

164-170

5931(10)

第13卷 第2期
1993年6月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol.13, No.2
Jun., 1993

温度条件对麦田土壤溶液 养分浓度的影响

刘瑞文 陈世庆 董振国 鲁全国

(中国科学院地理研究所, 北京, 100101)
(国家计划委员会)

S512.01

摘 要 本文用实测资料分析了温度对麦田土壤溶液养分浓度的影响。研究表明, 在农田土壤水分不亏缺的条件下, 温度与麦田土壤溶液浓度呈正相关关系。随着太阳辐射增强, 温度升高, 土壤溶液中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度增大, 到14:00—15:00时, 出现极大值。土壤溶液中铵浓度的高峰期基本是在中午温度高的时刻, 低峰期在夜晚和午前 10:00—11:00 左右。10:00—11:00 时的低值, 可能与根系的同化吸收有关。土壤溶液养分浓度日较差大, 光合面积增长快, 营养生长旺盛。

关键词: 温度, 土壤溶液浓度, $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度, $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度, 冬小麦生长量。

麦田; 土壤溶液

对土壤溶液的研究已有许多学者在不同方面做过探讨^[1-4]。黄荣金等揭示了农田土壤溶液的养分动态变化规律, 指出土壤溶液浓度昼夜变化的高峰期及低谷期^[5]。冈岛秀夫分析了土壤溶液的养分浓度与作物生长的关系^[6], 把土壤-作物结合起来作为统一的整体进行了探讨。热量及其他气象条件对农田土壤溶液养分浓度的影响, 尚未见报道。本文用实测资料分析了温度条件对冬麦田土壤溶液养分浓度的影响, 研究了温度条件与作物根系吸收土壤养分的关系, 为进一步揭示土壤-植被-大气间的能量及物质转化过程做一些尝试。

1 材料与方法

试验于1986—1988年在中国科学院北京大屯农业生态系统试验站试验场进行。土壤为壤质褐潮土, 耕层土壤有机质含量为 13.0g/kg, 全氮为 0.8g/kg, 全磷为 1.7g/kg, 全钾为 24.5g/kg, 速效磷约为 0.1mg/kg, 速效钾为 152.0—202.0mg/kg, 碳酸钙为 18.1—46.8g/kg, 土壤呈弱碱性反应, pH值 8.2—8.4。供试冬小麦品种为丰抗 8 号(1986—1987)和京花 3 号(1987—1988), 分别于 9 月下旬播种, 产量为 3.75—4.5t/hm²。

1.1 土壤溶液的取样 每天9:00—10:00取样。在小麦不同生育期, 分别选择典型晴天, 每隔4h采取土样, 连续采样2昼夜。取样深度为 0—30cm。取样点固定在 10m² 的范围内, 每次取样时, 7 个样点按顺序轮换。取出的土样立即用压榨机(压力为 9.81×10^6 — 1.47×10^7 Pa)把土壤溶液压出, 进行化学分析。

1.2 分析方法 土壤溶液的总浓度采用重量法测定, $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量采用酚二磺酸比色法测定, $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量采用直接蒸馏法测定, 磷采用钼锑比色法测定, 钾的含量采用火焰光度法测定。

1.3 温度及其他气象条件的观测 取土壤样的同日, 逐时进行小麦冠层的温度(T_c)、气温(T_a)、地表温度、土壤层10cm、20cm和30cm的地温及太阳辐射(Q)的观测, 并在取样时测

本文于1991年1月25日收到, 修改稿于1992年8月22日收到。

定土壤的含水量(W)。

1.4 冬小麦生长的测定 春季返青后, 每7d进行一次群体密度; 株高; 叶面积指数(LAI); 根、茎、叶干重; 总生物量的测定。蜡熟期进行考种测产。

2 结果与分析

2.1 温度条件与土壤溶液总浓度的关系

土壤溶液浓度的变化受温度的影响很大(见图1)。随着日出, 太阳辐射增强, 温度升高, 土壤溶液浓度增高, 14:00—15:00时浓度最高。1987年4月15—16日(拔节期) 15:00土壤溶液浓度达到 $2.00\text{g}/\text{dm}^3$, 日较差为 $0.8\text{g}/\text{dm}^3$ 。午后, 温度逐渐下降, 土壤溶液浓度降低。夜晚温度很低, 土壤溶液浓度降到最低值。1987年4月27—28日(孕穗期), 最低的土壤溶液浓度为 $0.95\text{g}/\text{dm}^3$, 日较差为 $0.55\text{g}/\text{dm}^3$ 。1987年5月12—13日(开花期)的土壤溶液浓度最高为 $1.90\text{g}/\text{dm}^3$, 最低为 $1.10\text{g}/\text{dm}^3$, 日较差为 $0.80\text{g}/\text{dm}^3$ 。1988年5月27—28日(灌浆期)土壤溶液浓度最高为 $1.77\text{g}/\text{dm}^3$, 最低为 $1.15\text{g}/\text{dm}^3$, 日较差为 $0.62\text{g}/\text{dm}^3$ 。4个生育期的土壤溶液浓度与温度呈正相关, 浓度随温度升高而增加(见图2、3)。经统计分析, 小麦生长前期的土壤溶液浓度和温度的正相关程度较生长后期高, 均为显著。非干旱条件下的土壤, 温度升高, 土壤溶液浓度上升, 这是因温度升高促进了矿物质分解和有机质矿质化作用及 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的硝化作用, 增加了速效养分。同时一些盐类随温度的升高溶解度增大。此外, 土壤胶体的吸附力减弱亦有可能使一部分吸附性离子被解吸也转入土壤溶液中。

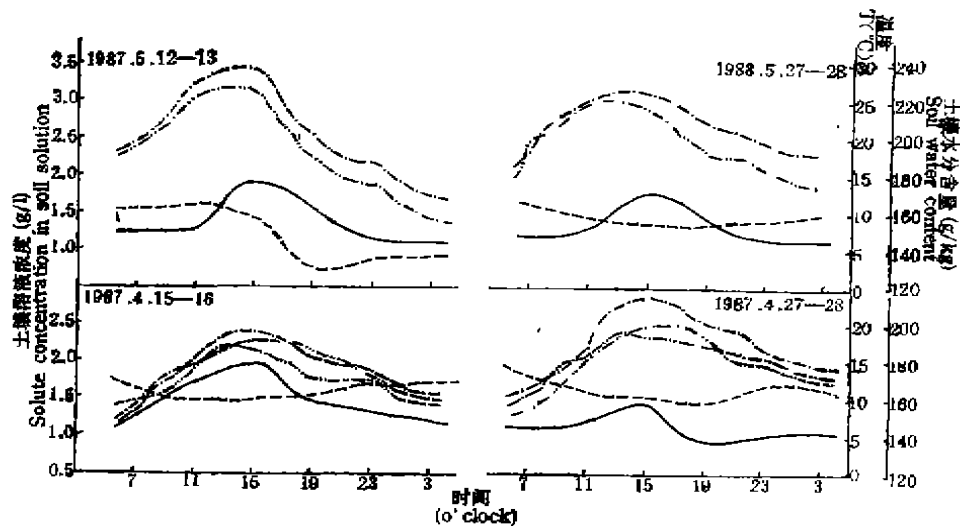


图1 温度、水分条件和土壤溶液浓度的昼夜变化

—土壤溶液浓度, ----土壤含水量, ----气温, ----叶温, ----0—30cm平均地温
Fig.1 Daily changes of temperatures, soil water content and solute concentration in soil solution
—solute concentration in soil solution ----soil water content
----air temperature ----leaf temperature
----average temperature of soil profile (0—30cm)

2.2 温度条件对土壤溶液养分浓度的影响

2.2.1 温度对氮素养分浓度的影响 图4、5分别示出小麦拔节期和孕穗期土壤溶液中氮素养分随光温条件的变化。日出后太阳辐射不断增强, 温度升高, $\text{NO}_3\text{-N}$ 在土壤溶液中的浓

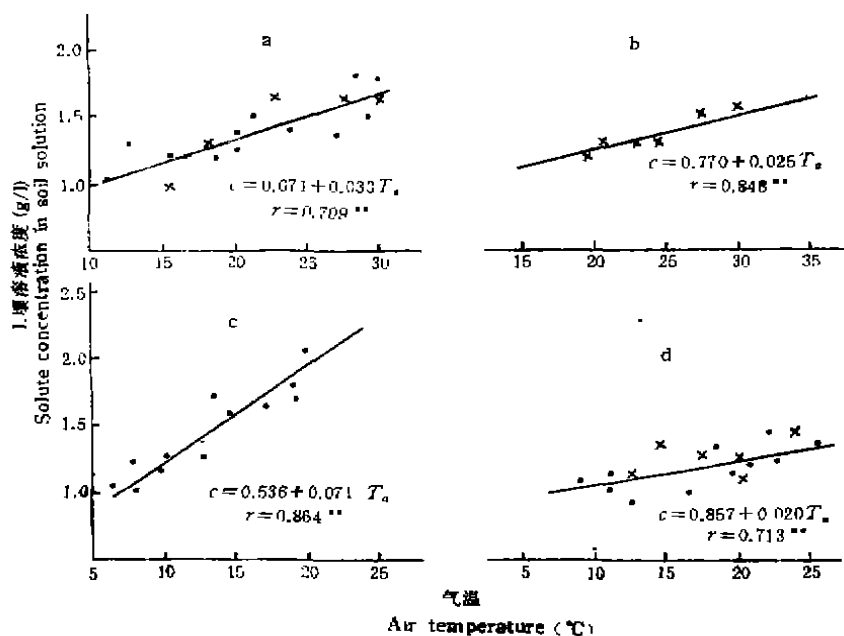


图2 气温与土壤溶液浓度的关系

• 1987 × 1988

a. 开花 Flowering, b. 灌浆 Filling, c. 拔节 Elongation, d. 孕穗 Spike formation

Fig.2 Relationships between air temperature and solute concentration in soil solution

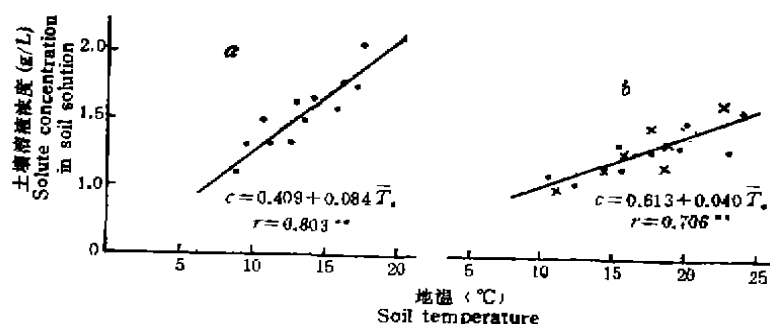


图3 0—30cm平均地温与土壤溶液浓度的关系

• 1987 × 1988

a. 拔节 Elongation, b. 孕穗 Spike formation

Fig.3 Relationships between average soil temperature (0—30cm) and solute concentration in soil solution

度增大, 14:00—15:00时, $\text{NO}_3\text{-N}$ 的浓度出现极值, 拔节期和孕穗期此时的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度分别较日出时土壤溶液中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度提高了 $31.6\text{mg}/\text{dm}^3$ 和 $26.5\text{mg}/\text{dm}^3$ 。随着太阳辐射的减弱, 温度降低, $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度迅速下降, 从 14:00—15:00 到 18:00—19:00 土壤溶液中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量, 拔节期由 $90.3\text{mg}/\text{dm}^3$ 降到 $51.7\text{mg}/\text{dm}^3$, 减少了 $38.6\text{mg}/\text{dm}^3$, 孕穗期由 $66.7\text{mg}/\text{dm}^3$ 降到 $36.3\text{mg}/\text{dm}^3$, 减少了 $30.4\text{mg}/\text{dm}^3$ 。夜晚, $\text{NO}_3\text{-N}$ 浓度略有回升。与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 不同, 土壤溶液中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 随太阳辐射增强, 温度升高其浓度降低, 拔节期和孕穗期由 6:00—7:00 到 14:00—15:00, 土壤溶液中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度分别减少了 $5.1\text{mg}/\text{dm}^3$ 和 $4.5\text{mg}/\text{dm}^3$ 。通

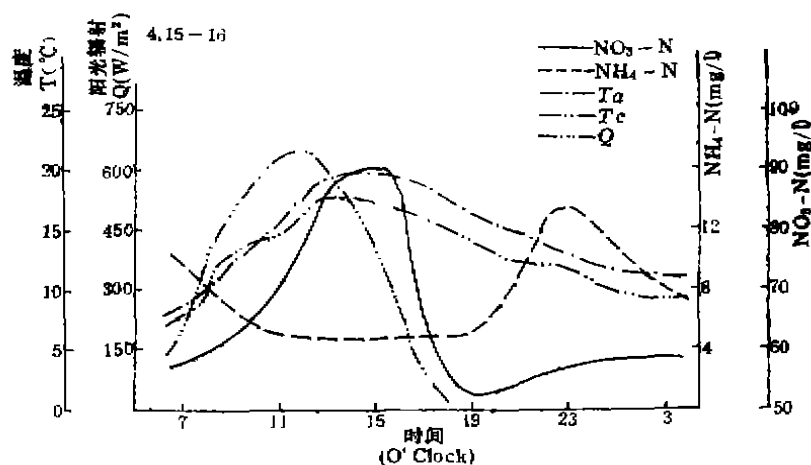


图 4 拔节期光温条件和土壤溶液中N素养分的昼夜变化(1987)

Fig.4 Daily changes of solar radiation, temperatures and nitrogen concentration in soil solution in elongation stage

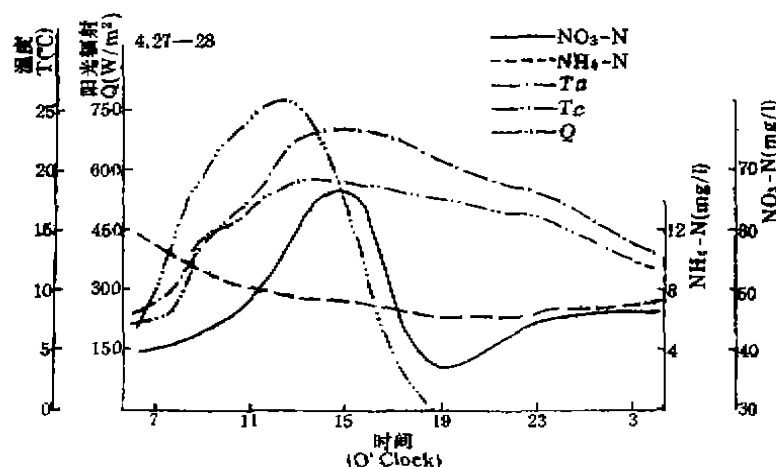


图 5 孕穗期光温条件和土壤溶液中N素养分的昼夜变化(1987)

Fig.5 Daily changes of solar radiation, temperatures and nitrogen concentration in soil solution in spike formation stage

常, 土壤溶液中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 白天浓度变化较平稳, 19:00以后拔节期与孕穗期有不同的变化, 前者变化幅度大, $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度从 5.0 mg/dm^3 升高到 13.6 mg/dm^3 , 提高了 8.6 mg/dm^3 , 孕穗期稍有回升, 昼夜变化较稳定。这是由于在小麦生长旺盛期, 若不缺水, $\text{NH}_4\text{-N}$ 和小分子有机态N的硝化作用, 使土壤溶液中的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在14:00—15:00前逐渐升高, $\text{NH}_4\text{-N}$ 的浓度降低。此时太阳辐射不足, 冠层温度与气温差小, 蒸腾作用弱, 非根际土壤间的养分向根表移动主要靠养分的扩散作用, 根系吸收的氮素养分少, 土壤溶液中的氮素以增加为主。午后, 太阳辐射强烈, 冠层温度与气温差增大, 蒸腾作用强烈, 养分在木质部内与水一起运行, 根际土壤与非根际土壤间产生的水势差和土壤溶液中的养分浓度差增大, 质流作用和扩

散作用强烈,使得小麦吸N高峰的生育期^[7]的耕层土壤溶液中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量迅速下降。开花后,小麦的吸氮高峰期已过^[7],此时期一般午前以吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 为主(见图6—7), $\text{NH}_4\text{-N}$ 多用于籽粒的蛋白质含量上^[8],此时 $\text{NH}_4\text{-N}$ 浓度受温度的影响较小。在小麦的整个生长发育中始终进行着氮素的代谢,并很好地吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ ^[7],因此保证麦田土壤含有合适的水量,使土壤溶液的养分浓度适宜,增大冠层温度与气温差,使蒸腾作用正常进行,促使根系吸收的养分随蒸腾流顺利输送到需求的器官,促进植株的正常生长和发育。

2.2.2 温度对钾、磷养分浓度的影响 土壤溶液中 K^+ 的含量受到温度等环境因子和作物根系吸收作用的影响(图8)。在小麦生长旺盛期,土壤溶液中 K^+ 的浓度随温度的高低而变化中午高温时, K^+ 浓度最高。10:00—11:00 K^+ 与夜间间 K^+ 浓度较低。10:00—11:00 K^+ 浓度

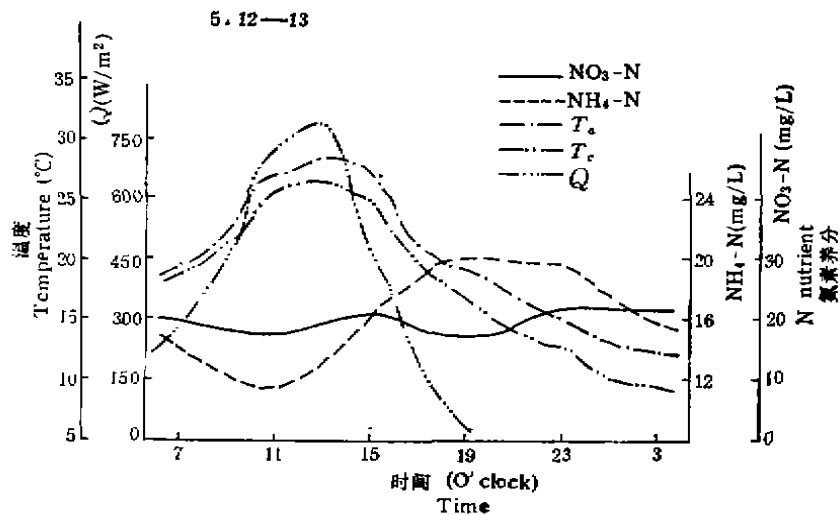


图6 开花期光温条件和土壤溶液中N营养分的昼夜变化(1987)

Fig.6 Daily changes of solar radiation, temperatures and nitrogen concentration in soil solution in flowering stage

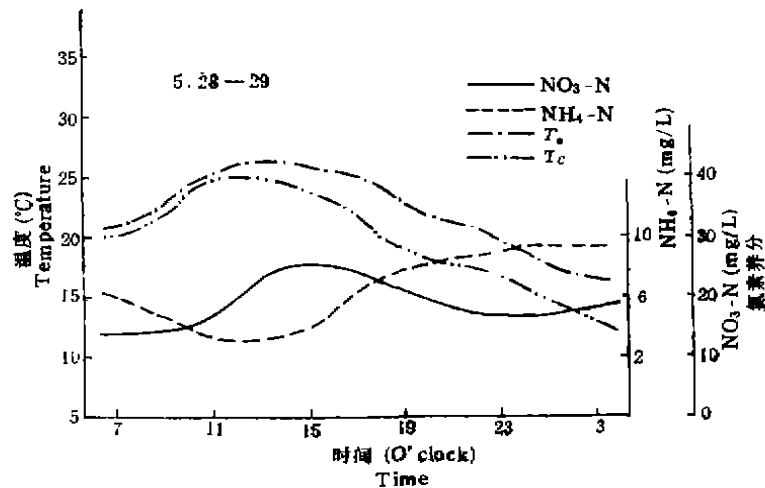


图7 灌浆期温度条件和土壤溶液中N营养分的昼夜变化(1988)

Fig.7 Daily changes of temperatures and nitrogen concentration in soil solution in filling stage

呈低峰值，可能是受根系的同化吸收作用的影响，此时根系吸收大量的 K^+ ，大多用于中午及午后保卫细胞的吸水膨胀，促使气孔开放，利于作物的蒸腾，以散失植物体内多余的热量，植物免受伤害，这是植物吸收养分的一种长期适应性表现。夜晚的温度较低也影响了 K^+ 和其他离子的活度，减少了这些离子间的交换或代换反应。当温度不断地升高，离子活度增强，钾被代换到土壤溶液中 K^+ 浓度增大。小麦开花后，土壤溶液中的 K^+ 浓度受温度的影响变化不大，这多是因为其他离子的代换作用所致。总之，对土壤溶液中 K^+ 浓度变化的更深入了解，还有待进一步的研究。

PO_4^{3-} 浓度的变化，在本试验中的测定结果均小于 $0.1mg/dm^3$ ，使得 PO_4^{3-} 的浓度因温度不同产生的微量变化不易测得。

2.3 土壤溶液中的养分含量与冬小麦生长的关系

表 1 为土壤溶液中养分含量的日较差和冬小麦干物质生产值。拔节期，土壤溶液的养分浓度日较差大， NO_3^-N 的日较差 (ΔNO_3^-N) 为 $38.6mg/dm^3$ ， NH_4^+N 的日较差 (ΔNH_4^+N) 为 $8.7mg/dm^3$ ，钾含量的日较差 (ΔK^+) 为 $9.5mg/dm^3$ 。生产的光合面积大，叶面积系数日增量 (ΔLAI) 可达 $0.157m^2 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ，促进了小麦植株的营养生长。小麦生长后期，根系的吸收能力减弱。开花期，土壤溶液中的 NO_3^-N 和 K^+ 含量的日较差小，它们分别为 $4.8mg/dm^3$ 和 $7.0mg/dm^3$ 。 NH_4^+N 此时期的含量有所提高，日较差为 $8.9mg/dm^3$ 。此时，土壤溶液中的各种养分主要利于小麦的生殖生长，干物质迅速增长，日增量 (ΔG) 达到 $30.67g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ，

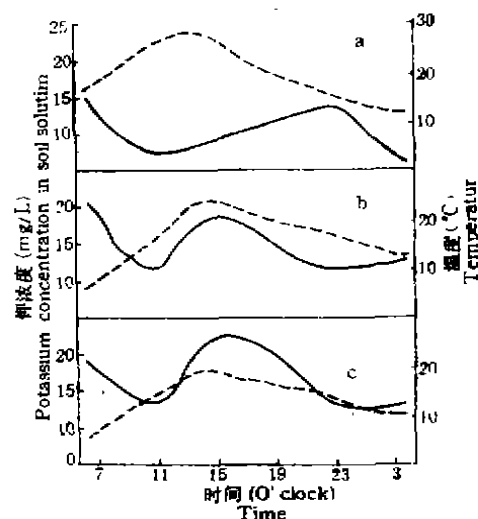


图 8 温度和麦田土壤溶液中钾素养分的变化
——钾浓度 ----温度

Fig.8 Daily changes of temperature and potassium concentration in soil solution
——potassium concentration in soil solution
----temperature

表 1 土壤溶液养分浓度日较差与冬小麦生长

Table 1 Maxium difference of daily changes of nutrient concentration in soil solution and winter wheat growth

项 目 Items	ΔNO_3^-N (mg/dm^3)	ΔNH_4^+N (mg/dm^3)	ΔK^+ (mg/dm^3)	T_s ($^{\circ}C$)	T_e ($^{\circ}C$)	W (%)	Q ($MJ/m^2 \cdot d$)	LAI (m^2/m^2)	ΔLAI ($m^2/m^2 \cdot d$)	ΔG ($g/m^2 \cdot d$)
拔 节 Jointing	38.6	8.7	9.5	14.0	12.5	17.3	14.6	3.18	0.157	18.32
孕 穗 Booting	30.4	5.2	8.0	17.2	16.2	17.4	22.7	5.00	0.107	24.10
开 花 Flowering	4.8	8.9	7.0	20.6	17.7	14.8	25.3	4.89	-0.016	30.67
灌 浆 Milkstage	3.6	6.7	6.1	22.4	19.1	15.9	26.0	3.43	-0.089	26.35

而叶面积增长率为 $-0.016\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, 光合产物几乎全部输送到籽粒^[9]。

3 小 结

研究表明, 温度条件影响土壤溶液的浓度及养分含量, 调节了根系对土壤养分的吸收和同化, 进而影响作物的生长发育。

参 考 文 献

- [1] Robert W. Pearson, Introduction to symposium—the soil solution, *Soil Sci. Ame. Proc.*, 1971, (35):417—420
- [2] Fred Adams, *Soil solution*, In E. N. Carson (ed), *The plant root and its environment*, Univ. Virginid press, Charlot, tesville, 1974, 441—471
- [3] B. A. 柯夫达, (陆宝树译), 土壤学原理, 北京: 科学出版社, 1981, 112—131
- [4] Fred Adams, Ionic concentrations and activites in soil solutions, *Soil Sci. Ame. Proc.*, 1971, (35):420—428
- [5] 黄荣金等, 农田土壤溶液养分动态初步研究, 地理集刊第17号, 北京: 科学出版社, 1985, 68—72
- [6] 冈岛秀夫, 土壤溶液的养分浓度及其作物生长的关系, 土壤学进展, 1986, (3):34—41
- [7] 黄德明等, 淮北地区高产小麦植株吸氮及土壤供氮特性, 中国农业科学, 1988, 21(6):59—65
- [8] 江, A. 柯连科夫著(苏), 氮肥的农业化学, 北京: 农业出版社, 1983, 296—298
- [9] 山东农学院主编, 作物栽培学(上), 北京: 农业出版社, 1982, 89—90

THE EFFECTS OF TEMPERATURE ON THE NUTRIENT CONCENTRATIONS IN SOIL SOLUTION

Liu Rui-Wen Chen Shi-Qing Dong Zheng-Guo Lu Quan-Guo

(Institute of Geography Academia Sinica, 100101)

Study was conducted to undersdand the effects of temperature on the nutrient concentrations in soil solution. The result showed that there was a significantly positive correlation between soil temperature and nutrient concentration in soil solution when soil water was not deficient to plant growth. $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration decreased rapidly due to root uptake in afternoon of a sunny day. The maximum concentration of potassium in soil solution was found when the highest temperature was approximately reached at 14 P.M., and the minimum concentration in night and between 10 A.M. and 11 A.M. The minimum concentration between 10 A.M. and 11 A.M. may be due to potassium uptake by plant. The *LAI* of plant increased rapidly and plant grew fastly when the nutrient concentration in soil solution had a great daily fluctuation.

Key words: temperature, nutrient concentration in soil solution, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, winter wheat growth.