水稻根活力診断

广东省科学技术情报研究所

一九六五年九月

276207

15.61
226

水稻根活力診断*

山田登

湿田干田化（湿田即排水不良的稻田，旱田即排水良好的稻田—编者注），灌排水合理化，稻作上水浆管理的重要性，近来引起极大的重视。水浆管理应从根的研究着眼，通过水稻根际的改良，促进根系发达，以建立其相应的技术。

在这种情况下，最近关于根的研究有显著的进展，对水稻根的形态和生理生态都有新的发现。但到目前已取得的资料尚未能确立水稻根活力诊断技术，以下所述仍不完整，有待今后研究。

一、各种条件对根的影响

根对水分养分的主动吸收，根的各种生物化学合成和生长，都需必要的能源。从较多的生理学研究证明：地上部呼吸作用所生成的三磷酸腺甙有一部分能源供给根部，主要能源是由根呼吸作用供应的。根活力是吸收、合成、生长的综合表现，理论上可用测定根呼吸作用的强弱，来判定根的生理活动的大小。以这一观点来探讨各种环境条件对水稻根呼吸作用的影响。

（一）硫化氢的影响

松中（1961）提出水稻根细胞原生质的线粒体中，以细胞色素酶系占优势；通过特殊阻抑剂的研究，用分光光度法也确定细胞色素酶的成分。稻田、马场（1960）通过光可逆一氧化碳阻抑剂的实验，分蘖期水稻根全呼吸量30%是细胞色素酶系所起的作用*。无机养分的吸收亦是细胞色素酶系呼吸作用的重要结果。钾吸收量70%是由细胞色素酶系所决定的。其他养分吸收与细胞色素酶系的顺序关系为钾＞硅酸＞氨态氮＞水。与硫化氢所引起的结果相同。

硫化氢是细胞色素氧化酶的阻抑剂，水稻根受硫化氢的影响，呼吸强度下降，同时养分吸收也受障碍。

（二）各种有机酸的影响

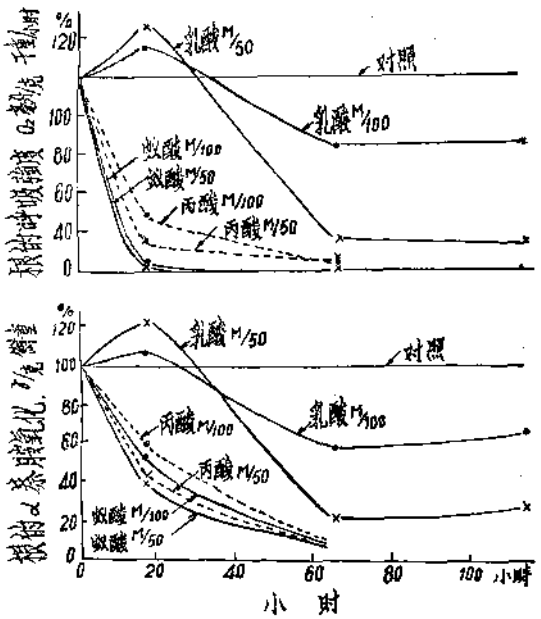
已知水田土壤中有机质分解所生成的低级脂肪酸类对水稻有毒害作用。用蚁酸、乳酸、丙酸等处理，根呼吸强度的变化如图1所示，$^{1}/_{50}$M及$^{1}/_{100}$M浓度根呼吸强度显著降低；与之平行下降的，根对α-萘胺氧化量也减少，氮的吸收量也显著减退。其中过氧化氢酶活性曾明显低下，但过氧化物酶活性则几乎不受处理的影响。

---

* 原载戶苅义次、天辰克已共編“最新稻作診断法”下册，第二篇第九章。

* 吉田、高桥（1960）通过阻抑剂实验，認为“分裂带”鉄系呼吸酶，“伸长带”銅系呼吸酶較大；相见藤卷通过組織化学研究，認为“分裂带”有細胞色素氧化酶分布。

图1　各种有机酸对根呼吸和α-萘胺氧化的影响（山田、太田，1958年）

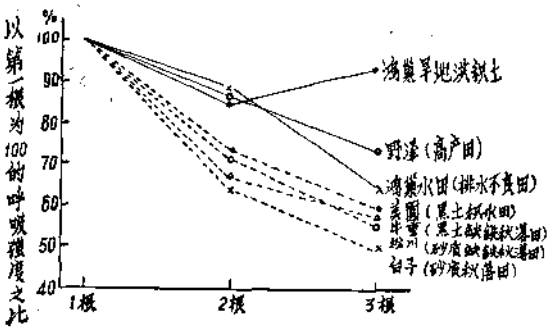


（α＝万分之一克，下同一译注）

（三）土壤种类与根呼吸强度

采用鸿巢旱地土壤（火山灰洪积层），鸿巢水田土壤（半湿田），长野试验场土壤（干田、高产田），千叶县白子土壤（砂质，缺铁秋落田），千叶县东金市土壤（腐殖质过多的湿田），埼玉县上尾土壤和美园土壤（腐殖质过多的湿田），埼玉县牛重土壤（缺铁，秋落田，黑泥田），长野县野泽土壤（高产田），进行盆栽，各生育期调查，鸿巢旱地土壤，长野土壤，野泽土壤的根很少产生障碍，新根和老根的呼吸强度差异少，但东金、美园、白子等秋落田，湿田土壤，新根的呼吸强度高，老根的低。如图2所示，条件好时，随着根的生育，能维持较高的生理活力，条件差时随着根的生育其活力急速下降。根据生育不同，根活力的变化，与后述不同节位分级法极为一致。其法依根的不同生育状态加以分级，各级的生理活力，用呼吸强度和α-萘胺的氧化力加以表示。

图2　土壤种类与不同节位根呼吸强度的关系（太田、山田，1961年）



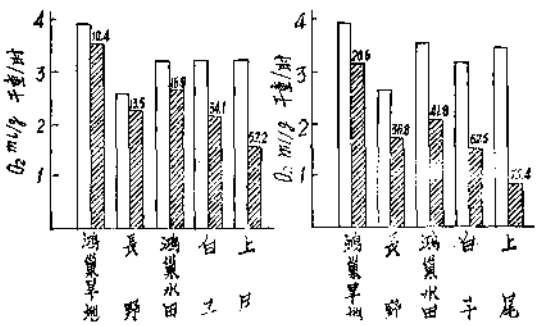
注：1.品种：水稻农林29号，调查时期：幼穗形成期

2.一级根为最新的根，三级根为老根，二级根在两者之间

掘取生长于上述数种土壤的稻根，以硫化氢处理，由于土壤种类不同，呼吸强度受障碍的程度亦异，如图3，鸿巢旱地土壤、长野土壤因硫化氢而致氧的吸收阻抑率约10%，上尾、白子土壤分别为50%、34%。

图3　硫化氢对生长于各种土壤水稻根呼吸的影响

（山田、太田，1958年）



注：1.斜线为硫化氢处理区，其上数字为呼吸阻抑率（%）

2.品种：水稻农林29号，7月25—26日测定。处理区：硫化氢50 p.p.m.溶液处理24小时。

如表1所示，一般新根受硫化氢影响最大。如白子、上尾土壤，新根呼吸受阻，全

部根呼吸受阻亦大。亦有新根呼吸受阻较大，全部根仍能維持较高水平的。其原因是硫化氢对根呼吸障碍的程度与地上部有关，而根对硫化氢的抵抗力也受土壤种类的影响。

表1　硫化氢对新老根的影响

（山田、太田，1958年）

处理	对照区				处理区			
根的分級	1	2	3	4	1	2	3	4
氧的吸收	1.20	1.78	1.76	1.29	0.59	0.96	1.65	1.33
二氧化碳的呼出	1.14	1.73	1.59	1.16	1.12	0.94	1.63	1.08
过氧化氢酶活性	3.35	2.42	0.42	0.62	0.03	0.98	1.48	0.83
过氧化物酶活性	387	387	422	520	255	355	326	480

注：1．8月16日测定。

2．硫化氢浓度約30 p.p.m.。

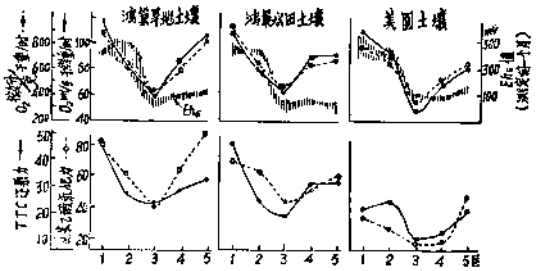
3．根的分級，1为新根，4为最老根。

（四）土壤还原的影响

在土壤中加入淀粉或粉碎的濾纸，造成人为的强还原状态，其水稻根的呼吸强度明显下降，但亦有高的情况。图4为将三种土壤分别造成：干旱、饱和水、及淹水的状态，使在出穗期间处于还原及强还原的条件下，从而测定根的呼吸强度，α-萘胺氧化力亦找出其与测定前一月期间土壤Eh值的关系；从干旱状态至淹水状态Eh值下降，根呼吸强度，α-萘胺氧化力及TTC* 还原力亦降低。但还原状态、强还原状态，Eh值比淹水状态为高，根呼吸强度和活力亦强。这种Eh值较高的现象，称为还原状态的回复期，随即有多数新根发生。图4中的第五、第四区在生育过程中为强还原状态，出穗期有较多的衰老根，同时亦有较多的新根。这些现象在田间亦可看见，如图5，排水不良田根呼吸强度比干田及排水良好的田低，但在生育后期则相反。

在强还原状态下，有根呼吸强度高的异常现象。如图6，新根在强还原状态下，呼吸强度明显增大。这些在强还原状态下伸长的根，根内氮素含有率高，这是呼吸强度高的原因之一。其次，在强还原土壤中，还原物质渗入根部，测定呼吸还原物质要消耗一定的氧，其结果比较仅为根本身所呼吸的需氧量偏高。将这些根在浅流水中放置24小时，再测定呼吸强度时，还原区的根仍显示极高的呼吸强度。这种现象可能与特殊基质的氧化磷酸化过程有关。

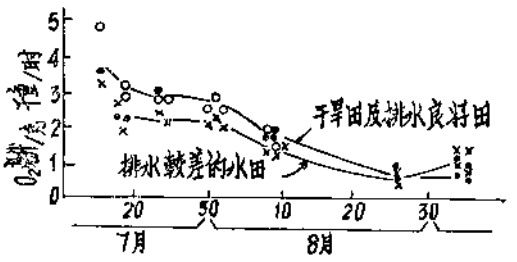
图4　土壤还原程度与根的生理活力



注：图下数字代表各試驗区，1区为干旱状态，5区为还原状态

图5　半湿田与排水田根呼吸强度

（山田、太田，1958年）



注：场内指关东东山农业試驗场

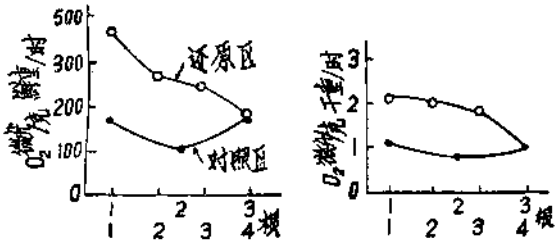
•干旱的水田

○场内排水田

×场内排水不良的水田

* TTC即三苯基四唑化氯的簡写，以下同。

图 6　强还原对根呼吸强度的影响



注：1根为新根，3及4根为老根。

（五）田水渗透的影响

采取千叶县松尾村有机质过多的湿田、埼玉县美园村极湿田、群马农业试验场高产水田的表土和底土，放于面积1米^2，深60.6厘米（内径）的有底盆，并栽培水稻。出穗前一月期间，在保持淹水状态下，通过地下渗透每天减少水层3厘米。

渗透处理的效果因土壤种类而异，除群马土壤外，其余各种土壤，通过处理都增加"新根"（水稻生育中期以后发生的高节位的新根，见不同节位分级法一项。——译者注），老根的枝根数亦增加*，有促进枝根发生，并防止其脱落的作用。根的呼吸强度，α-萘胺的氧化力常显示增强，与此对应有效茎率及穗数均增加，实粒率及千粒重亦见增加。松尾町的土壤增产最高，达17%，根呼吸强度提高最明显，生育后期防止单株光合成量的减退和提高干物生产效果亦显著。至于穗的磷酸含有率，在茎叶中硅酸的含有率高时，此种成分的吸收亦显示增加。

测定结果，呼吸强度增加，α-萘胺的氧化力相应增加，但TTC的还原力反而下降，二者变动不一致。

表2，中期排水晒田与渗透处理比较，前者根的活力大为增加，可见排水晒田比之仅仅是使水单纯的变动对根有较大的影响。

表 2　中期晒田对根呼吸的影响

（山田，未发表）

不同节位根分级	1	2	3
以对照为100，中期晒田的呼吸比率	170	135	165

（六）地下水位的影响

埼玉县中川水系工事事务所、关东东山农业试验场水田研究委员会、农业技术研究所生理遗传部生理第一科，在中川水系整个流域选定27个地点，共同进行水田地下水位不同年度的观测，土壤、水稻生育、出穗期根系、产量等调查，研究地下水位与根活力的关系。

调查地点，水田出穗前40天期间的平均地下水位，由地面上10厘米至地下25厘米，灰化层的位置由地面至地下100厘米。各年度地下水位变动的结果分析，出穗前40天期间的平均地下水位，可代表稻作期间的地下水位。

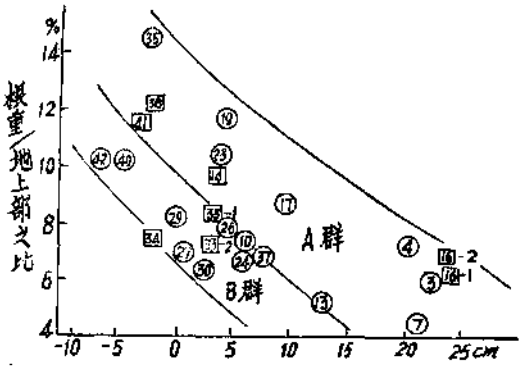
由于地点不同，根重/地上部重之比值为4—14%，地下水位愈低，其比率愈小。但地下水位相同，灰化层低（即冬季能晒干的水田），其比率也小（图7）。其关系为地下水位愈低，单位面积的根重愈小，而地上部重也不因地下水位低而有增大。盆栽试验，土壤Eh不同，出穗期、成熟期的根重/地上部重的比值，有Eh愈低则愈大的现象（图9）。地下水位高，土壤还原性强，单位面积根重虽能保持，但地上部重小。在条件不良时，随着生育，根活力显著低下，但不断有新根发生加以补偿，总的根量还多*。

* 1.上田(1958年)通过灌溉水的地下渗透，地面下0—20厘米及40厘米以下根量增加，细根多，无窝根。

* 2.森(1956年)从干田与黑泥质湿田的根系比较，有根重/地上部重的比值常常是干田低，湿田高的报告。（一坪=29.751平方尺，下同——譯者注）

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

图7　地下水位与根重/地上部重比值的关系（中川水系现坊调查）



注：1.○为普通栽培，□为早植栽培，数字为地点編号（图11相同）

2.A群与B群相比，地下水位相同，灰化层的位置高。

图8　地下水位与根重的关系（中川水系现坊调查）

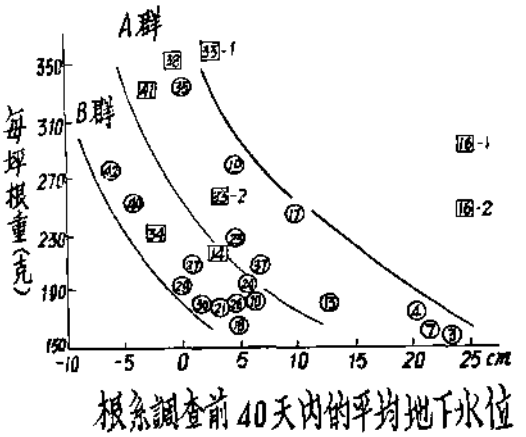
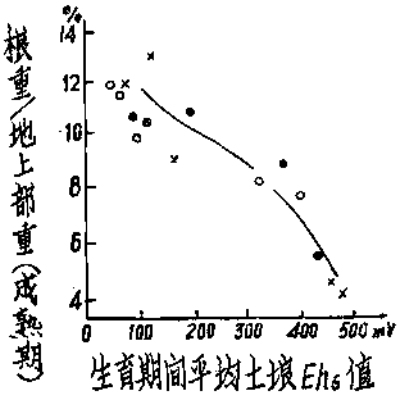


图9　土壤还原程度与根重/地上部重的关系（著者　未发表）

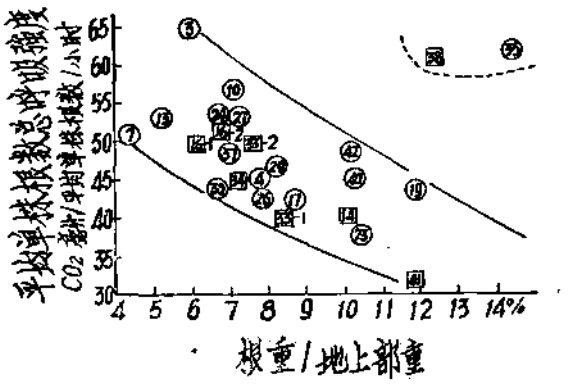


注：•鸿巢旱地土壤，○鸿巢水田土壤，×美园土壤

图8，右侧16—1，16—2，二点根量多较为特殊，这是深耕、增施堆肥的田（1反五石以上，1反＝1.4875市亩，1日石＝1.805石，下同——译注）。根重/地上部重之比值，一般地下水位低的小。但单位面积根重，即使地下水位相同，高产田比其他田大。

图10，科平均根呼吸强度（二氧化碳/总根量/时）地下水位愈低的都愈高，根重/地上部重之比值也愈高，极湿田呼吸强度异常高的有两个地点。

图10　根重／地上部重之比值与根的呼吸强度的关系（中川水系现坊调查）



在品种、栽培法或栽培时期不同的地点进行调查，不见有明确的关系，仅有一定的倾向。调查时，同受台风为害影响的，产量与地下水位关系不明显，但单位面积总颖花数，地下水位愈低的愈多，因此根呼吸强度愈大，总颖花数都愈多（图11）。

以上是27个地点的总的情况。在一些地点中，选定耕作者和品种相同，以有无暗渠排水设置五组水田进行比较，如表3。除例3外，有暗渠设置的地下水位均低。除例5外，有暗渠设置的根重/地上部重之比值小，根呼吸强度高，根α-萘胺的氧化力亦高，TTC的还原力则反低，结果与上述渗透处理实验一致。

图11　根呼吸强度与单位面积总颖花数的关系（中川水系现坊调查）

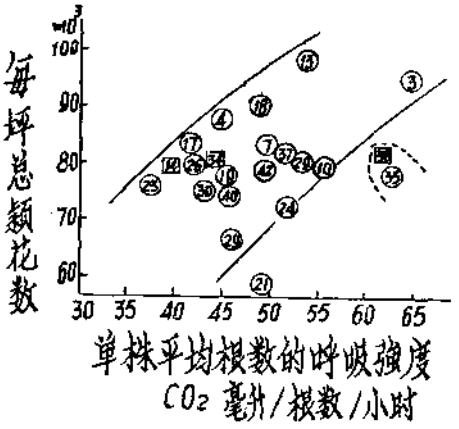


表3　同一地点暗渠对根活力的影响（中川水系现坊调查）

例	暗渠有无	调查根前40天期间地下水位(厘米)	灰化层深度(厘米)	品种	出穗期月、日	根重/地上部%	科平均根呼吸强度	α-萘胺氧化力	TTC还原力	一坪颖花数($\times 10^3$)	结实率%	产量(精糙米)(石/反)
1	无	3.5	80	金混	8.20	8.3	40.0	520	285	—	—	4.11
	有	24.3	90	〃	8.20	6.5	49.3	728	184	—	—	4.15
2	无	3.5	80	〃	8.20	7.3	50.0	545	302	—	—	3.39
	有	24.3	90	〃	8.20	6.9	51.0	758	146	—	—	3.20
3	无	3.5	100<	农林35	8.29	10.2	37.5	685	236	77.2	78.2	2.60
	有	4.4	90	〃	8.29	7.7	41.8	910	275	80.1	68.0	2.41
4	无	2.6	70	农林25	8.23	7.2	43.8	898	125	78.4	75.9	2.75
	有	5.7	85	〃	8.30	6.8	52.1	1,031	127	72.0	60.3	2.42
5	无	0.5	80	〃	8.26	7.0	52.3	1,120	250	80.6	69.1	2.41
	有	9.8	88	〃	8.27	8.7	41.4	1,160	216	83.7	59.7	2.40

二、根活力诊断的根据

综合以上各种实验，关于根活力诊断，可作如下考虑：

（一）在相同土壤、栽培同一品种对根进行各种处理，其活力的变化，一般可以通过测定呼吸强度、α-萘胺氧化力加以直接诊断。但在强还原状态下，会引起呼吸强度增强的现象，不能据呼吸强度高以断定根活力也强。迭氮化钠（即NaN_3）及二乙基氨荒酸对还原状态根的呼吸阻抑率低，又关于末端氧化酶与非金属酶活性变化不大的实验结果，更从呼吸实质的解析，也不能以呼吸强度的大小作为表示根的活力的根据。藤原、饭田（1956）研究结果，水稻、大麦根的呼吸，缺钾区比供钾区高（表4～表5）。因此品种、栽培法不同时*，仅根据根呼吸强度，α-萘胺氧化力的大小，进行根活力的比较仍有一定问题。

*早秧与水秧比较，地上部根均以早秧的呼吸强度为低（单位干重及单位氮素的呼吸强度），移植本田后则差异缩小。

表 4　　缺鉀对呼吸强度的影响（藤原、饭田1956年）

氮素形态	鉀的有无	有无增加基质	呼吸强度氧毫米³/毫克干重/30分	
			冠	根
NO_3—N(50p.p.m.)	+K(K_2O50p.p.m.)	——	1.0	1.4
	−K	——	1.1	1.6
NH_4—N(50p.p.m.)	+K(K_2O50p.p.m.)	——	0.8	2.3
	−K	——	1.1	3.3
NO_3—N(50p.p.m.)	+K(K_2O50p.p.m.)	0.9%葡萄糖	1.7	2.9
	−K	〃	1.9	3.7

注：供試植物：大麦幼苗

表 5　鉀的浓度对呼吸率的影响

（藤原、饭田1956年）

培养液中K_2O浓度	20小时后呼吸强度氧毫米³/克鮮重/15分
200PPm	0.8
50	0.9
5	1.1
2	1.2
0	1.2

（二）随着根的生育，呼吸强度、α-萘胺氧化力的降低，根的活力迅速减退，总的活力也低。上述不同节位根分级法，在活力诊断上可加以运用。

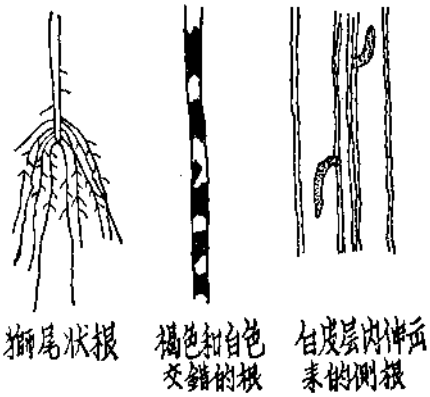
（三）据上述各种实验，根的呼吸强度与α-萘胺氧化力的关系极为密切。α-萘胺氧化的机制及其测定法以后详述，其与呼吸测定不同，不要高价的装置，测定简易，可作为活力诊断的实用方法。

对根的TTC还原力、过氧化氢酶及过氧化物酶活性加以探讨，前者以后详述；过氧化氢酶活性对条件变化不显示一定的反应；过氧化物酶活性，老根比新根高，不能作为生理活力指标。

（四）根形态的变化

从不同节位根的分级法，不同生育状态的根加以分类，由于根的老化，其生理活力急速降低，而在外部形态上也有较大的变化。如较老的根着色浓，枝根脱落，常有黑根或腐根产生，表皮组织脱落，根呈褐色与白色相间的斑状，或产生如狮子尾状根等各种特异根*（图12）。森（1954年）发现的特异根，枝根的发生，不是贯穿皮层和表皮组织而出现于根的外部，而是在皮层组织内部伸长。在宫城县低湿的水田，常可观察得到，土壤氧气不足为其发生的诱因。这种情况肉眼较难看见，将光源置于根下面，用放大鏡通过透视便容易看出来。

图12　特异根的一些例子



相反，也有随着根的生育，其生理活力不见降低，新老根外部形态无大区别，有较多的枝根，呈新鮮颜色。

其次为“表面根”问题。“表面根”是水稻生育中期以后发生的新根，其呼吸强度，α-萘胺氧化力强，对维持水稻生育后半

* 森（1954年）認为硫化氢处理有狮子尾状根生成，根受硫化氢毒害而坏死的部分，其上部常簇生侧根。在水耕液氮素浓度过高，或酸性过强时亦有同样的根出现。

期营养起到决定性作用*。上述渗透、中期晒田处理，其根量都显著增加，这是发生“表面根”的结果；在一定情况下，老根活力衰退同“表面根”的补偿，其总的活力反为增加。北海道或东北地方水稻根系不见发达，与品种的早熟性有关，其生理特点有待进一步的研究。

以上各方面的研究，对根的生理活力的判断，可以提出一些根据。

土井、山谷（1953年）以水稻幼苗为试验材料，研究“吐水”*现象与根活力关系的结果：“吐水”速度在地下部温度上升时增加，在一定温度以上则减少，高温便停止。在2—3℃的低温也停止。地下部缺氧、硫化氢、氰化钾、或哥罗芳等处理，“吐水”减少或停止。而低浓度过氧化氢液、生长素（α-萘乙酸、β-吲哚乙酸）或适当浓度各种盐类处理，“吐水”速度则明显增加，“吐水”现象是受根原生质活力所支配的*。

马场（1958年）以鸿巢、前桥、松尾土壤进行排水实验，研究水稻不同生育期“吐水”量〔毫升/克(叶身鲜重)〕的变化与活力旺盛的新根（以后马场、稻田分级的Ⅰ及Ⅱ根）对总根数比例的关系，指出“吐水”量与根呼吸强度变化是平衡的，“吐水”作用可作为表示根活力大小的指标之一。

在方法上，采取“吐水”的叶面积应否要有规定，“吐水”量的合理表示法等仍要进一步探讨；至于不掘取根系，仅就地上部的观察，以表示根活力的方法，有一定的可能性，但仍有待今后研究的发展。

三　根活力診断方法

（一）根的分級

测定水稻根的呼吸强度、α-萘胺氧化力、TTC的还原力，以判断其生理活力时，常遭遇的困难是，取出的根群如何根据长相进行分级，以取出有代表性的样本问题。根群长相因土壤种类、施肥方法、灌排水等的不同而有较大的差异，如根形、根色（看硫化铁现黑色的程度，看氧化铁褐色的浓度）木质化程度、枝根发生多少、腐根的轻重等都有不同，一科稻根的分级非常复杂。

一科水稻的全部根系是可以进行测定的，但多数情况下，常根据一定标准，将根先行分级，取出一定根样本才测定的。关于根分级的标准有如下几种：

（1）山川、岸川分級（1957年）

A根：新根，长约10厘米，根端粗大，无枝根发生，即有发生也是短而少的，根白色。

B根：一定程度伸长，根端大而白色，活力旺盛。根端长比20%，除根端外，根色白带淡黄褐色，枝根活力强。

C根：完全伸长，根端变细，白色而富有活力，根端长比约10%，根色近根端一半为白带黄褐色，近基部一半呈褐色，部分枝根污褐色，半透明。

D根：完全伸长，根端细小，枝根仅在根端发生，根污褐色，枝根大部分为污褐色，半透明，活力低。

E根：形态与D根同，根为污褐色至黑褐色，半透明，全无活力。

上面的分级是以生育在土壤中的水稻根为依据的。以水耕栽培的水稻为对象，随着发根后天数，观察根外部形态变化，结果如

* Alberda（1953年）认为有些根伸长到地面或地面上，以吸收氧气，在还原土壤中生育的，这些作用更为重要。森（1956年）报告生育后期近地面（地面下10厘米）多有新根发生，在生产上有重要意义。

* “吐水”：有經驗的老农以稻苗叶尖早晨水滴大小作为壮秧选择的标准

表 6 。新根的根端附近直径大，发根后17天达最大，枝根达最长，以后随着根的老化，根端逐渐变小，枝根的发生从基部移向根端。根端长比是新根大、老根小。根端长比可作为判别新老根指标之一，其最适应用时间在发根后17天以前，其后可根据枝根在根端发生情况。

A根、B根、C根的总数及其在总根数中所占的比率可表示根活力大小，以一科全部根进行测定时，根干重与氧吸收量有一定的关系。

表 6　　新老根及其外部形态（山川　岸川1957年）

新老根（发根后天数）（日）	根长（厘米）	根基部直径（毫米）	根端直径（毫米）	根端长（厘米）	根端长比（%）	枝根长（毫米）	根干重（毫克）
5	5.0	0.628	0.591	3.86	77.2	0.5	2.3
8	12.4	0.623	0.489	3.30	26.6	2.4	3.5
11	18.5	0.617	0.407	2.64	14.3	3.9	4.8
14	21.6	0.638	0.303	2.06	9.5	4.8	5.9
17	20.9	0.615	0.264	0.09	0.4	5.4	5.6
20	20.3	0.635	0.261	0.13	0.6	5.3	5.6
23	21.0	0.648	0.270	0.10	0.5	5.4	5.7
26	17.9	0.636	0.251	0.16	0.9	5.2	4.1
29	15.6	0.633	0.240	0.09	0.6	5.1	3.5
32	14.9	0.626	0.230	0.19	1.3	5.1	3.6

注：1.根端直径是在离根尖约3毫米处测定。

2.根端长比是从根尖至侧根发生处的长度对全根长的比率。

（2）木戸、武舍分級（1954年）

A根：大而纯白，长1厘米以下，无枝根。

B根：白色，伸长1厘米以上，无枝根。

C根：根有一半以下着色，无枝根。

D_1根：根有一半以上着色，根端长1厘米以上，有枝根。

D_2根：根一半以上着色，根端长1厘米以下，有枝根。

E根：全部着色浓，机能衰弱，有枝根。

以上为盆栽、土培根分级的结果，各种根的呼吸比率如下：

根的分级	A	B	C	D_1	D_2	E根
呼吸比率	100	79	45	14	7	8（%）

并指出A、B、C、D_1、为新根，D_2、E为老根，据观察各种根比率，因灌水和排水而异。也注意根端伸长情况，与山川等根端长比相同。

（3）馬场、稻田的分級（1958年）

Ⅰ根：乳白色，无枝根，乍看为新根，根长约10厘米以下。

Ⅱ根：根端有40—60%与Ⅰ根相同，基部为黄色或带淡褐色，长度多为10—20厘米。

Ⅲ根：根端2—5厘米与Ⅰ根同，但较细，其余部位多生枝根，一般为黄褐色，至赤褐色，长度比Ⅱ根大。

Ⅳ根：现污褐色，基部有枝根脱落痕迹，根端仍有枝根，但掘取时容易脆断，已黑化腐散，呈透明。

根据黑化程度不同，再将Ⅲ分为$Ⅲ^-$、$Ⅲ^+$、$Ⅲ^{++}$、$Ⅲ^{+++}$，$Ⅲ^-$不黑化、$Ⅲ^+$、$Ⅲ^{++}$、$Ⅲ^{+++}$的黑化部分各占全根的0—30%、30—60%、60%以上。

各生育期，据以上标准分级并进行各种根的呼吸强度测定，根内无机成分含量调

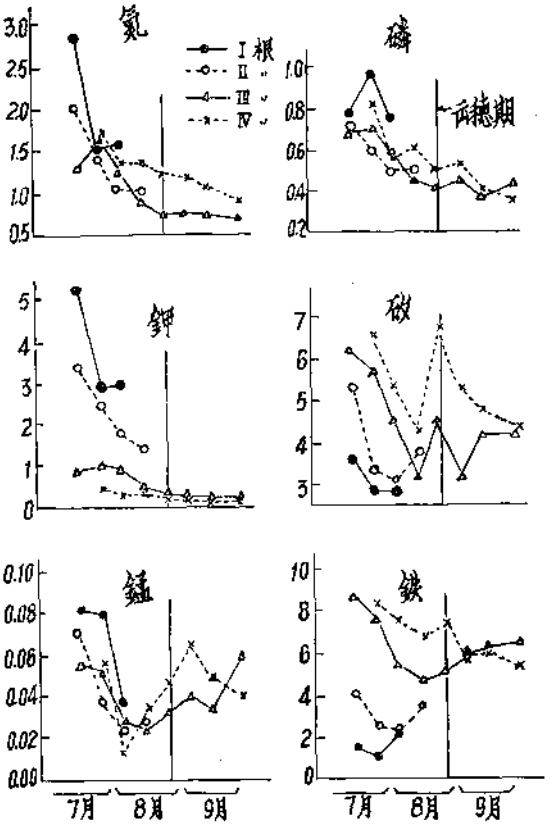
查，从Ⅰ根→Ⅳ根，现规则性变化*，如根内钾的含有率Ⅰ→Ⅳ根顺序低下，铁及硅酸含有率反为增加（图13）。根单位干重的呼吸强度Ⅰ→Ⅳ根顺序降低（表7）。细胞色素氧化酶活性Ⅰ→Ⅳ根顺序下降，而抗坏血酸氧化酶活性则反为Ⅰ根低，Ⅱ、Ⅲ根高、（表8）。

表 7　新老根呼吸强度

（马坊、稻田，1958年）

呼吸	根的分級	土培						水培	
		7月1日	11日	19日	29日	30日	8月1日	8月13日	26日
单位鮮重氧微升/时	Ⅰ	226	241	247	219	244	165	227	240
	Ⅱ	200	123	233	151	179	120	171	190
	Ⅲ	177	123	168	206	219	199	289	198
	Ⅳ	—	—	—	185	216	236	—	144
单位干重氧微升/时	Ⅰ	2.70	4.27	4.76	4.03	4.26	3.02	2.10	2.93
	Ⅱ	1.25	2.26	3.11	2.57	2.75	1.89	1.44	1.53
	Ⅲ	0.74	1.40	1.09	1.98	2.18	1.91	2.58	1.83
	Ⅳ	—	—	—	1.51	1.90	1.80	—	1.61

图13　新老根无机成分含有率（干物%）（马坊、稻田，1958年）



注：纵座标各数字为干物的含有率（%）

表 8　新老根一些氧化酶活性（马坊、稻田，1958年）

实验	1			2			3			4		
根的分級	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅲ
細胞色素氧化酶活性	159	73	11	137	103	94	163	53	115	149	117	107
抗坏血酸氧化酶活性	206	202	251	210	324	194	114	56	81	28	37	93

注：1.实验：（1）早植栽培，分蘖期测定。（2）普通栽培，移植前测定。（3）普通栽培，移植后10天测定。（4）普通栽培，移植后19天测定。2.酶活性以氧微升/克鮮重/时表示。

根长5—6厘米以内。

（4）东海近畿农試水稻栽培研究室分級

将根大致分为新根、伸长根、定型根、次老朽根、老朽根等，各种根的特征为：

新根：发生不久的白色根，全无枝根，

* 每天发根数及健全的根端量（Ⅰ、Ⅰ、Ⅲ根尖2厘米合計量）的变化，与氮鉀吸收速度（每天吸收量）极为一致，其他无机成分吸收速度变化較少。

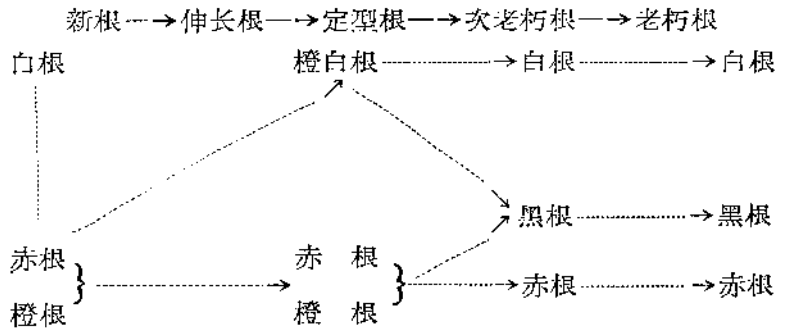
此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

伸长根：根端呈新根状，基部疏生枝根，着色。据着色程度分黄白色根为白根，淡茶色根为橙根，赤褐色根为赤根。

定型根：伸长定型的根，密生枝根。据着色程度更分赤褐色的为赤根，赤褐色而略微带淡茶色的为橙根，橙根的淡茶色再略微带白色的为橙白根。

次老朽根：定型根逐渐腐朽而成，位于定型根与老朽根之间，轻拉不断。根色再分级，暗赤褐色的为赤根，如上项橙白根更白一些的为白根，一半以上变黑的为黑根。

老朽根：腐败软化，失去机能的根，轻拉易断，中柱及表皮指压则扁平，依根的着色再分为赤根、白根及黑根。根色可用比色表分 0 — 6 级，便于比较对照鉴定，1 及 6 级与日本色彩研究所编色名录的浊色篇47号及34号相当，随着根的生育，各色根的变化如下：



这些根，以其对水溶氧的消耗量加以比较，愈接近新根，其消耗量愈大。根内的组织调查，随着根老朽化，外皮、厚膜组织分不清楚，皮层完全脱落，内皮、中柱鞘有木质化。

以上为森（1957年）、冈岛（1960年）的分级法，其分级标准主要根据如下事实：

1）最新根无枝根，枝根随根的生育从基部发生，逐渐及于根端。无枝根发生的根端在外态上与新根相同，但根端逐渐变短，直径变小。根老化时，枝根从基部起逐渐脱落，并向根端发展。

2）新根白色，随着生育变为赤褐色，一般老根着色浓，且呈污斑。前述(4)例，生育中期根有退色现象。

3）老朽根无弹性，易脆，轻压扁平，组织破坏。

在经验上，新根粗健，水分充足；老根无弹性，缺水。在分级时可逐根对照上述分级标准凭主观加以判别，并将新老根顺次分出，进行呼吸强度测定。

（5）不同节位分級法（太田、山田，1961年）

本法与前各法根本不同，不根据形态来分级，而以根着生节位进行分级。藤井（1957年）提出此法的原理，认为根与叶相同，其出现、伸长从下节位及于上节位，且有一定的周期性。片山的同出叶理论是：叶和分蘖的出现有一定规则性，叶和根的出现也有一定的规则。叶有一定周期次第出现，根的出现节位为最上叶下数第3叶的节位，从下而上，周期与叶同。在一定时期的稻科，愈下节位的根愈老，上节位出现的根为新根。

藤井（1957年）提出不同节位根的差异，如表 9 。最初出现的种根大，鞘叶节根最小，其后较上位的根逐渐增大，到一定的节位（本例为第10节）达最大，再后其上位节根急剧变小。据各节位根单位干重氧的消耗量（水溶氧的消耗量）测定，愈是上位节根、愈新根其氧消耗量大。主茎各节位根的

出现角度如图14，愈是上位节出的根，其角度渐次加大。本例特别是第10节、第11节的根，呈水平伸展，根端也不向下，枝根异常发达呈网状，与其他根有显著不同，称为“表面根”。

由于不同节位的根在外部形态有所不同，相应根的中柱及皮层细胞膜厚度、維管束数、导管的大小等也有不同。以上所说仅是主茎的根而定的，致于分蘖根则稍有不同，但其倾向大体上是一致的。

不同节位根分级法，先掘取稻科，将根洗净，不切除地上部，放入水中，逐茎从最上节向下调查，分上位3节、中位3节及下位节，并观察茎发生的根群，进行分级。节位的判定，用刀片将茎纵向剖开，从内节的痕迹而加以区分。

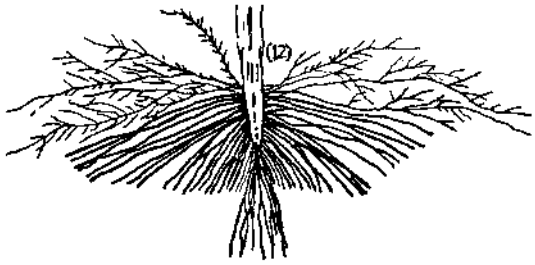
本法的优点，完全依据根的生育状态按群分级，而不受人的主观影响，调查时也节省时间和劳力。前述几种方法依形态，色泽而分级，一般一科有根500条以上，调查时花费时间、劳力都较大，调查时人的主观成份也较大，不易准确。

把一株各茎的根分为上位3节、中位3节及下位节，如图15进行。不分开主茎和分蘖，从最上发根节向下划分。

根的研究，在掘取根时花费较多劳力和时间。稻田（1960年）制出稻根采取器，比较简单，又能取到有代表性的根，现场调查，要采取较多根的，此器甚为方便*。还可以将不同土层的根进行分级，在研究上也很为便利。采取器一边为15厘米，另一边为9～21厘米范围，可配合科行距加以调整，为4个长方形铁板组成，掘取时仅掘取半科稻根，将其放入金属网制成的洗根器，在水中振盪，流洗土壤而得根。

图14　不同节位根的出現角度

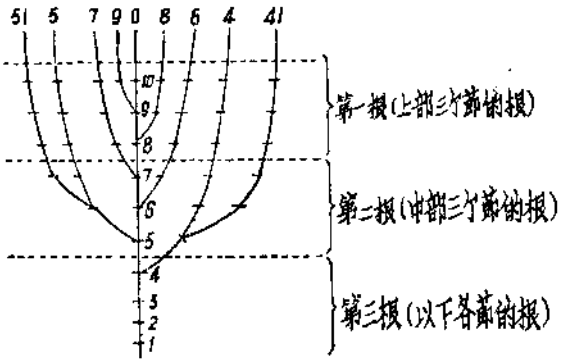
（藤井1957年）



注：品种：朝凤　　时期：出穗期

图15　不同节位根分級示意图

（从最上发根节起3节为一级）



* 过去根系調查，是用鉄制根系掘取器（闊6厘米，长30厘米，深30厘米，以稻科为中心，打进土壤，分层切断，測定根重的分布）。但根系分布調查主要目的是測定一科根量和其生理活力，則本样本采取器甚为方便。

表 9　　主茎各节位根的差异（藤井，1957年）

主茎节位	O	C_1	C_2	1	2	3	4	5
根直径（毫米）±	0.64 0.055	0.38 0.041	0.53 0.041	0.65 0.055	0.71 0.088	0.74 0.115	0.78 0.119	0.79 0.214
根　数	1	5.3	6.3	8.0	10.1	11.8	13.8	14.9
水溶氧消耗量	—	—	—	—	—	—	3.12	3.47
根的出现角度 ±	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

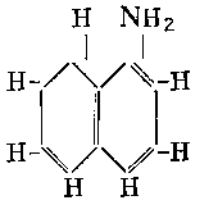
主茎节位	6	7	8	9	10	11	12
根直径（毫米）±	0.93 0.179	0.95 0.218	0.94 0.239	0.03 0.258	1.36 0.416	0.95 0.246	0.65 0.086
根　数	20.8	21.6	22.0	21.3	23.3	22.6	18.4
水溶氧消耗量	3.62	3.56	3.91	4.89	7.55	—	—
根的出现角度 ±	54.4 10.4	60.2 10.5	63.5 10.9	77.8 10.2	82.7 10.8	95.2 16.2	— —

注：1.O＝种根，C_1＝鞘叶节，C_2＝不完叶节。　2.水溶氧消耗量＝毫升/100毫克，根干重（叶龄13.2）。　3.根出现角度在出穗期調查。

（二）α-萘胺氧化力的測定

（1）α-萘胺比色定量法

α-萘胺的构造式如右图。



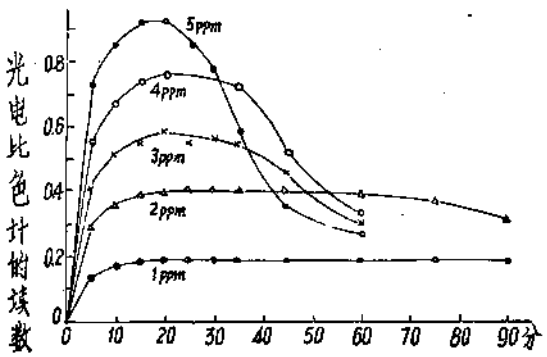
受水稻根氧化而生成氧化萘胺赤紫色沉淀。

向来已知α-萘胺能为作物根部氧化，故考虑作为表示根的氧化力。通过α-萘胺来测定根的氧化力，是以氧化生成物沉积于根表面时着赤紫色的程度来判定的。坂井、吉田(1957年)以α-萘胺的定量测定，以比较水稻"熟黄苗"（秧苗在低温弱光后接着高温强光，地上部和地下部生理作用不协调，所引起的生理现象——译注）的氧化力。其方法将含有α-萘胺溶液，加以1％ Sulphanilic acid（Sulphanilic acid 1克溶于含有30％乙酸溶液100毫升）和100p.p.m.亚硝酸纳溶液，用光电比色计比色，以光密度求出α-萘胺的浓度。

（2）变色时間的經过

图16所示，α-萘胺浓度（比色液中浓度）2p.p.m.以上，因变色时间不同而光密度变幅大，对比色定量不适当，2p.p.m.以下浓度，加以变色剂（1％Sulphanilicacid和100p.p.m.亚硝酸纳），在30分—1小时都可进行比色，故比色液中α-萘胺的浓度以p.p.m.以下为宜。

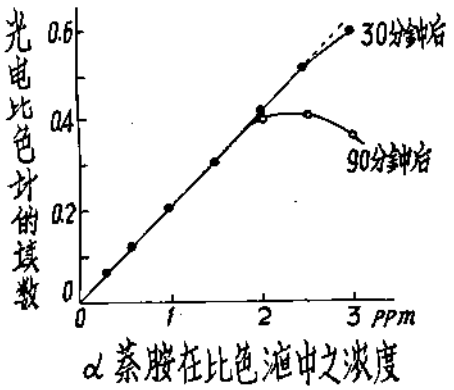
图16　比色液中α-萘胺浓度与变色时間經过(21℃)（山田，太田，1958年）



（3）浓度与光密度的关系(标准曲綫）

用1—3 p.p.m. 浓度，以求浓度与光密度的关系，如图17。

图17 α-萘胺浓度与比色計的光密度的关系（20℃）



浓度约在2.5p.p.m时，浓度与光密度呈直线关系，容易依据光密度以求得其对应的浓度。光电比色计使用的滤光片50号比53号适合，比色时间为变色开始后30分钟。

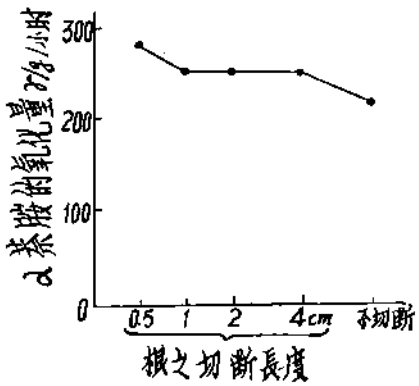
（4）水稻根的 α-萘胺氧化力的測定法

将进行測定氧化力的根用水充分洗净，然后轻轻包以滤纸，以除水分。采取一定量根（鮮重1—2克）放入100毫升塑料瓶中（或玻璃瓶），再加入20p.p.m.α-萘胺溶液50毫升，再加以振蕩。然后吸取这些溶液2毫升于試管中，并加蒸餾水10毫升，再加1%Sulphanilic acid液1毫升、100p.p.m.亚硝酸纳液1毫升，进行振蕩，最后加蒸餾水使总容量为20毫升，以供比色。这为开始測定值，经过一定时间后又以同样試液比色，其測定值比开始測定值小。其比开始測定值減少的浓度即为α-萘胺氧化量，但实际上不加根的α-萘胺溶液本身也会起氧化的，应设无根空白区加以較正。

（5）根切断长度的影响

在著者研究室，将不同节位根加以分级，切成2厘米长，放入桶中用水充分冲洗，再取一定量供試验用。把根切短可以減除采样的誤差，但根对α-萘胺的氧化力則受影响。图18所示切断根氧化力高，切断0.5厘米，氧化力急速升高，切断1—4厘米，氧化力也比不切断高，其数值較稳定。普通以切断2厘米为好。

图18 根切断长度与α-萘胺氧化量的关系



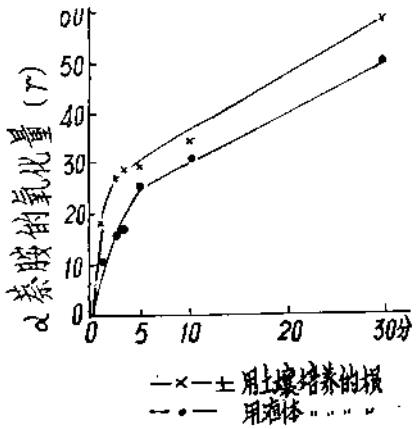
（6）供試根量

用20p.p.m. α-萘胺50毫升时，可以根2克鮮重供試；氧化力高、活力旺盛的根1克已足。

（7）开始測定时間

将根浸于α-萘胺溶液，要多久才开始測定的问題。图19系取水培根和土培根浸后的氧化变化状况。最初5分钟，氧化急激。根的表面附有鉄质，浸后即起强度的氧化，这是鉄质所引起的化学变化，还不能真正代表根对α-萘胺氧化力，故以浸后10分钟开始測定为好。

图19　水稻稻根对α-萘胺氧化时間經过（初期）

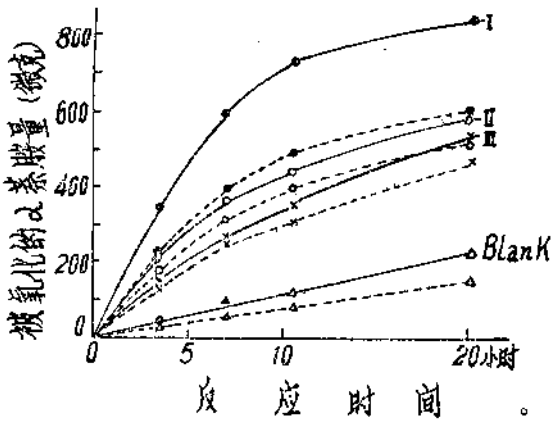


注：－—×——土培的根
　　－－•—水培的根

（8）　振荡的影响

如图20，将试瓶塞好置于振荡机进行振盪，比之静置的有明显的差异。振荡 2 — 3 小时才进行测定。

图20　振荡对根氧化α-萘胺的影响（未发表）



注：1.实綫为振荡处理，虚綫为无振荡处理。
　　2.Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ根分别为白色而短的新根、长而枝根多的根、长而枝根少的根。

（9）根对α-萘胺氧化的机制

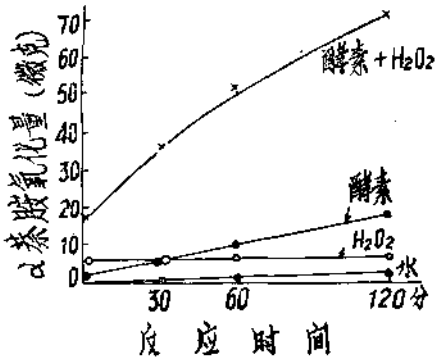
将根加少量石英砂和蒸餾水磨碎，用离心机分离得半透明上清液，即为水稻根抽出液，这种液本身有轻微氧化作用，但加过氧化氫时，则氧化作用极强，如在过氧化氫存在的条件下对α-萘胺显示强氧化作用。过氧化氫的氧化作用为时极短，即加液后的一瞬间进行，过后则无作用，但有根抽出液存在时，其氧化时间进程则完全不同。

其次，收集较多量的水稻根，加石英砂和0.2M乙酸缓冲液（pH5.5）磨碎，通以气体，以离心机分离而得上清液，在80%丙酮中沉淀，而成干燥粉末，再加乙酸缓冲液、0.3～0.8硫酸胺饱和液，进行部份盐析，加水通过透析袋进行透析，复在丙酮中沉淀而得丙酮粉，则显示强过氧化氫酶活性。在过氧化氫存在时对二价鉄、对苯噻嗪、对苯二酚等都有氧化力。这由pH5.5的0.2M乙酸缓冲液所得粗酶液，如图21，与前述水稻根抽出液相同，对α-萘胺有氧化作用，加过氧化氫时，其氧化作用很强。稻根在过氧化氫存在情况下对α-萘胺的氧化能力，与含某种酶有关，推想这种酶能否是过氧化物酶呢？

据松中（1960年）从水稻所得部分纯化的过氧化物酶，和森田从萝卜所得结晶过氧化物酶，用以研究其对α-萘胺氧化的机制，本物质氧化产生的呼吸代谢过程在过氧化氫存在下所引起过氧化物酶的变动，其等速阶段显示过氧化氫生成速度的大小。

研究还指出：水稻根除了α-萘胺外，对七叶灵（从七叶树科植物、马栗树的皮及叶取得——译注）、联苯胺、亚甲蓝亚鉄、硫化氫、硫化鉄等都有氧化作用，幼苗根对七叶灵氧化力，与品种的秋落抵抗性有一定的系统，对硫化鉄氧化力与根腐抵抗性也有联系。

图21　从根取得粗酶液对α-萘胺的氧化



（三）TTC的还原力

TTC在活细胞中能还原变为三苯基甲臜红色物质。水稻根由于TTC还原反应，细胞原生质起质壁分离现象。活细胞经过加热、酒精、福尔马林等将细胞杀死对TTC不起反应。受伤细胞（异常原生质分离）反应弱，健全细胞、新细胞反应强。新根基部能现强反应，但老根根端一部分则不示反应。生长停止的老朽根的根端也不现出反应。

相见、藤卷（1958年）对水稻根各部分所含物质及酶活性分布进行组织化学调查，脱氢酶活性以新根比全部根强，在“分裂带”的老根其活性亦强，一般老根则弱，老化根、死亡根则无法验出。TTC由于脱氢酶作用而现还原，因此通过TTC对脱氢酶的反应可作为判定根健全与否、新老、生死等的指标。

在各种生育条件下的根，其TTC还原力、呼吸强度、α-萘胺氧化力等的关系，在水稻生育前半期完全一致，生育后半期其关系不明显。中期晒田、水渗透处理，对根呼吸强度、α-萘胺氧化力是显示增加的，但TTC还原力则相反是下降的，其原因尚未明了，今后有待研究统一加以说明。所以TTC的应用现在还有一定的限制，在生育初期可利用为测定根活力的指标之一。

在组织化学上，α-萘胺的氧化、TTC的还原对根所起作用的部位加以比较，两者有显著差异，前者的分布与过氧化物酶分布是一致的，后者的分布则完全不同。TTC还原力可表示新根生育程度。

相见(1960年)提出TTC反应测定方法，要注意如下几点：

1）从田间掘取根时不应有损伤，并要洗净。

2）茎叶部要切去，茎叶对根与TTC还原反应有一定妨碍，必须除去。

3）根全部放入大瓶内勿使屈折，用pH7的下述的反应液注入，把根全部淹浸。反应液：1%TTC，0.4M琥珀酸钠液，0.1M磷酸盐缓冲液，以1：5：4的比例混合而成。

4）将置有反应液和根的容器放在约37℃的黑暗处进行2—3小时反应。TTC见光会出现淡赤色光化TTC诱叶体，因此须在黑暗处进行，除去光的影响。

5）一定时间后取出，观察呈色反应，活力强的根，赤色反应亦强。

除TTC外还有Tetraphenyl Ditetrazolium Chloride和Dianisole bis-tetrazolium Chloride青等。前二者比较，用切片在细胞内显示脱氢酶反应时，以TDC较适合，用肉眼以判定根的活力时，TTC在组织内渗透性强。TDC反应呈紫色，TTC则现赤色，在观察上容易识别。

根在乙基乙酸中磨碎（加少量石英砂于乳钵中）有赤色物质。自乙基乙酸中溶出。可以比色方法求出。

（四）呼吸强度测定

以瓦布格呼吸计测定呼吸强度的方法，一般实验书中都有详细介绍，故从略。根呼

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com