

关中旱地小麦生育期土壤速效养分 时空变异特征研究

徐海, 王益权*, 刘军, 王芳, 秦宝军

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了揭示旱塬地区土壤主要养分的动态变化规律, 探明其时空有效性, 在较为精确的时空尺度条件下研究了关中地区小麦生育期间土壤剖面 0~100 cm 范围内硝态氮、碱解氮、速效磷和速效钾动态变化特征。结果表明: 土壤硝态氮在 0~100 cm 范围内空间分布特征较为明显, 在 30~40 cm 处为硝态氮累积峰值, 第 90~150 cm 范围为剖面上硝态氮素快速消耗期; 土壤碱解氮在 0~100 cm 范围内存在着二元变异结构, 0~40 cm 空间变异特征较明显, 而 40 cm 以下则时间变异特征更为突出; 土壤速效磷空间梯度变异明显, 表现为从上至下速效磷含量递减, 小麦生育期间土壤剖面速效磷几乎是同步递减; 土壤速效钾则是时间变异特征比空间变异特征更显著, 小麦生育期间剖面上各层土壤速效钾含量降低幅度均在 50 mg/kg 左右。

关键词: 速效养分; 时空变异; 小麦农田

中图分类号: S153.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0062-06

土壤养分的空间变异受成土母质、气候、地形以及人类耕作和施肥等活动影响较大^[1,2], 一直是土壤与植物营养科学研究的重要课题。尽管对土壤养分状况的研究前人已经进行大量的工作, 取得了丰硕的成果, 其中多数集中在耕层土壤养分的变化特征方面^[3,4], 在土壤养分的时空变异研究方面虽然也有一些报道^[5,6], 却主要集中在作物生育过程某几个生育阶段表层土壤养分的水平地理空间分布及其变异特性的研究^[7~12], 而在较为精确的时间和空间尺度条件下对作物生育期内土壤剖面上养分变异特征的研究报道相对较少。土壤速效养分含量是评价土壤供肥能力的主要指标^[13], 体现着生态环境条件下土壤养分的转化能力和人们的施肥与管理水平。土壤养分的有效性概念不应当只有数量多寡, 也应当有时间有效性(与作物生育期养分耗竭规律的协调性)和空间有效性(与作物根系生长发育空间的协调性)等内容^[14], 以往更加重视的是土壤速效养分的数量, 而对于土壤速效养分的空间和时间变异关注不够。本研究通过研究关中冬小麦在全生育期内土壤速效养分的时空变异特征, 旨在揭示现代耕作与施肥条件下旱地农田土壤养分变异规律, 探讨土壤养分的时间有效性和空间有效性, 为旱地土壤养分的精确管理及科学推荐施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验田位于西北农林科技大学农作一站大面积小麦种植区域, 试验田总面积为 200 m × 120 m, 属关中平原中部地区, 为暖温带半湿润易旱气候, 海拔 550 m, 光热资源比较丰富, 年均温度 12.9℃, ≥ 10℃积温 4 185℃; 年均降水量 635.1 mm, 夏秋季降水集中, 占全年降水量 70%, 年均蒸发量 993.2 mm; 本研究从 2006 年 10 月 24 日秋播后开始, 采用多点随机采样法, 在试验地取 14 个采样点, 约每隔 15 天从土壤剖面 0~5、5~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~80、80~100 cm 处采集土壤样品, 将 14 个采样点土样同层混合后以四分法取土壤样品供土壤速效养分测定用(设 3 次重复, 测定结果取其平均值); 小麦播种前施用尿素 1 125.0 kg/hm² 作底肥, 生育过程中未进行追肥和灌溉。土壤类型为壤土, 播前土壤的基本性状见表 1。

1.2 分析项目与测试方法

土壤硝态氮用酚二磺酸比色法; 土壤碱解氮用碱解扩散法; 土壤速效磷测定用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-磷钼蓝比色法; 土壤速效钾测定用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法^[15]。

通过对关中地区大面积区域内小麦整个生长期

收稿日期: 2008-04-07

基金项目: 陕西省农业科技推广项目“关中灌区小麦玉米高产技术”(14220210)

作者简介: 徐海(1981-), 男, 四川泸州人, 博士研究生, 主要从事土壤物理及植物营养方面的研究。

通讯作者: 王益权(1957-), 男, 陕西旬邑人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤物理与改良方面教学与科研工作。

内 0~100 cm 土层范围内土壤硝态氮、碱解氮、速效磷和速效钾的测定资料,采用 surfer8.0 软件作土壤各速效养分时空变化过程等值线图。依据等值线图

上线条的稀疏程度(养分变异梯度)和变化方向直观表述小麦生育期间土壤剖面上速效养分时空动态变化过程。

表 1 供试土壤的主要理化性状

Table 1 Main physical and chemical properties in the tested soil

土层深度 Soil layer depth (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	田间持水量 Soil moisture capacity (%)	萎焉系数 Wilting coefficient (%)	有机质含量 Organic content (%)	硝态氮 Nitrate nitrogen (mg/kg)	碱解氮 Alkaline hydrolytic-N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
0~5	1.24	20.81	7.52	15.74	28.47	86.51	12.98	141.52
5~10	1.24	20.53	7.48	15.68	28.78	87.16	9.65	143.89
10~20	1.25	19.82	8.14	15.26	16.78	75.96	9.37	125.97
20~30	1.26	19.16	8.76	14.19	14.62	70.94	4.57	103.84
30~40	1.25	18.81	7.43	10.05	18.42	46.76	4.69	95.72
40~60	1.30	18.22	7.24	10.11	12.66	46.28	4.32	86.11
60~80	1.29	18.28	7.21	9.86	9.08	34.28	4.27	86.16
80~100	1.30	18.32	7.16	9.92	6.22	38.52	4.43	86.09

2 结果与分析

2.1 土壤硝态氮的时空变化特征

硝态氮是土壤氮素的主要形态之一,也是土壤速效氮的重要组成部分,在土壤养分诊断方面常作为氮素供应指标之一。硝态氮也反映了土壤氮素的转化水平、土壤通气条件等。硝态氮在土壤中具有

较强的移动性,在土壤剖面上的迁移和累积与降雨量和土壤水分状况有着密切的关系,同时,也对氮素在土壤空间上再分配起着重要作用。因此,研究土壤硝态氮时空变化过程,不仅反映了土壤的供氮能力和氮素的时空有效性,也反映了生态环境因素对土壤氮素循环的作用程度。图 1 为关中小麦生育期内硝态氮的时空变化过程等值线图。

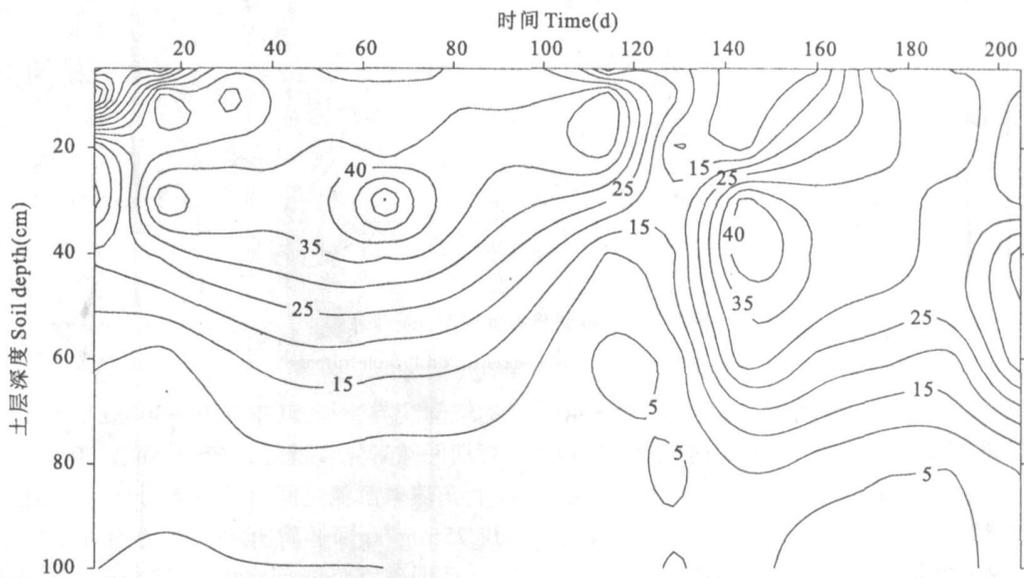


图 1 土壤硝态氮等值线图(mg/kg)

Fig.1 Isoline map of soil Nitrate N

由图 1 可知,在小麦生长发育过程中,农田土壤硝态氮变化具有如下特征:首先硝态氮含量在土壤剖面上有着极为明显的空间分布梯度,从表层到底

层土壤硝态氮含量明显降低,从土壤表层 0~30 cm 的 40 mg/kg 降低到了 70 cm 左右处的 10 mg/kg, 70 cm 以下土壤硝态氮含量低到 5 mg/kg 以下。在

时间序列上土壤硝态氮含量也有明显的变化规律,表现为在小麦生育期前 90 d 内,即小麦抽穗期前,土壤硝态氮有向下迁移的现象,迁移锋面从土壤剖面的 60 cm 处推进到约 80 cm 处。从第 90 天到 120 天期间,即小麦抽穗期,属于土壤硝态氮迅速消耗期,0~80 cm 范围内土壤剖面都显示出明显的硝态氮耗竭现象,其中 0~40 cm 范围土壤硝态氮降低幅度达到了 15~20 mg/kg,而 40~80 cm 降低约 5 mg/kg 左右。在第 120~150 天,即小麦开花期间,上下土层按相反过程变化,其中在 0~30 cm 范围土壤硝态氮仍处于消耗期,而在 40 cm 以下土层硝态氮向下快速迁移,硝态氮迁移强度表现最为明显的是从 40 cm 迁移到约 80 cm 处。从第 150 天到 180 天期间 0~40 cm 土层硝态氮处于恢复增过程,而 40 cm 以下剖面土壤硝态氮处于基本稳定过程。从

第 180 天起到小麦收获期土壤剖面又出现了硝态氮向下迁移现象。总之,不难得出在小麦生育过程中土壤剖面在 80 cm 以上土层硝态氮变化过程明显,第 90 天到 150 天时间段内 80 cm 以上土层中硝态氮的含量对于作物生长发育有着极为重要的意义。从整个生育过程看,在很长时期内土壤硝态氮含量在 40 mg/kg 以上的峰值却不在最表层,而是位于剖面的 30~40 cm 处,似乎与旱塬地区该层土壤的墒情相对稳定,有利于土壤氮转化过程有一定关系。

2.2 土壤碱解氮的时空变化特征

碱解氮常常作为土壤总有效氮素供应指标,在土壤肥力诊断等方面具有极为重要的意义。图 2 是关中地区小麦生育期间剖面 0~100 cm 范围内土壤碱解氮变化过程的等值线图。

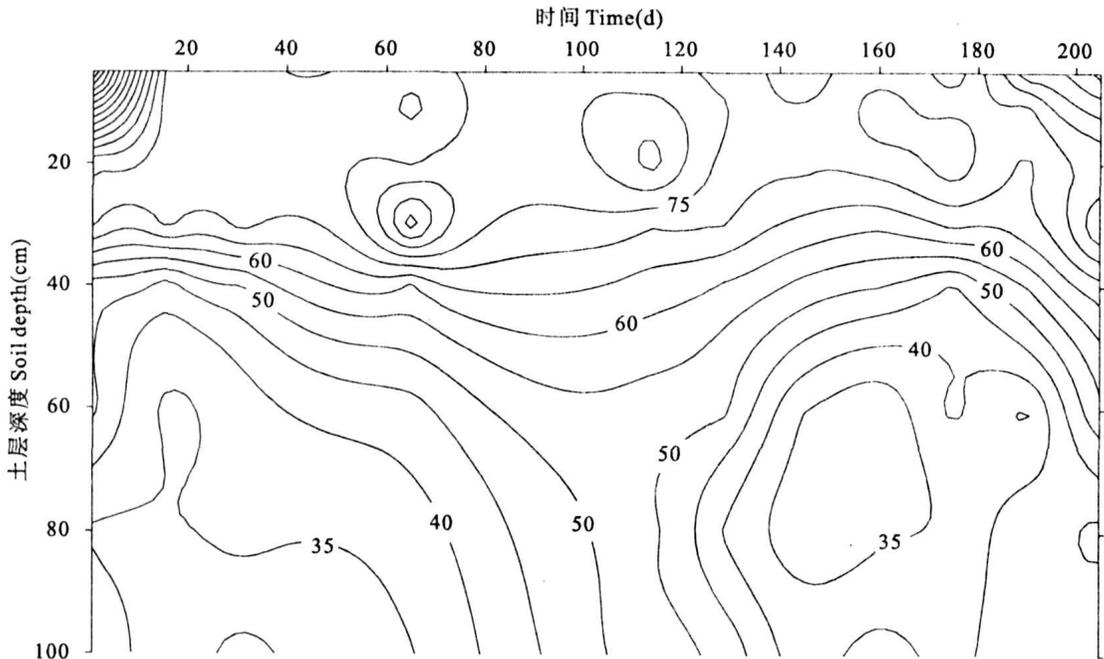


图 2 土壤碱解氮等值线图(mg/kg)

Fig. 2 Isoline map of soil alkali-hydrolyzable nitrogen

从图 2 可以看出:在小麦生育期间土壤 0~40 cm 碱解氮含量相对较高,全生育期内变化在 60 mg/kg 以上,其中 0~30 cm 土壤碱解氮含量无论在时间还是在空间上变化幅度都很小,且维持着较高的含量水平,只有在播种后 20 d 里,因为施肥表层 0~20 cm 土壤中碱解氮的含量变化非常剧烈,其次为小麦收获前的 20 d 里在 0~20 cm 范围内土壤碱解氮有明显的递增趋势,其余时间该层土壤碱解氮含量稳定在 75 mg/kg 左右。土壤剖面上碱解氮的时空变异的总体特征似乎呈现二元结构,即在上层 0~40 cm 范围内土壤碱解氮有明显上层高于底层

的空间变异特征,其中在 0~30 cm 范围内,小麦生育期间碱解氮含量变异较小,而在 30~40 cm 范围内,土壤碱解氮空间变异梯度明显,变化幅度为从上层 75 mg/kg 降低到土层下部的 50 mg/kg,在约 10 cm 范围碱解氮降低幅度达 25 mg/kg 左右,这与硝态氮累计峰面在此土层有一定关系。而 40~100 cm 以下土层之间碱解氮含量变化在 35~60 mg/kg,在小麦生育期间土壤碱解氮呈现累积和耗竭明显的阶段特征。从播种后第 20 天到 100 天期间随着生育期延伸 40~100 cm 范围内土壤碱解氮呈明显递增过程,从约 35 mg/kg 递增到了 50

mg/kg。而从约第 100 天起到第 160 天期间该土层碱解氮消耗过程极为明显,从 50 mg/kg 又下降到约 35 mg/kg。自第 160 天到小麦收获期间,土壤深层的碱解氮又有显著增长过程。土壤深层氮素的消长动态过程充分体现了旱地土壤小麦根系的主要活动空间和土壤深层氮素的生物学意义,对于保证小麦正常生长发育有着极为重要的作用。

2.3 土壤速效磷时空变化特征

图 3 是关中地区小麦生育期间土壤剖面速效磷

变化过程等值线图。从图 3 不难看出,土壤剖面速效磷时空变异特征是空间变化特征明显于时间变化特征。尤其是在 0~60 cm 范围内速效磷呈现出明显的空间分布梯度,从表层 13.0 mg/kg 左右逐渐递减为 60 cm 处的 5 mg/kg。磷与氮素明显不同,随着小麦生长发育阶段进行,在 0~60 cm 范围内各层土壤速效磷含量都有不同程度持续下降过程,说明 0~60 cm 范围内土壤磷素对小麦生长发育是十分重要的。

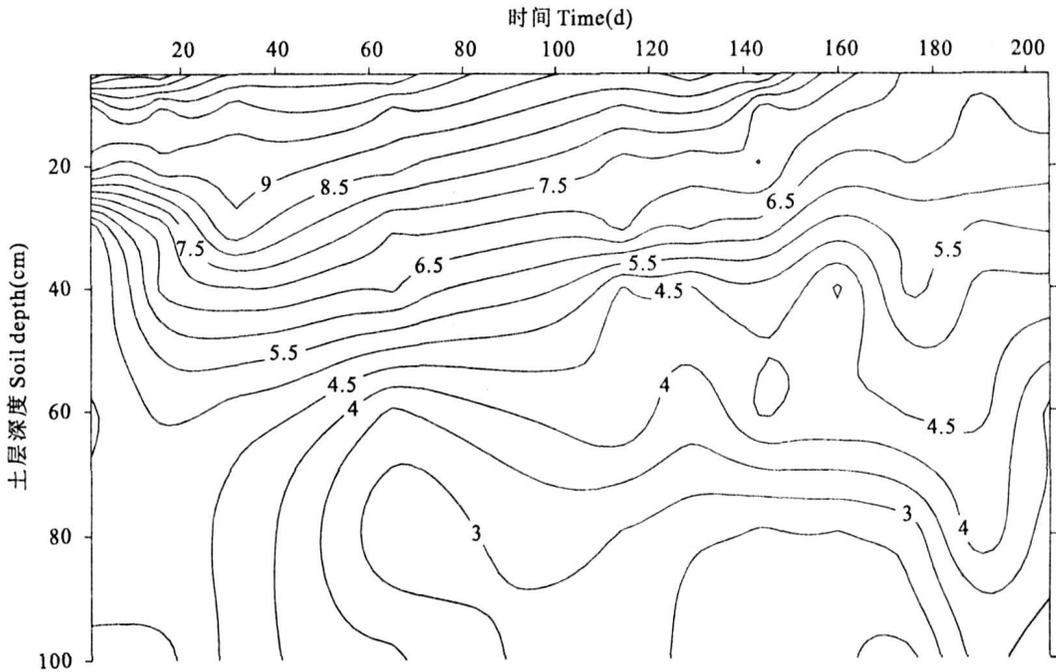


图 3 土壤速效磷等值线图(mg/kg)

Fig. 3 Isoline map of soil available P

在 60~100 cm 土层中速效磷的含量最高时只有 4 mg/kg 左右,尽管如此,该层土壤速效磷在第 40 天以后才明显地被作物吸收耗竭,尤其是在第 40 天到第 100 天期间该层土壤速效磷耗竭极为明显,从 4 mg/kg 降低到 2.5 mg/kg,证明在小麦生育阶段深层土壤磷素也对于其生长发育具有一定作用。

图 3 显示在时间序列上土壤剖面 0~60 cm 范围各层土壤速效磷分布梯度呈现平行式递减规律,证实小麦生育期间该范围各层土壤速效磷耗竭量相差不大。同时,还可以看出随着小麦生长发育进程土壤速效磷的耗竭空间有明显的从表层向深层土壤逐渐延伸的趋势。在播种后的前 40 天时间里,土壤速效磷的消耗空间主要在 0~20 cm 范围以内,而在第 40 天到 170 天期间土壤速效磷消耗空间逐渐延伸到更深土层,在第 170 天以后的小麦成熟阶段,土壤剖面速效磷消耗过程基本结束,在下层土壤中还表现出速效磷递增现象。

2.4 土壤速效钾的时空变化特征

随着农业集约化水平不断提高,黄土母质上发育的土壤缺钾的问题也愈来愈普遍,土壤钾素逐渐成为土壤养分管理的重要内容之一。图 4 是关中地区小麦生育期间 0~100 cm 范围内土壤速效钾的动态变化等值线图。

由图 4 可以看出:0~100 cm 范围内土壤速效钾的含量在 150~170 mg/kg 之间,上下土层之间差异不大,充分证实了土壤速效钾主要依赖于土壤的母质属性,受到人为培肥作用影响相对较小。土壤速效钾的时空变化特征整体上与氮和磷的变化过程截然不同,主要区别在于在小麦生育期内,土壤剖面速效钾递减过程随时间变异特征要明显地强于空间变异特征,证明土壤剖面上速效钾变异过程具有相对较强的整体性,与钾素的移动能力较强有一定的关系。

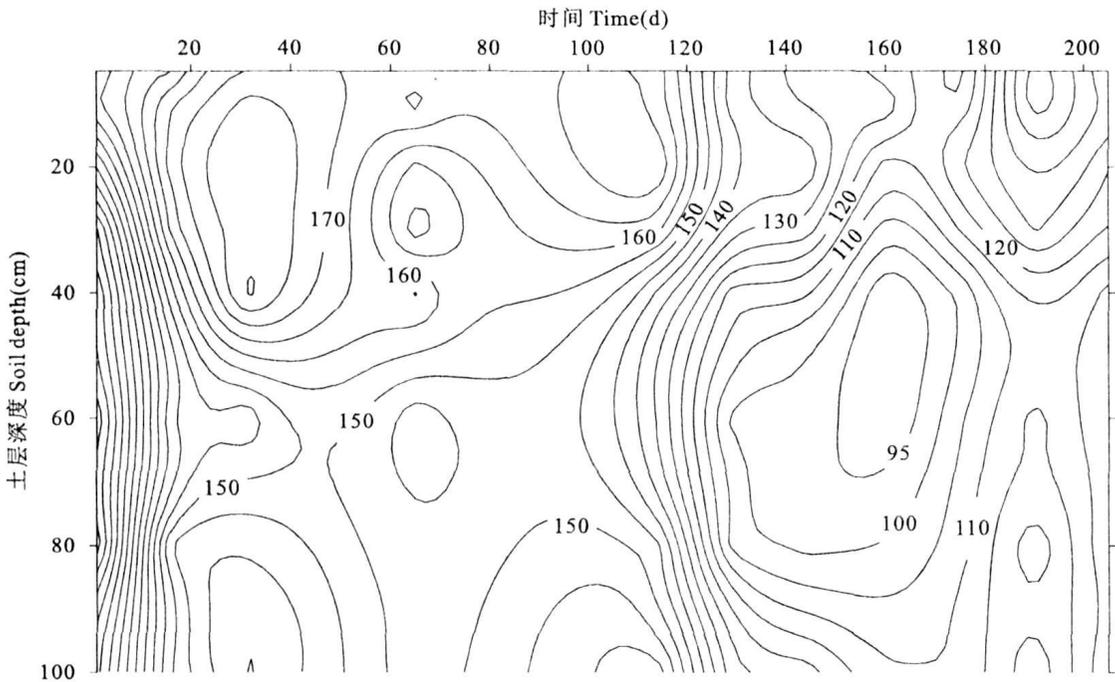


图 4 土壤速效钾等值线图(mg/kg)

Fig.4 Isoline map of soil available K

从更为严格的角度去分析, 在小麦生育过程中土壤剖面上土壤速效钾的耗竭也是有一定时效性特征, 其表层 0~40 cm 土壤速效钾含量在小麦生育过程前 170 天里都一直在减小, 从播种期间的 170 mg/kg 减小到约 120 mg/kg, 减小幅度约为 50 mg/kg 左右, 而 40 cm 以下的土层中在小麦生育期前 60 天里土壤速效钾基本上保持在 150 mg/kg 水平, 从第 60 天左右才开始有所降低, 特别是在从第 100~170 天内降低过程更为明显, 该层土壤速效钾含量从 150 mg/kg 降到 95 mg/kg 左右, 降低幅度也约为 55 mg/kg, 与表层土壤降低幅度基本相当; 到小麦生育期的第 170 天左右是土壤剖面上速效钾素含量的最低时期, 此期过后土壤剖面速效钾含量出现回升趋势。

从土壤剖面速效钾的耗竭整体过程看, 在小麦生育期的第 100~170 天内是土壤速效钾的快速消耗期。土壤速效钾在小麦从出苗到分蘖期间都存在增加现象, 证实了有土壤缓效钾向速效钾转化过程, 为作物的后期储备钾源^[15,16]; 越冬期由于温度低, 小麦生长缓慢, 作物耗钾量少, 土壤速效钾比较稳定; 返青期小麦生长旺盛, 需钾量大, 土壤速效钾含量减小速率加剧; 之后拔节抽穗期进入平缓减小阶段, 灌浆成熟期小麦吸钾强度下降并有钾素外排现象^[17]。

3 讨论与结论

1) 土壤速效养分的时空变化特征与养分化学

形态及人为培肥管理有着密切的联系, 主要表现为小麦生育期间土壤硝态氮、碱解氮、速效磷含量在剖面上的空间分布梯度明显, 即随着土层深度的增加速效氮和磷含量均明显递减, 地区人为长期土壤培肥活动在养分空间分布特征上得到了显著的体现。速效磷与氮素相比, 磷的空间变化梯度更为显著, 是因为磷素的迁移能力比氮素差。剖面上碱解氮含量的时空分布呈现二元结构特征。深层土壤碱解氮和硝态氮耗竭过程, 体现了在旱塬地区土壤深层养分的生物学意义。速效钾与它们则明显不同, 在小麦生育过程中大多是随时间的变化梯度要比随空间变化梯度更为明显些, 这是因为土壤速效钾受土壤母质类型作用较强, 人为培肥作用相对较弱的缘故。

2) 尽管从整体上看, 土壤表层的速效养分要比下部土层高, 具有明显的“上肥下瘦”的空间分布特征, 但是, 硝态氮的空间分布特征却有所不同, 在土壤剖面 30~40 cm 处出现峰值, 证明旱塬地区土壤硝化过程与墒情有一定关系, 该土层是旱塬地区墒情相对稳定的区域, 有利于氮素硝化和累积过程, 虽然随着土壤水分含量的季节性变化硝态氮有明显的迁移过程, 但是在小麦生育过程中迁移深度没有超过 80 cm, 对于小麦生育后期土壤氮素供给具有重要的意义, 即旱塬地区土壤硝态氮具有淋而不失的特点。

3) 随着小麦生育进程, 土壤剖面养分耗竭明显

不同。整体上看关中地区小麦对土壤养分耗竭期到第 170~180 天以后基本停止或很少。在第 100~180 天期间是土壤剖面养分耗竭的高峰期。养分类型不同,土壤剖面上养分耗竭有所不同,在小麦生育前期硝态氮主要消耗于土壤 0~40 cm 以上,在中后期消耗于 40 cm 以下土层。土壤碱解氮在小麦生育过程中 40 cm 以上较为稳定,只有在中后期土壤深层碱解氮耗竭似乎更为明显,证明在该地区氮肥需要适度深施的重要性^[18]。磷素在小麦生育过程中几乎全剖面同步持续降低,只是在中后期 60 cm 以下深层土壤速效磷才明显被耗竭。速效钾也同样在小麦生育前期主要耗竭于 50 cm 以上土层,在第 100~170 天期间 50 cm 以下土层速效钾耗竭才非常明显,整个小麦生育期间剖面上各层土壤速效钾耗竭平均在 50~55 mg/kg。旱地土壤速效养分的时空变化特征,尤其是深层土壤养分的生物学意义将成为旱地土壤科学管理的重要理论基础^[19]。

参考文献:

- [1] 王宏庭,金继运,王 斌.土壤速效养分空间变异研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(4):349-354.
- [2] 许咏梅,冯耀祖,张小玲.土壤速效养分空间变异研究[J].新疆农业科学,2003,40(2):103-105.
- [3] 毕庆文,王海明,陈国华,等.鄂西南植烟土壤养分状况分析[J].中国烟草科学,2007,(6):22-26.
- [4] 杨玉海,陈亚宁,李卫红,等.准噶尔盆地西北缘新疆绿洲土地利用对土壤养分变化的影响[J].中国沙漠,2008,(1):94-99.
- [5] 黄智刚,李保国,胡克林,等.丘陵红壤蔗区土壤有机质的时空

- 变异特征[J].农业工程学报,2006,22(11):58-62.
- [6] 赵庚星,李秀娟,李 涛,等.耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析[J].农业工程学报,2005,21(10):55-58.
- [7] 胡克林,李保国,林启美,等.农田土壤养分的空间变异性特征[J].农业工程学报,1999,15(3):33-38.
- [8] 杨玉玲,盛建东,田长彦,等.盐化灌淤土壤速效氮、磷、钾空间变异性与棉花生长发育关系初步研究[J].中国农业科学,2003,36(5):542-547.
- [9] 王新民,王卫华,侯彦林.豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及其空间分布特性研究[J].土壤,2004,36(2):173-176.
- [10] 韩俊杰,南 瑞,高永刚,等.黑龙江省农田土壤养分时空变化分析[J].黑龙江气象,2007,(4):32-34.
- [11] 夏 敏,赵小敏,张佳宝,等.基于 GIS 和地统计学的土壤养分时空变异分析[J].江西农业大学学报,2007,(2):312-317.
- [12] 路 鹏,黄道友,宋变兰,等.亚热带红壤丘陵典型区土壤全氮的空间变异特征[J].农业工程学报,2005,21(8):181-183.
- [13] 展军礼,窦春蕊.油松人工林对土壤特性影响的初步研究[J].农业科技与信息,2007,10:48-49.
- [14] 张仁铎.空间变异理论及应用[M].北京:科学出版社,2005:2-4.
- [15] 史建文,鲍士旦,史瑞和.耗竭条件下层间钾的释放及耗竭后土壤的固钾特性[J].土壤学报,1994,31(1):42-49.
- [16] 鲍士旦,徐国华.稻麦轮作下施钾效应及钾肥后效[J].南京农业大学学报,1993,16(4):43-48.
- [17] 熊明彪,雷孝章,宋光煜,等.长期施肥条件下小麦对钾素吸收利用的研究[J].麦类作物学报,2004,24(1):51-54.
- [18] 翟红民,高 霞.秋播小麦化肥深施效果好[J].农村实用技术与信息,2007,(9):1.
- [19] 彭克明,裴保义.农业化学[M].北京:中国农业出版社,1980:47-61.

The spatio-temporal variability of soil available nutrients in the Guanzhong plain

XU Hai, WANG Yi-quan, LIU Jun, WANG Fang, QIN Bao-jun

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To investigate the dynamic variety disciplinarian of the main soil nutrients in the Guanzhong plain, and to prove up its spatio-temporal validity, in the condition of the accurate spatio-temporal scale, a field experiment was conducted to study the spatio-temporal variability of soil nitrate nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium of the wheat fields (0~100 cm soil layers) in the whole growth stage in the Guanzhong plain. The results showed that the gradient of spatial distribution of the soil nitrate nitrogen in 0~100 cm soil layers was more significant than that of temporal distribution. And the soil nitrate nitrogen in 30~40 cm soil layers reached cumulative peak and it deleted fast from 90th to 150th during the growth stage. It was found that the content of the soil alkali-hydrolyzable nitrogen was in binary variability structure in 0~100 cm soil layers, and the gradient of its spatial distribution in 0~40 cm soil layers was more significant than that of temporal distribution, but it was opposite below 40 cm. The gradient of spatial distribution of the soil available P was more significant than that of temporal distribution. And the depletion layer went deeper as the wheat grew. It was also found that the gradient of temporal distribution of soil available K was more significant than that of spatial distribution, and its content decreased by about 50 mg/kg every layer during the growth stage.

Key words: available nutrient; spatio-temporal variability; wheat field