice-wheat system. In *Improving the Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Systems: Issues and Impacts* (Eds Ladha JK, Hill JE, Duxbury JM, Gupta RK and Buresh RJ) pp. 197-210. ASA Special Publication 65 (ASAInc, CSSAInc, SSSAInc, Madison, USA).
- 12) Dawe, D.; Dobermann, A.; Moya, P; Abdurachman, S.; Singh, B.; Lal, P.; Li, S.Y.; Lin, B.; Panauallah, G.; Sariam, O.; Singh Y.; Singh, Y; Swarup, A; Tan P.S. and Zhen, Q.X. 2000. How widespread are yield decline in long term rice experiments in Asia. *Field Crop Research*, 66:175-193.
- 13) Dhillon, S.S., Hobbs, P.R. and Samra, J.S. 2000. Investigations on bed planting system as an alternative tillage and crop establishment practice for improving wheat yields sustainably. *In Proc. 15th Conf. Int. Tillage Res. Org.*, Fort Worth, Texas, USA, 2-7 July 2000.
- 14) Duxbury, J.M. Abrol, I.P.; Gupta, R.K. and Bronson, K.F. 2000. Analysis of long term soil fertility experiments with rice-wheat rotations in south Asia. In: Abrol I.P. et al. (Eds.), *Long-term Soil Fertility Experiments in Cropping Systems.* Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains, New Delhi, pp vii-xxii.
- 15) Elmi, A.A.; C. Madramootoo, M. Egeh, A. Liu, C. Hamel. 2002. Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization mangement. *J. Environ. Qual.* 31, 1858-1867.
- 16) Fanong, W., W. Xuqing and K. Sayre. 2004. Comparison of conventional, flood irrigated, flat planting with furrow irrigated, raised bed planting for winter wheat in China. *Field Crops Research* 87: 35-42.

- 17) Gupta, R. K. Naresh, R. K., Hobbs, P. R. and Ladha, J.K. 2002. Adopting Conservation Agriculture in Rice-Wheat Systems of the Indo-Gangetic Plains- New Opportunities for Saving on Water. Paper presented at the "Water wise rice production workshop", 5-10 April 2002, IRRI, Philippines.
- 18) Hegde, D.M. 1992. All India Coordinated Agronomic Research Project, Research Highlights. Modipuram, India: Project Directorate for Cropping Systems Research (PDCSR).
- 19) Hobbs, P. and Morris, M. 1996. Meeting South Asia's future food requirements from rice-wheat cropping systems: priority issues facing researchers in the post-green revolution era. Pages 96-101 *in* Natural Resource Group Paper. Mexico: CIMMYT.
- 20) Hobbs, P.R. and Gupta, R.K. 2003. Resource Conserving Technologies for Wheat in Rice-Wheat Systems. *In* J.K. Ladha, J. Hill, R.K. Gupta, J. Duxbury and R.J. Buresh. (eds) Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems: issues and impact. ASA, Spec. Publ. 65, chapter 7: 149-171. ASA Madison, WI. USA.
- 21) Hossain M.I., Sufian, M.A., Hossain A.B.S., Meisner, C.A., Lauren, J.G. and Duxbury, J.M. 2003. Performance of bed planting and nitrogen fertilizer under rice-wheat-mungbean cropping systems in Bangladesh. Wheat Research Centre Internal Review Reports (Bangladesh Agricultural Research Institute, Dinajpur, Bangladesh).
- 22) Hossain, M.I., Talukder, ASMHM, Sufian, M.A., Hossain, A.B.S. and Meisner, C.A. 2001. Performance of bed planting and nitrogen fertilizer under rice-wheat-mungbean cropping systems in Bangladesh.
- 23) Hullugale, N.R.; Rohde, K.W., and Yule, D. F. 2002. Cropping systems and bed width effect of runoff, erosion and soil properties in a rainfed vertisols. *Land Degradation and Development*. 13 (5): 363-74.
- 24) Jat, M.L. and Sharma, S.K. 2005a. Crop diversification. In: Agenda notes, 13th Regional Technical Coordination Committee Meeting of the RWC. Feb 6-8, 2005, Dhaka, Bangladesh. Pp. 19-20.
- 25) Jat, M.L. and Sharma, S.K. 2005b. Accelerating resource conservation technologies in western Uttar Pradesh, India. In: Progress Report of the USAID project, RWC-CIMMYT India, New Delhi. January to June, 2005.
- 26) Jat, M.L., Shrivastava, A., Sharma, S.K., Gupta, R.K., Zaidi, P.H., Rai, H.K. and Srinivasan, G. 2005. Evaluation of Maize-Wheat Cropping System under Double-No-Till Practice in Indo-Gangetic Basin of India. In: 9th Asian Maize Research Workshop, September, 4-10, 2005, Beijing, China (Accepted for presentation)
- 27) Jaynes, D.B., T.S. Colvin, D.L. Karlen, C.A. Cambardella, D.W. MEEK. 2001. Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizer rate. *J. Environ. Qual.* 30, 1305-1314.
- 28) Jehangir, WA., Murray-Rust H, Masih I, and Shimizu K. 2002. Sustaining Crop and Water Productivity in the Irrigated Rice-Wheat Systems. Paper presented at, National Workshop on Rice-Wheat Cropping System Management, Pakistan Agricultural Research Council Rice-Wheat Consortium for Indo-Gangetic Plains. December 11-12, 2002, Islamabad, Pakistan.
- 29) Khan, M.A. and N.I. Hashmi. 2003. Impact of "No-Till" Farming on Wheat Production and Resource Conservation in the rice-wheat zone of Pakistan s Punjab. *In*: R. Lal, P. Hobbs, N. Uphoff and D.O. Hansen. (Eds). Sustainable Agriculture and the Rice-Wheat System. Ohio State University. Columbus, Ohio, USA.
- 30) Kleinhenz, V., D.J. Midmore, and W.H. Schintzler. 1996. High bed systems for off-season vegetable production in the tropics and subtropics. *Agric. Res.* 1/96:60-62.
- 31) Klenhenz, V., and W.H. Schnitzler. 1996. Diversification and transformation of Asian paddy fields to upland vegetable production. *Plant Res. Dev.* 43: 81-94.
- 32) Ladha, J.K. , D. Dawe, H. pathak, A.T. padre, R.L. yadav, Bijay Singh, Yadvinder Singh, Y. Singh, P. Singh, A.L. Kundu, R. Sakal, N. Ram, A.P. Regmi, S.K. Sami, A.L. Bhandri, R. Amin, C.R. yadav, A.M. Bhattarai, R.K. Gupta and P.R. Hobbs. 2002. How extensive are yield declines in long-term rice-wheat experiments in Asia? Field

- Crops Res. 4149 :1-22.
- 33) Ladha, J.K., J. Hill, R.K. Gupta, J. Duxbury and R.J. Buresh. (eds). 2003. Improving the productivity and sustainability of rice-wheat systems: issues and impact. ASA, Spec. Publ. 65. ASA Madison, WI. USA.
 - 34) Limon, O.A., K.D. Sayre, and C.A. Francis. 2000. Wheat and maize yields in response to straw management under a bed planting system. *Agron. J.* 92: 295-302.
 - 35) Maynard, M. 1991. Permanent beds their potential rol in soil management for the future. *Farmers Newsletter Large Area* 137, 14-18.
 - 36) Meisner, C., E. Acevedo, D. Flores, K. Sayre, I. Ortiz-Monasterio, and D. Byerlee. 1992. Wheat production and grower practices in the Yaqui valley, Sonara, Mexico. *Wheat Special Rep.* 6. CIMMYT, Mexico.
 - 37) Moreon, O., M. Salazar, M. Tamayo and J. Martinez. 1993. *Technologie para la produccion de trigo en surcos*. Foll. Tecn. .22. SARH. INIFAP. Cd. Obregon. Sonara, Mexico.
 - 38) Nambiar, K. K. M. and Abrol, I. P. 1989. Long term fertilizer experiments in India. An overview. *Fertilizer News*.34: 11-20.
 - 39) OFWM. 2002. Impact assessment of resource conservation technologies (rice-wheat) DFID Project 1999-2002. (Directorate General Agriculture Water Management, Lahore, Pakistan).
 - 40) Paroda, R.S., Woodhead, T. and R.B. Singh. 1994. Sustainability of rice-wheat production systems in Asia. RAPA Pub. 1994/11, FAO, Bangkok.
 - 41) Powlson, D.S., P.R. Poulton, and J.L. Gaunt. 1998. The role of long-term experiments in agricultural development. P. 1-15. In A. Swarup et al. (rd.) *Proc. of a national Workshop on Long-Term Soil Fertility management through Integrated Plant Nutrient Supply*. Indian Institute of Soil Science, Bhopal, India.
 - 42) RWC-CIMMYT. 2003a. Addressing Resource conservation issues in rice-wheat systems of South Asia: A resource book. Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains- International Maize and Wheat Improvement Center. New Delhi, India. 305p.
 - 43) RWC-CIMMYT. 2003b. Agenda Notes 11th Regional Technical Coordination Committee Meeting. 4-6 March 2003, Kathmandu, Nepal (RWC-CIMMYT, New Delhi, India).
 - 44) Sayre, K. D. 2000. Effects of tillage, crop residue retention and nitrogen management on the performance of bed-planted, furrow-irrigated spring wheat in northwest Mexico. *Proc. 15th Conf. Int. Soil Tillage Res. Org.* 2-7 July 2000. Fort Worth, Texas, USA.
 - 45) Sayre, K.D. and P. R. Hobbs. 2004. The Raised-Bed System of Cultivation for Irrigated Production Conditions. In *Sustainable Agriculture and the International Rice-Wheat System*, Lal et al. (Eds) PP 337-355.
 - 46) Sayre, K.D. and O.H. Moreno Ramos. 1997. Applications of raised-bed planting systems to wheat. *Wheat Program Special Rep.* 31. CIMMYT, Mexico.
 - 47) Sharma PK, Bhushan Lav, ladha Jk, naresh, RK, Gupta RK, Balasubramanian BV, and Bhouman BAM. 2002. Crop-water relations in rice-wheat cropping under different tillage systems and water-management practices in a marginally sodic, medium-textured soil. In " *Water-wise Rice Production* (Eds, Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban B, Toung TP, and Ladha JK)) pp. 223-235. *Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production*, 8-11, April 2002, Los Banos, Philippines (IRRI, Los Banos, Philippines).
 - 48) Sharma, A.K., R.K. Sharma, and K. S. Babu. 2004a. Effect of planting options and irrigation schedules on development of powdery mildew and yield of wheat in the North Western plain of India. *Crop Protection* 23: 249-253
 - 49) Sharma, R.K., K.S. Babu, R.S. Chhokar and A.K. Sharma. 2004. Effect of tillage on termites, weed incidence and productivity of spring wheat in rice-wheat system of North Western Indian Plains. *Crop Protection* 23: 1049-1054.
 - 50) Singh AK, Choudhary BU and Bouman BAM. 2002. Effects of rice establishment methods on crop performance, water use, and mineral nitrogen. In " *Water-wise Rice Production* (Eds

- Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban B, Toung TP and Ladha JK) pp. 237-246. Proceedings of the International Workshop on Water-wise Rice Production, 8-11, April 2002, Los Banos, Philippines (IRRI, Los Banos, Philippines).
- 51) Singh B. Gajri P.R., Timsina J., Singh Y. and Dhillon S.S. 2002 Some issues on water and nitrogen dynamics in rice-wheat sequences on flats and beds in the Indo-Gangetic plains. *In: Modeling irrigated cropping systems*, with special attention to rice-wheat sequences and raised bed planting. Humphreys, E., and Timsina, J. (Eds.) Proceedings of a Workshop, CSIRO Land and Water, Griffith, NSW, Australia, 25-28 February 2002. CSIRO Land and Water Technical Report 25/02.
- 52) Singh, R., Gajri, P.R., Gill, K.S. and Khera, R. 1995. Puddling intensity and nitrogen use efficiency of rice (*Oryza sativa*) in a sandy loam soil of Punjab. *Indian J. Agri.* 54: 65(10): 749-751.
- 53) Singh, Samar, A. Yadav, R.K. Malik, and Harpal Singh. 2002. Furrow irrigated raised bed planting system: A resource conservation technology for increasing wheat productivity in rice-wheat sequence. P. 198-200. In R.K. Malik et al (ed.) *Herbicide resistance management and zero tillage in rice-wheat cropping system*. Proc. Int. Workshop. Hisar, India, 4-6 March 2002. CCS HAU Hissar, India.
- 54) Singh, V.K., Dwivedi, B.S., Shukla, A.K., Chauhan, Y.S. and Yadav, R.L. 2005. Diversification of rice with pigeonpea in a rice-wheat cropping system on a Typic Ustochrept: effect on soil fertility, yield and nutrient use efficiency. *Field Crops Research*, 92: 85-105.
- 55) Sinha, S.K., G.B. Singh, and M. Rai. 1998. Decline in crop productivity in Haryana and Punjab: Myth or reality? p. 89. *Indian Council of Agricultural Research*, New Delhi, India.
- 56) Stites, W., and G.J. Kraft. 2001. Nitrate and chloride loading to ground water from an irrigated north central US sand plain vegetable field. *J. Environ. Qual*, 30, 1176-1184.
- 57) Talukder ASMHM, Sufian MA, Meisner CA, Duxbury JM, Lauren JG and Hossain ABS 2002. Enhancing food security in warmer areas through permanent raised-bed in wheat: save water and reduce global warming. Poster paper at 2nd International Group Meeting on "Wheat Technologies for Warmer Areas", Agharkar Research Institute Pune Indian, 23-26 September 2002.
- 58) Timsina and Connor DJ. 2001. Productivity and management of rice-wheat cropping systems: issue and challenges. *Filed Crops Research* 69, 93-132.
- 59) Tisdall, J.M. and A.S. Hodgson. 1990. Ridge tillage in Australia: a review. *Soil and Tillage Res.* 18: 127-44.
- 60) Wani, S.P., Rupela, O.P. & Lee, K.K. 1995. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil* 174. 29-49.
- 61) Yadav, R.L. 1982. Minimizing nitrate-nitrogen leaching by parallel multiple cropping in long duration row crops. *Experimental Agriculture* 18: 37-42.
- 62) Yadav, R.L., Dwivedi, B.S. Gangwar, K.S. & Prasad, K. 1998. Overview and prospects for enhancing residual benefits of legumes in rice and wheat cropping systems in India. In *Residual Effects of Legumes in Rice and Wheat Cropping Systems of the Indo-Gangetic Plain* (eds J.V.D.K. Kumar Rao, C. Johansen & T. J. Rego), pp, 207-225. Patancheru: International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics.
- 63) Yadav, R.L. 1981. Intercropping pigeonpea to conserve fertilizer nitrogen in maize and its residual effect on sugarcane. *Experimental Agriculture* 17: 311-315.

¹) Project Directorate for Cropping Systems Research, Modipuram-250 110, Meerut, UP(India)

²) RWC-CYMMYT-India, NASC Complex, Pusa, New Delhi-110012(India)

³) Directorate of Wheat Research, Kunjpura Road, Karnal, Haryana(India)

(E-mail:Jat_ml@yahoo.com, FAX-91-121-2577548)

『作物遺伝資源の農民参加型管理 経済開発から人間開発へ』

西川芳昭 著 農山漁村文化協会

遺伝資源研究者のみならず、農学の諸分野や国際協力（開発学）の関係者に対する提言の書である。著者は元々農林生物学を学んだ後、国際協力事業団や農林水産省での勤務を経験し、幅広い視野から作物遺伝資源をめぐる国際協力のあり方について分析しており、その幅広さ故にそれなりの心構えが必要かも知れない。研究者として遺伝資源に関わり、短期間ではあるが国際協力の現場にも身を置いた経験を有する紹介者にとっては、実に耳の痛い話もこそばゆい話も書かれている。

作物遺伝資源は、消費・消耗されていく他の資源と異なり増殖可能で、主に育種素材としての利用を前提に収集・保存・評価・交換されてきた。日本における議論は概ね近代的育種技術を念頭に置いたものに集中し、とくに農業者の視点を欠いていたという著者の指摘は重く受け止める必要がある。現在、日本の農業生物遺伝資源は基本的に研究・教育・展示を目的として配布されている。これは日本における作物遺伝資源の活動が明治政府による全国の稲品種の収集事業にその源をもち、それが現在の稲品種育成の基盤となったことが示すように国家による研究開発の一環であった。著者はそれを全て否定しているのではない。作物遺伝資源の多面的な価値を理解した上で、保全や利用を目指すならもっと柔軟に考えるべきだと指摘している。

本書は6章から構成されている。第1章「遺伝資源と参加型開発をめぐる世界の現状」では、植物遺伝資源の研究の現状や参加型開発について触れ、本書の趣旨を明らかにしている。第2章「開発における作物遺伝資源」では作物遺伝

資源のもつ価値の多面性を述べた上で保全・管理と知的所有権、さらには参加型開発の意義を示している。第3章「作物遺伝資源管理のシステムを担うNGO・NPO」では、ネパールとアイルランドにおけるNGO・NPOの活動事例を分析し、国際機関や国家的研究組織と協働し補完しうることを示している。第4章「作物遺伝資源管理における公的研究機関と農民の協働」では内戦後のルアンダの在来作物品種の再導入、広島県の遺伝資源バンクにおける地方品種活用事例をあげ、公的研究機関と民間とを結びつけることができれば、作物遺伝資源の管理と参加型開発の連携が可能であると結論している。第5章「作物遺伝資源管理と技術協力のパラダイム転換」では作物遺伝資源に関してドイツのGTZと日本のJICAが実施した国際技術協力プロジェクトを比較し、JICAのプロジェクトが研究機関における技術移転に留まっているに対し、GTZの方は多様な関係者の参加を協力の原点にしているため成果が幅広い農村開発の場に活かされていると分析している。第6章「農民が参加できる作物遺伝資源管理の教訓と協力への課題」では遺伝資源の保全と持続的利用を促進するために国際機関等によるグローバルな対応、国家レベルでの対応、地域における多様な組織による対応の有機的な連携が必要であることを指摘している。

国際協力関係機関、行政機関、大学等で広く読まれること、特に遺伝資源や農業分野での国際協力を志す若い人に読まれることを期待する。

((独)農業生物資源研究所 河瀬 眞琴)

「国際農林業強力」誌編集委員（五十音順）

池上 彰 英	（明治大学農学部助教授）
板垣 啓四郎	（東京農業大学国際食料情報学部教授）
勝保 誠	（明治学院大学国際学部教授）
紙谷 貢	（前財団法人食料・農業政策研究センター理事長）
二澤 安彦	（社団法人海外林業コンサルタンツ協会専務理事）
西牧 隆 壯	（独立行政法人国際協力機構農村開発部課題アドバイザー）
安村 廣 宣	（社団法人海外農業開発コンサルタンツ協会専務理事）

編 集 後 記

本号は、インド・ガンジス流域地域で普及している集約的農業技術である稲・小麦作付体系技術 (Rice-Wheat Cropping System) について特集した。

ガンジス流域平原地帯の広大な面積で行われている稲・小麦体系という集約的土地利用農業をさらに持続可能にするため CMMYT をはじめとした国際農業研究機関、各国農業研究機関等が農民参加型で取組んだ省資源型生産技術開発の成果をインド・パキスタン・ネパール等の研究者に論述していただいたのが、本号の記事である。

ガンジス流域地帯は最も「緑の革命」が成功した地域の一つといわれている。この地域の農家は零細経営で、気象的には湿潤熱帯地域もあるが半乾燥熱帯という条件のところもあり、何故この地帯で技術革新が成功したのであろうか。ガンジスという大河の水資源に恵まれたことも大きいだろうが改良技術が浸透・定着したのは、新たな技術を利用すれば在来農法よりも確実に収益が上がることを農家自身が確信したからのようだ。政策的な対策や市場条件もあるが「緑の革命」技術が 1300 万ヘクタールという広範囲に普及し、食料増産に大きく貢献したことは間違いない事実である。

現在、国際協力場でアフリカにおける食料生産の拡大が大きな課題の一となっているが、極めて貧困で、零細な農家が中心である南アジアでの「緑の革命」の第二ステップとも言える技術開発とその成果はアフリカにおける「緑の革命」を考える際の有益な情報となろう。

(H・T)

- 賛助会員への入会案内 -

当協会は、賛助会員を募集しております。個人賛助会員に入会されますと、当協会刊行の次の資料を無料で配布することとしております。

多くの方々が入会されますようご案内申し上げます。

「国際農林業協力」(年6回発行)

なお、法人賛助会員については、上記資料以外にカントリーレポート等を配布いたします。

平成 年 月 日

〔法人〕 賛助会員入会申込書
〔個人〕

社団法人 国際農林業協力・交流協会
会長 真木秀郎 殿

住 所 〒

T E L

法 人

ふりがな
氏 名

印

社団法人国際農林業協力・交流協会の〔法人〕 賛助会員として平成 年度より
〔個人〕
入会いたしたいので申し込みます。

なお、賛助会費の額及び払い込みは、下記のとおり希望します。

記

1. 賛助会費 円
2. 払い込み方法 ア. 現金 イ. 銀行振込

- (注) 1. 法人賛助会費は年間 50,000 円以上、個人賛助会費は 5,000 円（海外は 10,000 円）以上です。
2. 銀行振込は次の「社団法人 国際農林業協力・交流協会」普通預金口座
 をお願いいたします。
3. ご入会される時は、必ず本申込書をご提出願います。

みずほ銀行本店	No. 1803822
三井住友銀行東京公務部	No. 5969
郵便振替	00130 - 3 - 740735

農林業技術相談室

- 海外で技術協力に携わっている方のための -

ODA や NGO の業務で、熱帯などの発展途上国において、技術協力や指導に従事している時、現地でのいろいろな技術問題に遭遇し、どうしたらよいか困ることがあります。JAICAF では現地で活躍しておられる皆さんのそうした質問に答えるため、農業技術相談室を設けて対応しております。

相談は無料です。ご質問に対しては、海外技術協力に経験のある技術参与が中心になって、分かりやすくお答え致します。内容によっては他の機関に回答をお願いするなどして、できるだけ皆さんのご要望にお答えしたいと考えております。どうぞお気軽にご相談下さい。

相談分野

作物：一般普通作物に関する問題，例えば品種，栽培管理など
(果樹，蔬菜，飼料作物を含む)

土壌肥料など：土壌肥料に関する問題，例えば施肥管理，土壌保全，有機物など

病虫害：病虫害に関する問題，例えば病虫害の診断，防除（制御）など

質問宛先

国際農林業協力・交流協会技術相談室 通常の相談は手紙またはFAXでお願いします。

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目 10 番 39 号 赤坂 KSA ビル 3 F

T E L : 03-5772-7880 (代), F A X : 03-5772-7680

E-mail : info@jaicaf.or.jp

国際農林業協力 Vol. 28 No. 1 通巻第 138 号

発行月日 平成 17 年 8 月 31 日

発行所 社団法人 国際農林業協力・交流協会

編集・発行責任者 専務理事 佐川俊男

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目10番39号 赤坂 KSA ビル 3 F

TEL(03)5772 - 7880 FAX(03)5772 - 7680

ホームページアドレス <http://www.jaicaf.or.jp/>

印刷所 株式会社 創造社

International Cooperation of Agriculture and Forestry

Vol. 28, No.1

Main Contents

Special Topics: Rice-Wheat Cropping System in Indo-Gangetic Plains

Resource Conserving Technologies: A New Paradigm Transforming Agriculture

Raj K. GUPTA

Impact of Zero-Till in the Indo-Gangetic Plains

R.K.MALIK • Mushtaq GILL • Ganesh SAH

Management of Crop Residues in Rice-Wheat Cropping System in the
Indo-Gangetic Plains of South Asia

Bijay-SINGH • Yadvinder-SINGH • J.K. LADHA

Furrow Irrigated Raised Bed(FIRB) Planting Technique for Diversification of
Rice-Wheat Cropping System in the Indo-Gangetic Plains

M.L.JAT • Samar SINGH • H.K.RAIL • R.S.CHHOKAR •
S.K.SHARMA • Raj K.GUPTA