

土壤—根系微区养分状况的研究

III. 水稻根际氮素的变化*

钦绳武 刘芷宇

(中国科学院南京土壤研究所)

植物根系吸收性能与土壤养分、水分和温度等环境条件有着密切的关系,同时又影响着近根微区土壤中养分的迁移和有效性。近年来在这一方面有了不少进展^[1]。在本项研究的第 II 报^[1]中,我们曾对棉花等旱作根际钾的亏缺与富集及与土壤条件和作物种类的关系进行了初步讨论。但是,根际氮的状况除了从微生物的角度做了一些工作外,对植物根系吸收过程中氮肥的亏缺与补给,以及影响范围的论述还很少。Harmsen 和 Jager^[6]在旱作根际土壤中曾对氮、碳的含量进行了分析,并与根外土壤作过比较,认为近根区存在富集现象。但是,由于试验是全量分析的结果,因此只能归结为近根土壤中有微生物和某些生物残体的聚集,不能了解有效氮的动向。

本文着重研究水稻根际肥料氮的状况及其与植株吸收能力、生长期间温度条件和土壤体积的关系,并用冰冻切片法分离根不同距离微区土壤的氮含量,同时对研究方法的某些条件进行了试验。

一、材料与方 法

在土培条件下研究根际养分环境在方法上存在的最大困难是根系—土壤界面的区分和根际土壤的采集。为此,我们采用了集束平面根与标记土块接触的方法进行试验。

1. 集束平面根的培育: 水稻种子在室内催芽,当长出一条种子根时,将其放置在有尼龙网架的 3 公升盆钵上,用 1/4 浓度的 Espino 营养液进行水培育苗。营养液每 3—4 天更换一次。培育一个月左右,水稻根系约长 15 厘米。于试验前两天,将上述植株换入蒸馏水中饥饿两天,选取生长健壮,根系发育正常、整齐的植株 30 株,使其根系并排在一起形成宽 4 厘米,长 13—15 厘米的集束平面根。

另一种培育方法是用有机玻璃做成一个漏斗形框架,大小为 $4 \times 13 \times 0.5$ 立方厘米,在漏斗口上放入尼龙网,密集地播种 30 颗露白的水稻种子,连同框架放入上述营养液中培育。水稻根系都通过漏斗颈向下生长,一个月后,可得定形的集束平面根(图 1)。同时也可在上述漏斗形有机玻璃框架四周用 300 目尼龙筛网围住,加入未施肥料氮的试验土壤,吸湿后,播入 30 颗已发芽的水稻种子,保持在湿润的条件下培育,可形成密集根层。

2. 土样的制备: 供试土壤为湖积物发育的赭血白土。其有机质含量为 2.68%,全氮 0.165%,速效磷(P) 9.1ppm, 代换性钾(K_2O) 9.1 毫克/100 克土。土样磨碎后过 100 孔筛。称取一定量土样,置于平坦的容器中,铺成厚度为 2 厘米的一层,加入土重的万分之一标记($^{15}NH_4)_2SO_4$ (丰度 13.3%)。

* 本工作中全部 ^{15}N 均由本所技术室质谱组测定,谨此致谢。



图1 集束平面根培育图

Fig. 1 Culture of dense root plane

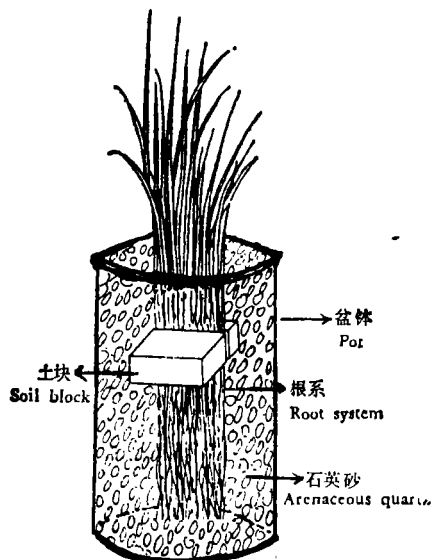


图2 集束平面根与标记土块接触培育示意图

Fig. 2 Diagram of dense root plane in contact with soil block labelled by ^{15}N under culture condition

并事先将其溶解在土重 30% 的蒸馏水中,溶液均匀地滴入土壤。此时土壤中肥料氮浓度为 100ppm。湿土样品在室温下晾干,再次粉碎过筛待用。

将上述土肥混合均匀的土壤装入体积为 $2 \times 4 \times 4$ 立方厘米的长方形有机玻璃盒内,盒的两头是开口的,以便与外界土壤和根系相通。盒内土壤容重为 1.1 克/立方厘米,均匀吸湿。

将制备好的土块,在和根系接触的界面上贴上一层能使养分与水分自由通过,而根系不能穿透的隔膜。这样根系—土壤的接触界面为 2×4 平方厘米。然后将两块土块在距根节下 5 到 7 厘米处对称地紧贴在平面根两侧(图 2),然后放在盆钵中按试验要求加入石英砂或施入等量未标记氮肥的土壤,在温室内生长培育。

3. 土样的冰冻切片: 植株在盆钵中生长 6—18 天后,将有机玻璃盒和土块一齐取出,立即放入液态氮中迅速冷冻。由于有机玻璃盒冻缩后会自动散裂,从而可获得完整的冰冻土块。然后按要求用改装的 202—1 型轮转式切片机切成厚为 1 毫米的切片,切下的每层土样分别放在小容器中晾干,磨细。用开氏定氮法,以硒—硫酸铜为催化剂,硫代硫酸钠、水杨酸为还原剂,进行全氮测定。再通过 2HT-1301 型质谱计测出 ^{15}N 丰度,计算离根不同距离土壤切片中肥料氮含量。

4. 根系—土壤界面间隔膜的选择: 一般的作物二级侧根繁茂,并有根毛,生长过程中新生的侧根会伸进土块内部,根—土界面不易区分。为此,必须在根—土界面间放置一层隔膜。这种隔膜既能使养分和水分自由通过,又可阻止植物根系和新生的侧根穿透而进入土块。试验比较了几种可用的隔膜,其中一种是尼龙绸(尼龙 6,孔径小于 50 微米)或 300 目的尼龙筛网,分别采用单层和双层两种处理。另一种是由硝酸纤维素和醋酸纤维素制成的混合纤维素脂,孔径为 1.2 微米。集束平面根与加入 $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的土壤在不同隔膜存在下接触生长 6 天。从图 3 可以看出,存在于水稻平面根和土壤界面间的三种不同的隔膜处理,它们对水稻根系吸收根际土壤中肥料氮的变化趋势近乎相同。但无隔膜的对照由于试验中有部分根伸进了土块内部,因而氮素消耗的绝对量略有差异。在离根各距离中都只相差 10% 左右。这表明采用一层尼龙绸、二层尼龙绸和微孔膜做隔膜均不影响根系对其周围土壤养分的吸收利用。由于禾本科作物根的直径平均约为 0.03 厘米,根毛直径约为 0.015 厘米,都大于尼龙绸和

表 1 隔膜对肥料氮的吸附试验

Table 1 Adsorption of fertilizer-N by diaphragms

隔膜材料 Diaphragm material	全 氮 含 量 (%) Content of total nitrogen(%)			理 论 值 Theoretical value
	浸在 (NH ₄) ₂ SO ₄ 溶液中 In (NH ₄) ₂ SO ₄ solution	浸在 KNO ₃ 溶液中 In KNO ₃ solution	浸在蒸馏水中 In distilled water	
尼 龙 绸 Nylon cloth	11.59	11.60	11.62	12.38
微 孔 膜 Microporous membrane	0.28×10 ⁻²	0.51×10 ⁻²	0.10×10 ⁻⁴	0

微孔膜的孔径。 因此,这两种隔膜材料都能阻止根系混入根际土块。

将含 ¹⁵N 的土块在一层尼龙绸、双层尼龙绸和微孔膜作为界面的情况下自由扩散,则测得的自由扩

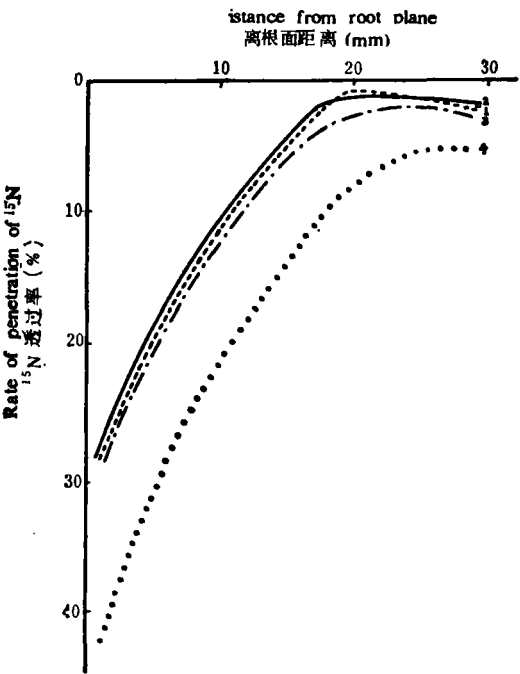
散量分别为 0.323, 0.319 和 0.330 微克 ¹⁵N/厘米·天。 可见这三种隔膜处理对肥料氮自由扩散的影响是类似的。

此外,为了澄清尼龙绸和微孔膜对肥料氮有无吸附作用,分别将等面积的尼龙绸和微孔膜浸泡在 500 毫升含 100ppm 氮的 (NH₄)₂·SO₄ 和 KNO₃ 溶液中,以蒸馏水的处理作空白对照。6 天后取出,用蒸馏水冲洗 5 分钟,然后用开氏法测定全氮含量。结果见表 1。

尼龙绸 为 聚-ω-己 酰胺 ($[-CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2C(=O)NH-]_n$), 分子式中氮含量为

12.38%。 但混合纤维素脂组成的微孔膜,本身并不含氮。结果表明,在试验过程中尼龙绸和微孔膜本身对肥料氮没有吸附作用,不会影响根—土界面上氮素的分布。

此外,试验还表明,水稻和玉米用一层尼龙绸作隔膜,在 20 天培育期中根系不会穿透隔膜。然而大麦、小麦、黑麦草等旱作作物,如用一层尼龙绸作隔膜,经一星期以上培育,根系会透过隔膜进入土壤内部。但用微孔膜为隔膜,在 20 天培育期内均未观察到有根系穿透。如果用孔径为 4 微米的微孔膜,通透性可能更好。



- 1. 二层尼龙绸 Double layer nylon cloth
- 2. 一层尼龙绸 A layer nylon cloth
- 3. 1.2μm 微孔膜 Microporous membrane with pore diameter of 1.2μm
- 4. 无隔膜 No diaphragm

图 3 三种隔膜对根系吸收根际土壤中肥料氮的影响
Fig. 3 Effect of three diaphragms on uptake of fertilizer-N by root system from rhizosphere soil

二、试验结果

(一) 水稻根际全氮量与肥料氮量的变化趋势

水稻平面根在与土壤接触 6 天, 12 天, 18 天不同生长时间里, 根际都存在着明显的氮素亏缺区。这种氮素的亏缺主要表现在新施入土壤的肥料氮的减少(图 4)。土壤全氮的变化很小, 近根面的最大亏缺率都小于 10%, 相邻层次之间只相差 1—2%, 达不到统计上的显著差异。但是施入土壤中的 $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 其 ^{15}N 测定结果表明, 近根表面土壤中肥料氮含量比原有含量减少 30—75%, 肥料氮的亏缺百分数与离根面距离有规律地变化, 呈指数曲线, 其方程式为: $y = -74.60 + 12.38x^{\frac{1}{2}}$, $r = 0.984$ 。表明它们之间是正相关, 也即离根面愈近, 土层中肥料氮含量愈低, 亏缺率愈高。以后随着离根面距离增加, 亏缺率逐渐减小, 当距离达到某一限度时, 肥料氮含量接近原始土壤, 亏缺率等于零。但是, 10 毫米以内陡度最大, 近乎直线 ($y = -66.25 + 3.32x$, $r = 0.996$), 是根际氮素的主要吸收区。植株中一半以上的吸收量来自这一范围。在平面根对应两侧土壤中的这种变化趋势完全一致。

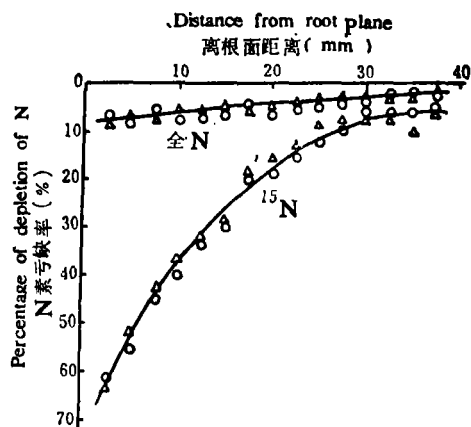


图 4 全氮和肥料氮的亏缺情况
(Δ , $\circ$ 表示两次重复)

Fig. 4 Depletion of total N and fertilizer- ^{15}N
(with two replications)

(二) 根际肥料氮的亏缺量和亏缺范围随着接触生长的天数而变化

根际土壤中肥料氮的含量与未种水稻的对照土壤相比较, 其亏缺量与亏缺范围随着土壤与平面根接触后的生长天数增加而增大, 即与植株的吸收量密切相关(表 2)。当平面根与土壤接触后 6 天到 12 天时, 植株吸收肥料氮中 ^{15}N 的总量增加 322 微克, 植株体

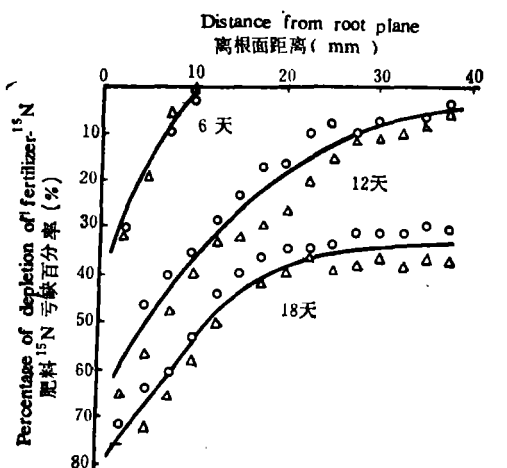
表 2 根际土壤 ^{15}N 的亏缺量与植株吸收 ^{15}N 量之间的关系

Table 2 Relationship between uptake of ^{15}N by plant and the depletion of ^{15}N in rhizosphere soil

培育天数 Time of cultivation (Days)	离根面不同距离土层内 ^{15}N 亏缺量 ($\mu\text{g}^{15}\text{N}$) Amount of depletion of ^{15}N in different distance from root plane				近根 10mm 土层内 ^{15}N 总亏缺量 Amount of depletion of ^{15}N in soil horizons within 10mm	植株吸收 ^{15}N 的总量(μg) Amount of ^{15}N adsorbed by plant
	0—2.5 (mm)	2.5—5.0 (mm)	5.0—7.5 (mm)	7.5—10.0 (mm)		
6	45.2	28.2	15.8	8.4	98	140
12	84.7	71.5	61.4	54.2	272	460
18	89.8	82.2	76.6	69.9	319	640

内 ^{15}N 的累积量提高 2.3 倍。这时,近根 10 毫米以内的土壤中 ^{15}N 亏缺量也增加了 174 微克,即 ^{15}N 含量在这一范围内减少 1.8 倍。而培育 12 天到 18 天期间,由于试验条件下可供氮的土壤体积小,使水稻生长受到限制,因而植株吸收肥料氮量增加幅度也较小,6 天内只增加 170 微克 ^{15}N ,提高 0.38 倍。同期间近根 10 毫米土壤中 ^{15}N 亏缺量也只增加 47 微克,减少 0.17 倍。但从绝对数量来看,培育 6 天的植株总吸收量与近根面 10 毫米范围土壤内总的亏缺数量值较接近,这表明 70% 的氮素来自这一范围。而培育 12 天和 18 天的处理,10 毫米内的供给量只占总吸收量的 59% 和 49%,也即 10 毫米以外土壤的补充量相应有所增加。因此,在一定条件下,接触生长天数越长,近根土壤内肥料氮素的降低速率有逐渐减缓的趋势。

氮素的亏缺范围如图 5 所示,培育 6 天、12 天和 18 天,求得土壤中亏缺范围的计算值和实测值相一致,计算值分别为 9.22, 37.1 和 81.6 毫米。上述不同培育期内,据计算近根面土层中肥料氮的最大亏缺率可达 49.9, 74.5 和 80.3%。当然,这里所指的亏缺范围和亏缺率都只有相对意义,仅是在一定条件下得到的结果。但是它们的规律性却指出水稻根际肥料氮的状况和可移动的范围。



$$6 \text{ 天 (6 Days)} \quad y = -49.77 + 16.39x^{\frac{1}{2}} \quad r = 0.996$$

$$12 \text{ 天 (12 Days)} \quad y = -74.35 + 12.21x^{\frac{1}{2}} \quad r = 0.996$$

$$18 \text{ 天 (18 Days)} \quad y = -80.31 + 8.89x^{\frac{1}{2}} \quad r = 0.946$$

图 5 接触生长时间对根际土壤中肥料氮亏缺的影响 (Δ , $\circ$ 表示两次重复)

Fig. 5 Influence of growth time of rice in contact with soil on depletion of fertilizer-N in rhizosphere soil (with two replications)

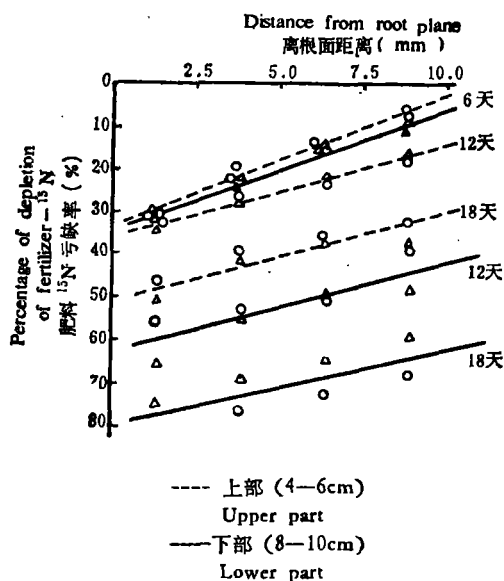


图 6 根系部位对根系吸收根际土壤中肥料氮的影响 (Δ , $\circ$ 表示两次重复)

Fig. 6 Influence of different parts of root on uptake of fertilizer- ^{15}N by roots in rhizosphere soil (with two replications)

(三) 根系部位的影响

试验分别将供试土壤在水稻根节下 4—6 厘米和 8—10 厘米处与平面根层接触。图 6 表明,随着天数的增加,上下两部位根际土壤中肥料氮含量的差异越明显。接触生长 6

天时, 上下部根际土壤肥料氮的亏缺率和亏缺范围基本相似。12 天时, 上下部根际土壤中肥料氮亏缺率在离根面 0—2.5 毫米土层中相差 27%, 在 7.5—10.0 毫米土层中相差 25%。而时间增加到 18 天, 这种差异继续增大, 上下不同部位的根际土壤中肥料氮的亏缺率在上述两层土壤中分别相差 30% 和 32%。其原因看来是由于试验条件下水稻正处于分蘖初期, 也是新生根频繁出生的时期。这时在 6 厘米以上主要是水稻上节位的新生分枝根。因此对氮素的吸收能力较强, 对根际土壤中氮素的亏缺量和亏缺范围的影响也较大。而 8 厘米以下, 则主要是下节位的种子根, 相对吸收能力要弱一些。试验曾测定与土壤接触的平面根层的干重, 结果表明, 上部 4—6 厘米处每平方厘米为 13.2 毫克, 8—10 厘米处则为 7.4 毫克。看来苗期水稻根系的形态和干物质重与氮素吸收也有密切关系, 并且也影响着根际土壤氮素的微域变化。

(四) 温度的影响

培育时期的温度对根际土壤肥料氮含量的变化影响很大。试验将土壤和平面根接触, 在不同温度下生长培育 6 天。结果表明, 平均温度 17℃ 时, 根际土壤中肥料氮的亏缺范围在 10 毫米之内, 离根面 2.5 毫米土层中的亏缺率为 34.1%, 10 毫米土层中为 2.7%; 而当温度为 27℃ 时, 肥料氮亏缺范围超过 10 毫米, 离根面 2.5 毫米土层中, 肥料氮亏缺率为 48.3%, 10 毫米土层中为 28.8%。两种温度下的差异极为显著(表 3)。

表 3 温度对根际土壤中肥料氮素微域变化的影响

Table 3 Effect of temperature on the variation of fertilizer-N in rhizosphere soil

离根面的距离 (mm) Distance from root plane	不同温度下根际 ^{15}N 的亏缺率 (%) Percentage of depletion of ^{15}N at different temperature	
	平均温度 17℃ Average temperature	平均温度 27℃ Average temperature
0—2.5	34.1	48.3
2.5—5.0	17.4	38.9
5.0—7.5	8.9	34.4
7.5—10.0	2.7	28.8

已知温度可影响水稻对养分和水分的吸收, 以及土壤中离子的扩散速率。但是在试验条件下, 亏缺范围和亏缺率随温度增加而增加, 表明温度对水稻根系吸收氮素的影响要比对土壤中有效氮素迁移的影响大得多。因此, 随着温度的增加, 供求之间的矛盾更为明显。

(五) 土壤体积的影响

本试验由于考虑到肥料氮的补给能力与亏缺区形成的关系, 所以在单位体积土壤中肥料氮含量相同的条件下, 以增大根系周围土壤体积来进行对比试验, 拟了解可供有效氮的容量大小对根际土壤中氮素的影响。处理分别为 128 和 256 立方厘米土壤。结果表明, 与水稻根系接触的土壤体积为 256 立方厘米时根际土壤内 ^{15}N 含量比 128 立方厘米

表 4 土壤体积对根际土壤中肥料氮亏缺的影响

Table 4 Effect of soil volume on the depletion of fertilizer-N in rhizosphere soil

离根面距离 (mm) Distance from root plane	土壤体积 128 (cm ³) Soil volume		土壤体积 256 (cm ³) Soil volume		亏缺率相差 (%) Difference of percentage of depletion of ¹⁵ N
	¹⁵ N 含量 ($\mu\text{g}^{15}\text{N}/\text{g}$ soil) Content of ¹⁵ N	¹⁵ N 亏缺率 (%) Percentage of depletion of ¹⁵ N	¹⁵ N 含量 ($\mu\text{g}^{15}\text{N}/\text{g}$ soil) Content of ¹⁵ N	¹⁵ N 亏缺率 (%) Percentage of depletion of ¹⁵ N	
0—2.5	4.69	63.4	6.28	49.7	13.7
2.5—5.0	5.91	52.6	7.44	40.4	12.2
5.0—7.5	7.00	44.0	8.33	33.3	11.3
7.5—10.0	7.77	37.8	8.86	29.0	8.8
30	11.5	8.2	11.4	8.7	—
原始土壤 Original soil	13.5		13.5		

时含量要高,亏缺率减低的幅度随离根的距离而减小,可以看出,土壤体积越小,离根面越近的土壤受影响越大,亏缺的氮素越多,随着离根的距离增大,这种影响渐次下降(表 4)。表明土壤供应容量直接影响着最靠近根面的土壤氮素供应状况。此外,亏缺范围在土壤体积大的处理中也明显减小。试验中两种处理亏缺扩展的距离可相差 10 毫米左右。显然,土壤供应容量对根际土壤中氮素的亏缺量和亏缺范围的变化都很重要。

三、讨 论

1. 关于土壤—根系界面两者之间的相互关系研究,曾用过多种方法分离微区土壤。如 Riley 和 Barber^[8] 在自然生长条件下根据根面上土壤粘着的程度区分根际内外,但它只能是一种粗略的区分方法。Bhat 和 Nye^[3] 则应用无根毛和无分枝的洋葱平面根与土块直接接触,又使供试植物受到很大的限制。此外,Helal 等^[7]还应用了隔层有机玻璃容器分区采样的方法等等。在这些工作的基础上,我们采用集束平面根与土壤界面间加入隔膜的方法研究根际养分状况。试验结果表明,可以得到有规律的变化,并且除了对氮素的研究之外,对钾同样得到很好的结果^[1]。隔膜选用微孔膜,尼龙绸和小于 300 目/时的尼龙筛网等。它们的孔径都小于禾本科根毛的直径^[4],但是都大于所有无机离子和水分子,以及一般的有机大分子化合物,如糖、有机酸、氨基酸等等。因此,适宜的隔膜置于标记土块与根系之间进行接触生长,可以使植株在较自然的土壤环境中生长,也可以放在大田条件下进行试验。

2. 水稻根际土壤中肥料氮的变化可以认为同时受到吸收和供应两方面的制约。然而两者中起主导作用的是水稻根系的吸收能力。因此,在本文的结果中凡是影响根系吸收能力的各种因素,如根系的生理年龄、根量、温度条件等都明显地影响根际土壤中肥料氮素的亏缺率和亏缺范围。而改善土壤供应强度和容量,增加可利用的土壤体积,则有助于氮的补给。但是,由于试验仅限于渍水条件下水稻的根际状况,而氮肥的施用又只为 NH_4^+-N 的形态。从已有的概念认为, NH_4^+-N 在土壤中的迁移机理主要是扩散作用,而 NO_3^--N 却有所不同。因此,不同的氮肥形态以及旱作条件下不同作物根际氮素状况看来

也可能不一样。

3. 当土壤中肥料氮的供应受到限制时, 可以看到, 氮的亏缺区能够延伸到离根面相当远的距离。表明土壤中肥料氮向根系的补给范围很大。相比之下, 根际有效磷的亏缺范围则小得多。已有的报道表明, 在粘质土壤上仅为离根面 1 毫米左右, 只相当于根毛的长度。在砂质土上最多也只扩展到 10 毫米以内^[2]。有效钾的亏缺范围则比磷要大^[3], 一般情况下与氮相近或略小。毫无疑问, 它们向根系方向的迁移, 很大程度上受到养分在土壤中扩散系数的制约。而它们在根际的亏缺区的大小则反映了土壤中某种养分向根系迁移的范围。而且, 由于肥料氮在土壤中亏缺区延伸较大, 因此, 可以认为在一定氮肥供应条件下, 水稻丛间较易出现氮亏缺区的重叠。由此看来, 如果单纯从植株可能吸收利用的范围考虑, 大田水稻氮肥的施用方法无论撒施, 穴施以及行间施用都能迁移到根面。当然, 为了避免土壤中氮肥的损失, 这一问题又应另当别论。

总之, 为了改善土壤养分的供应能力, 提高土壤养分的有效利用, 深入地了解根际土壤中各种养分的变化规律, 显得越来越重要, 有待从各个学科领域进一步开展试验研究。

参 考 文 献

- [1] 许曼丽, 刘芷宇, 1983: 土壤—根系微区养分状况的研究, II. 钾离子的富集与亏缺。土壤学报, 第 20 卷 3 期, 295—302 页。
- [2] Bagshaw, R., Vaidyanathan, L. V. and Nye, P. H., 1972: The supply of nutrient ions by diffusion to plant roots in soil, V. Direct determination of labile phosphate concentration gradients in a sandy soil induced by plant uptake. Plant and Soil, 37:617—626.
- [3] Bhat, K. K. S. and Nye, P. H., 1974: Diffusion of phosphate to plant roots in soil, III. Depletion around onion roots without root hair. Plant and Soil, 41:383—394.
- [4] Bouldin, D. R., 1961: Mathematical description of diffusion processes in the soil-plant system. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25: 476—480.
- [5] Hakley, J. L. and Russell, R. S., 1979: The soil-root interface. Proc. Inter. Sym. London.
- [6] Harmsen G. W. and Jager, G., 1962: Determination of quantity of C and N in the rhizosphere of young plants. Nature, 195: 1119—1120.
- [7] Helal, H. M. and Sauerbeck, D., 1981: Kurzmitteilung Ein Verfahren zur Trennung von Bodenzonen unterschiedlicher Wurzelnahe. Z. Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 144:524—527.
- [8] Riley, D. and Barber, S. A., 1970: Salt accumulation at soybean root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:154—155.

THE NUTRIENT STATUS OF SOIL-ROOT INTERFACE

III. VARIATION OF FERTILIZER NITROGEN IN RICE RHIZOSPHERE

Qin Shengwu and Liu Zhiyu

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The variation of fertilizer-N in rice rhizosphere was studied by means of the dense root plane in contact with soil blocks labelled by ^{15}N and fresh frozen sections. Meanwhile some conditions of research method were determined. Results revealed that there existed a depletion zone of nitrogen in rice rhizosphere which was induced mainly by the decrease of fertilizer-N. The extension of depletion zone in soil was consistent with the rate of depletion. There was a exponential correlation between the rate of depletion (y) and the distance from root plane (x) in accordance with the equation $y=a+bx^{\frac{1}{2}}$. The content and depletion rate of fertilizer-N in soil varied with the cultivated time of rice. The amount of depletion in the rhizosphere soil of upper part of roots (below root node 4—6 cm) was greater than that of the lower part of roots (below root node 8—10 cm) due to the upper part of roots with more vigorous branches and higher ability of nitrogen absorption. In addition, raising temperature during the growing period of rice promoted the rate of nitrogen uptake by root system and expanded the extension of depletion zone of fertilizer-N in soil. Therefore increased supplying capacity of nitrogen in soil to a certain extent may reduce the rate and extension of depletion of fertilizer-N in rhizosphere soil.

Experiment showed that nylon cloth (pore radius $< 25\mu$) and cellulose micropore membrane (pore radius $< 2\mu$) were ideal materials for separation between the soil and root interface. These materials can allow water and nutrients to pass the membrane freely, but prevent the roots penetrating into soil.