

異なる降雨条件における柑橘園草生栽培の 懸濁態リン流出軽減効果

山家一哲¹⁾・杉山泰之¹⁾・高橋和彦¹⁾

¹⁾静岡県農林技術研究所果樹研究センター

Effects of Sod Culture on Loss of Particulate Phosphorus from Soil in Citrus Orchards Different Rainfall Conditions

Ittetsu Yamaga¹⁾ Yasuyuki Sugiyama¹⁾ and Kazuhiko Takahashi¹⁾

¹⁾ Fruit Tree Research Center / Shizuoka Res. Inst. of Agric. and For.

Abstract

The effects of sod culture on the efflux of particulate phosphorus from soil in sloped citrus orchards were studied under two different rainfall conditions. The amount of surface runoff in sod culture was the smallest among all treatments under a light rainfall condition. The amount of surface runoff in sod culture was only 5% of total rainfall. On the other hand, the amount of surface runoff in clean culture was 40% of total rainfall. There were no significant differences between treatments in terms of the particulate phosphorus concentration. The particulate phosphorus loss in sod culture was 9% of clean culture. There were no significant differences between treatments in terms of the amount of surface runoff under heavy rainfall conditions. However, the particulate phosphorus loss in sod culture was decreased to 16% of the clean culture by controlling the particulate phosphorus concentration. Therefore, it was concluded that sod culture became effective for alleviating the loss of particulate phosphorus if the surface runoff amount was reduced under light rainfall conditions and the particulate phosphorus concentration was decreased under heavy rainfall conditions. In the future, it is necessary to further discuss the relationship between rainfall, soil moisture conditions and factors in preventing particulate phosphorus loss.

キーワード：草生栽培，懸濁態リン，カンキツ，土壌

I 緒 言

柑橘園に施肥されたリンは表層土壌に集積しており、降雨によりその一部が懸濁態として流出することが知られている。全国でも有数のウンシュウミカン(*Citrus unshiu* Marc.)産地である静岡県浜松市三ヶ日町は、猪鼻湖(浜名湖から半閉鎖的に区切られた湖)に接しており、肥料由来のリンが降雨により土壌とともに流され、河川を通して湖に流入すると思われる。閉鎖性水域に流入したリンは、富栄養化の原因物質となり植物プランクトンの異常な増殖を引き起こすと言われている。

カンキツ園は傾斜地にある場合が多く、平坦な園地よりも土壌流亡しやすい環境にある。土壌の流亡は園地に下草を生やす草生栽培により軽減される¹⁾⁸⁾ことがわかっているが、土壌に吸着・固定されるリンの流出も草生栽培で軽減されると思われる。現在、浜松市三ヶ日町における草生栽培の普及率は、6～7%程度と決して高くはない。しかし三ヶ日町の農家を対象にしたアンケートによると、園地の土壌流亡を危惧しているという意見が多く、更なる普及のために草生栽培によるリン流出軽減効果を明確に示す必要がある。

農耕地、特に果樹園からの肥料成分の流出に関する既

往の研究は、窒素の地下浸透を主体としたものが多く、リンの流亡に関する研究は近年増加傾向にあるが⁴⁾、窒素の研究と比較するといまだに少ない。肥料資源の大半を輸入に頼る我が国において、リンの施肥合理化は急務であり、そのためにもまず肥料成分を流出させない努力が必要である。

本報では、2つの異なる降雨条件において草生栽培がカンキツ園土壌からのリン流出軽減に与える影響を草生栽培の面積と園地の傾斜別に検討した。

II 材料及び方法

1. 試験処理区の設定

傾斜角度が5° (黄色土)、15° (赤色土)の2園地に地表面管理方法の異なる草生区、部分草生区、清耕区の3区を各区2反復設定し、表面流出水を採取するための無底傾斜ライシメーター(縦1.8m×横1.8m、面積3.24㎡)を園地の樹間に設置した(図1)。

草生区は全面に草を生やした。部分草生区はライシメーター枠の下縁に草を生やし、草生面積は全面草生の1/4の面積0.81㎡とした。清耕区は雑草を定期的に除草し、裸地の状態とした。草生区および部分草生区の草

種は、2005年5月～9月をペレニアルライグラス(*Lolium perenne*)、2005年10月以降をナギナタガヤ(*Vulpia myuros* C.C.Gmel)とした。傾斜角度5°、15°の園地ともに2005年3月に改植しており、5°の園地には‘興津早生’(*Citrus unshiu* Marc.cv.Okitsuwase 2年生)、15°の園地には‘青島温州’(*Citrus unshiu* Marc.cv.Aoshima 2年生)が植栽された状態であった。ライシメーター枠内に施肥は、行わなかった。

2. 調査事例

2005年8月～10月の降雨時調査において、降雨強度が相対的に高い場合と低い場合の代表的な事例をそれぞれ1つずつ取り上げ、降雨強度別に草生栽培が、リン流出に及ぼす影響を検討した。また、園地の傾斜角度による影響もあわせて検討した。ここで述べる降雨強度とは1時間当たり、10分間当たりの最大降雨量を示す。

[事例1] 低降雨強度の場合

調査日時：10月17日17:30～10月18日6:00

降雨量：積算降雨量16.5mm

1時間最大降雨量4.5mm

10分間最大降雨量1.5mm

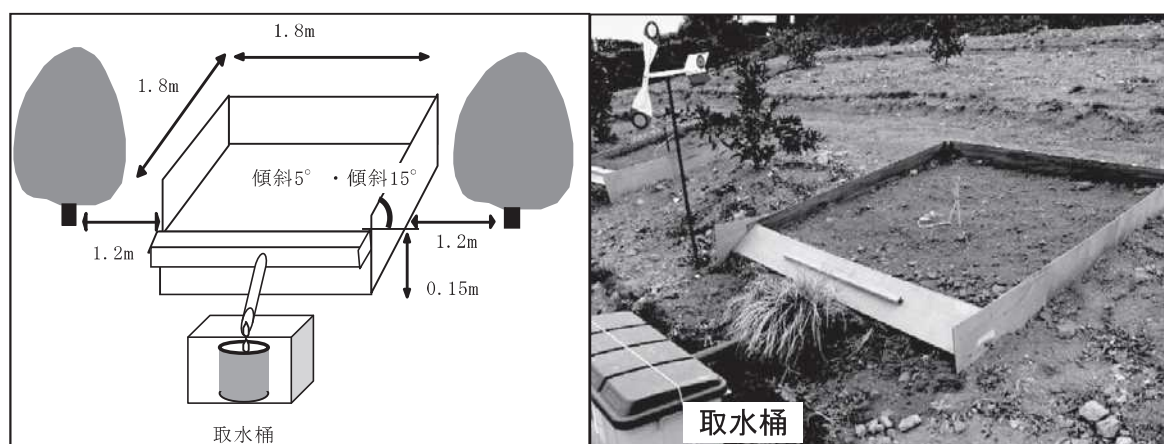


図1 無底傾斜ライシメーターの概略図(左)と実際の設置状況(右)

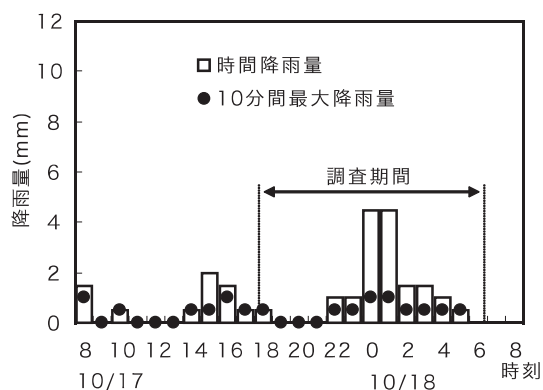


図2 事例1(低降雨強度時)における調査時の降雨量

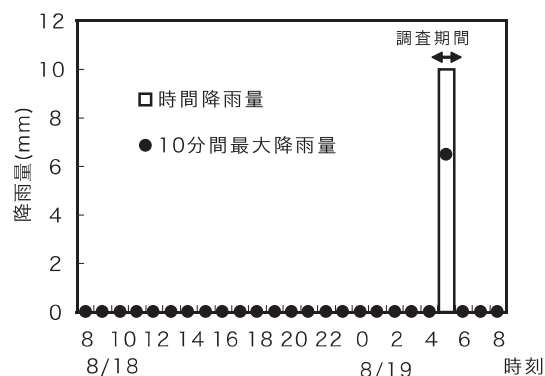


図3 事例2(高降雨強度時)における調査時の降雨量

[事例2] 高降雨強度の場合

調査日時: 8月19日 5:00 ~ 6:00

降雨量: 積算降雨量10.0mm

1時間最大降雨量10.0mm

10分間最大降雨量6.5mm

以上, 2つの異なる降雨条件の詳細を図2, 図3に示す.

3. 降雨量の計測

降雨量は, 柑橘試験場西遠分場(現在, 果樹研究センター西遠は場)気象観測装置の降雨量データを使用した.

4. 表面流去水量および浸透水量の測定

降雨によりライシメーター枠内の土壌表面から流去する懸濁水を取水桶により採取し, 水量を調べた. また, 枠内に降った降雨量から表面流去水量を引くことで土壌への浸透水量を算出した. 土壌からの蒸発散量は考えないものとした.

5. リン酸態リンおよび懸濁態リン濃度の測定

リン酸態リンは, 懸濁水を0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過し, イオンクロマトグラフIC2001(東ソー製)により測定. また, 懸濁水を過硫酸カリウム分解法により分解し, モリブデン青-アスコルビン酸還元法で定量した値を過硫酸カリ分解リンと表記した. 懸濁態リンは, 過硫酸カリ分解リンから, 溶存態リンの大部分を占めると考えられるリン酸態リンを引くことで算出した.

Ⅲ 結 果

[事例1]

1. 表面流去水量および浸透水量

表面流去水量は, 両傾斜角度ともに草生区と部分草生区で少なく, 清耕区で最も多くなった(図4). 傾斜角度間では, 有意な差が認められなかった(表1). 積算降雨量から表面流去水量を差し引いたライシメーター内への浸透水量は, 草生区と部分草生区で多く, 清耕区で最も少なかった(図4).

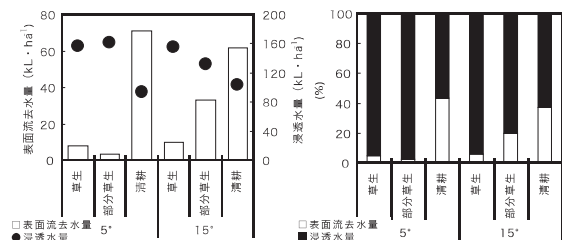


図4 低降雨強度時の表面流去水量・浸透水量とその割合

表1 有意性の判定 (低降雨強度時)

有意性	草生法 傾斜 交互作用	リン流出量			
		流出水量	浸透水量	リン酸態リン	懸濁態リン
		** ^z	**	n. s.	**
		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

z:**は1%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし.

2. リン濃度およびリン流出量

表面流去水中のリン酸態リン, 過硫酸カリ分解リンおよび懸濁態リン濃度に, 有意な差は認められなかった(表2). リン酸態リンおよび懸濁態リン流出量は, 両傾斜角度ともに草生区と部分草生区で少なく, 清耕区で最も多かった(図5). 草生区における懸濁態リン流出量は清耕区の9%であり, 部分草生区でも23%に軽減されていた.

表2 低降雨強度時の表面流去水中のリン濃度

傾斜	草生法	リン酸態リン(a)	過硫酸カリ分解リン(b)	懸濁態リン(b-a)
		($\text{mgP} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mgP} \cdot \text{L}^{-1}$)	($\text{mgP} \cdot \text{L}^{-1}$)
5°	草生	1.2	2.6	1.4
	部分草生	0.4	0.9	0.6
	清耕	0.6	1.7	1.2
15°	草生	0.2	1.4	1.2
	部分草生	0.2	1.5	1.3
	清耕	0.2	1.6	1.4
有意性	草生法	n. s. ^z	n. s.	n. s.
	傾斜	n. s.	n. s.	n. s.
	交互作用	n. s.	n. s.	n. s.

z:n. s. は有意差なし.

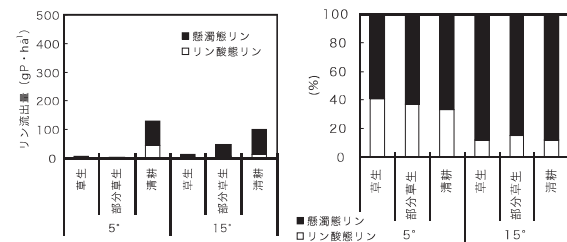


図5 低降雨強度時のリン流出量とその割合

[事例2]

1. 表面流去水量および浸透水量

表面流去水量は, 両傾斜角度ともに草生区で少なく, 清耕区で多い傾向にあった(図6). 浸透水量は草生区で最も多くなった(図6). しかし降雨強度が低い場合(事例1)と異なり, 表面流去水量と浸透水量は, 草生法による有意な差は認められなかった(表3).

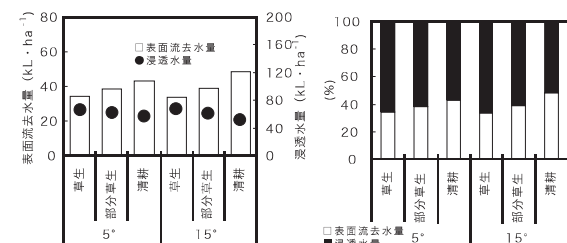


図6 高降雨強度時の表面流去水量・浸透水量とその割合

表3 有意性の判定 (高降雨強度時)

有意性	草生法 傾斜 交互作用	リン流出量			
		流出水量	浸透水量	リン酸態リン	懸濁態リン
		n. s. ^z	n. s.	n. s.	**
		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

z:**は1%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし.

2. リン濃度およびリン流出量

表面流去水中の過硫酸カリ分解リンおよび懸濁態リン濃度は、低降雨強度時とは異なり、草生区・部分草生区が清耕区よりも有意に低かった(表4)。リン酸態リン濃度は、傾斜15°の方が傾斜5°よりも低かった(表4)。

懸濁態リン流出量は、両傾斜角度ともに部分草生区と草生区で少なく、清耕区で最も多くなった(図7)。草生区の流出量は、清耕区の16%に軽減され、部分草生区でも清耕区の21%となった。懸濁態リンが全流出リンに占める割合は、草生区よりも清耕区で高い傾向にあった(図7)。

表4 高降雨強度時の表面流去水中のリン濃度

傾斜	草生法	リン酸態リン(a) (mgP・L ⁻¹)	過硫酸カリ分解リン(b) (mgP・L ⁻¹)	懸濁態リン(b-a) (mgP・L ⁻¹)
5°	草生	1.4	3.3	1.9
	部分草生	1.0	3.1	2.1
	清耕	0.8	10.5	9.7
15°	草生	0.4	1.7	1.3
	部分草生	0.3	2.3	2.0
	清耕	0.2	6.5	6.3
有意性	草生法	n. s. ^z	**	**
	傾斜	*	*	n. s.
	交互作用	n. s.	n. s.	n. s.

z: **は1%、*は5%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし。

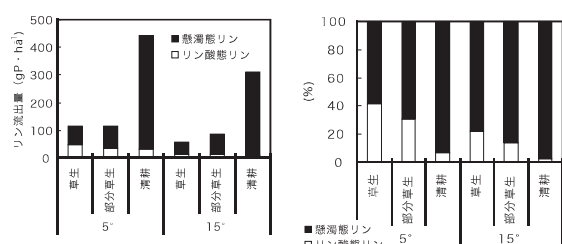


図7 高降雨強度時のリン流出量とその割合

IV 考 察

発生する表面流去水量は、低降雨強度時において処理区間で有意な差が認められた。草生区の場合、草生栽培によって表面流去水を一時的にせき止めることで、流去する速さが緩やかになり、その間に地下に浸透していく割合が高いものと推測された。また下草の根によって土壌の浸透性が向上している効果も表面流去水量が少なくなった要因の一つと考えられる。一方、高降雨強度時では処理区間で有意な差が認められなかった。降雨強度が高いと、草生区であっても土壌中の水の浸透速度を上回る降雨が地表面に供給されるため、清耕区と比較して浸透性に明らかな差がなくなり、表面流去水量に有意な差が認められなかったものと思われる。

表面流去水の懸濁態リン濃度については、低降雨強度時において処理区間で有意な差が認められなかった。土壌表面を直接叩く雨滴全体のエネルギーが小さいと、清耕区であっても土壌流出が起こりにくく、草生栽培によ

る表面流去水中のリン濃度抑制効果が現れにくい状況であったと考えられる。一方、高降雨強度時では処理区間で有意な差が認められた。土壌表面を直接叩く雨滴全体のエネルギーが大きいため、土壌粒子の破壊と流出が清耕区で特に多くなり、懸濁態リン濃度が高くなったと思われる。

徳留⁶⁾は、自然降雨の運動エネルギーは、降雨強度(mm/30min)の1.16乗に比例して大きくなると報告しており、岩本³⁾は、最大降雨強度(mm/10min)の2乗に比例して表面流去水が増大することを示している。雨滴が地表面を直接叩くことが少ない草生区では、土壌粒子の破壊と流出が少なく、高降雨強度時の懸濁態リン濃度が清耕区よりも低くなったと推測する。懸濁態リンの全流出リンに占める割合が、草生区よりも清耕区で大きい傾向にあったが、これは懸濁態リン濃度が清耕区で高かったことによるものである。

調査した2つの事例について、傾斜角度による差は認められなかった。表面流去する水の速さは、15°の方が5°よりも速いと考えられるが、花野⁴⁾は表面流去水量において、斜面長が短いと傾斜による著しい違いはみられないことを報告している。今回の調査事例では斜面長が1.8mと短いため、傾斜間で表面流去水量の違いが認められなかったものと考えられる。

今回調査を行った低降雨強度と高降雨強度の2つの事例を比較した場合、両事例ともに表面流去水の発生率は、清耕区でそれぞれ40%、45%となり、明らかな差は認められなかった。徳留⁶⁾は、最大降雨強度(mm/h)が10mm/h以上で、裸地の場合、降雨の60%以上が表面流去することを報告しているが、降雨強度と表面流去水率の関係は、各地域の研究報告により大きく異なる¹⁾³⁾⁸⁾。降雨強度と表面流去水発生率との関係については、今後土壌の透水性や土壌水分含量等の物理性調査を含めたデータの蓄積により検討する必要があると思われる。

高降雨強度の場合、草生の有無により懸濁態リン濃度に違いが認められたが、溶存態のリン酸態リン濃度に関しては、違いが認められなかった。また、降雨強度が異なると、懸濁態リン濃度に差がみられる傾向はあったが、リン酸態リンに関しては明らかな差が認められなかった。河川における水質成分の流出負荷特性に関する研究⁷⁾から、懸濁態成分は流量の増加に伴い、濃度が増加し、溶存態成分は濃度が減少もしくは一定である傾向を示すことが報告されており、本試験のような農地から直接発生する表面流去水の場合でも同様の傾向を示す結果となった。農地における各物質の流出機構に関しては、河川での流出機構とは多少異なる点もあると思われるた

め、河川における流出負荷特性を参考にしながら、慎重に検討する必要がある。

今回示した2つの事例はいずれも草生栽培導入後4ヶ月以内の状態で行ったものである。リン流出軽減効果は、降雨条件や園地の傾斜角度の他に施肥の有無や草生栽培される下草の生長により変化すると考えられる。特にナギナタガヤは初夏に枯死し倒伏するため、季節によりリン流出軽減効果が異なる可能性がある。そのため今後は、それらの要因がリン流出軽減効果に与える影響を調査するとともに、より様々な降雨強度について調査する必要がある。

V 摘 要

傾斜地柑橘園における草生栽培の懸濁態リン流出軽減効果を検討するため、園地に草生区・部分草生区・清耕区を設けて、草生栽培が懸濁態リン流出に及ぼす影響を2つの異なる降雨条件下で調査した。低降雨強度時の表面流去水量は、草生栽培で最も少なく、降雨量の5%しか流去水が発生しなかった。清耕栽培では、降雨量の40%が表面流去した。懸濁態リン濃度は処理区間で有意な差がみられなかったが、草生栽培の懸濁態リン流出量は、表面流去水量の減少によって清耕区の9%に軽減された。高降雨強度時の表面流去水量は、処理区間で有意な差は認められなかった。しかし草生栽培の懸濁態リン流出量は、懸濁態リン濃度の減少によって清耕栽培の16%に軽減された。以上のことから、低降雨強度では表面流去水量を減少させ、高降雨強度では懸濁態リン濃度を減少させることにより、草生栽培が懸濁態リン流出軽減に効果があることを確認した。今後は、降雨・土壌水分条件と流出防止要因との関係について、更に検討する必要がある。

VI 引用文献

- 1) 花野義雄・石原 暁・井田 明(1996)：傾斜ライシメーターを使ったミカンおよび茶園の土壌流出と窒素流出の測定。土肥誌67(2), 194~197.
- 2) 井上隆信(2003)：非特定汚染源の原単位の現状と課題。水環境学会誌26(3), 131~134.
- 3) 岩本保典(1987)：大分県飯田高原の火山灰土傾斜畑における土壌侵食の実態と発生要因の究明。土肥誌58(4), 414~419.
- 4) 鈴木克拓・足立一日出・関口哲生・吉田修一郎・中野恵子・加藤英孝(2005)：亀裂の発達した転換畑における懸濁物質およびリンの暗渠流出。土肥誌76(1), 43~47.

- 5) 谷山一郎(2002)：環境負荷を予測する モニタリングからモデリングへ(長谷川周一編著,日本土壌肥料学会監修), 博友社(東京), 127~142.
- 6) 徳留昭一(1988)：四国地方傾斜耕地における主要土壌の受食性と土壌浸食(水食)発生予察法に関する研究。四国農試報50, 1~148.
- 7) 山本浩一・二村貴幸・坂野章・日下部隆昭・末次忠司・横山勝英(2003)：濁度計による懸濁態栄養塩負荷推定に関する研究。河川技術論文集9, 515~520.
- 8) 吉川公規・高橋哲也(2005)：草生栽培によるカンキツ園の土壌および施肥窒素の流亡効果。静岡柑試研報34, 7~13.