

春季萌动期典型草原生态系统 启动机制的研究

Study on the Steppe Ecosystem Startover Mechanism
During Spring Germination Period

王 堃

中国农业大学

沽源草地生态系统国家野外站

2006 年 12 月 18 日

报 告 内 容

- 引论
- 主要研究内容及思路
- 研究结果与讨论
- 研究结论



一、引 论

✓ (一) 研究进展: 草地生态系统各组分之间在生态动力的作用下（自然生态动力源和人类活动生态动力源）通过能量流动和物质循环联结在一起，相互促进、相互协调，其间的物流、能流和信息流始终永不停息地循环和运转着，而萌动期则是整个草地生态系统循环的关键期和脆弱期，生物和环境因子间发生着剧烈的能量流动和物质交换，也是牧草萌动生长对外界环境变化最为敏感的时期。

✓研究表明，太阳辐射是驱动草地生态系统循环的主要生态动力源，春季，随着太阳辐射的增加，地温逐渐升高，土壤解冻，土壤有效含水量增加，草地土壤水热耦合作用使得土壤微生物以及酶活性增强，水热条件以及环境因子的改善促进牧草由冬季休眠状态进入生理活跃状态。草地生态系统各组分间的物流和能流也由冬季休眠状态下低速循环逐渐进入到生长季的高效运转，促使系统启动，同时，系统在物质转移和能量流动方面出现新的特质。

- 对典型草原返青期放牧 生态系统管理的研究结果认为，春季返青期的家畜采食作用对整个生长季典型草原生态系统产生显著负效应。（李青丰等2000—2005）
- Mathew, E.D. 等(2004)研究结果认为加强春季返青期草地生态系统的调控和管理是维持该系统可持续发展的重要举措。
- Woledge, J., 1988; Booth, 1992; Hou and Romo, 1997; 草地管理实践的研究认为在牧草春季返青萌动生长期应停止利用，否则会严重影响牧草正常的生长，甚至导致牧草死亡。

- **(二) 研究目的和意义:**通过研究萌动期草地生态系统启动机制, 探讨土壤水热耦合对草地生态系统各组分的效应, 土壤微生物种群数量动态、酶活性的动态变化规律以及牧草萌动期内源激素的调控、营养物质的运移对环境剧烈变化的**响应机制**, 对于草地的科学管理, 尤其是**确定典型草原的适宜利用时期及春季牧草生长发育关键时期的管理手段具有重要的现实意义**, 为草地的可持续利用提供有力的支撑。同时, 本研究将在一定程度上阐述典型草原春季返青期生态系统启动机制, 对完善草地生态系统研究具有重要的理论意义。

二、主要研究内容及思路

- 典型草原返青期土壤水分和地温变化规律；
- 典型草原返青期土壤微生物数量和酶活性动态变化规律；
- 多年生牧草春季返青期萌动生长生理生化特性动态变化规律；
- 典型草原返青期土壤温度变化对土壤微生物数量、土壤酶活性和牧草萌动生长的影响；
- 典型草原返青期土壤水分变化对土壤微生物数量、土壤酶活性和牧草萌动生长的影响。

太阳辐射

土壤温度

土壤水分

草地水热动态

土壤微生物活性

土壤酶活性

萌动期草地生态系统启动机制

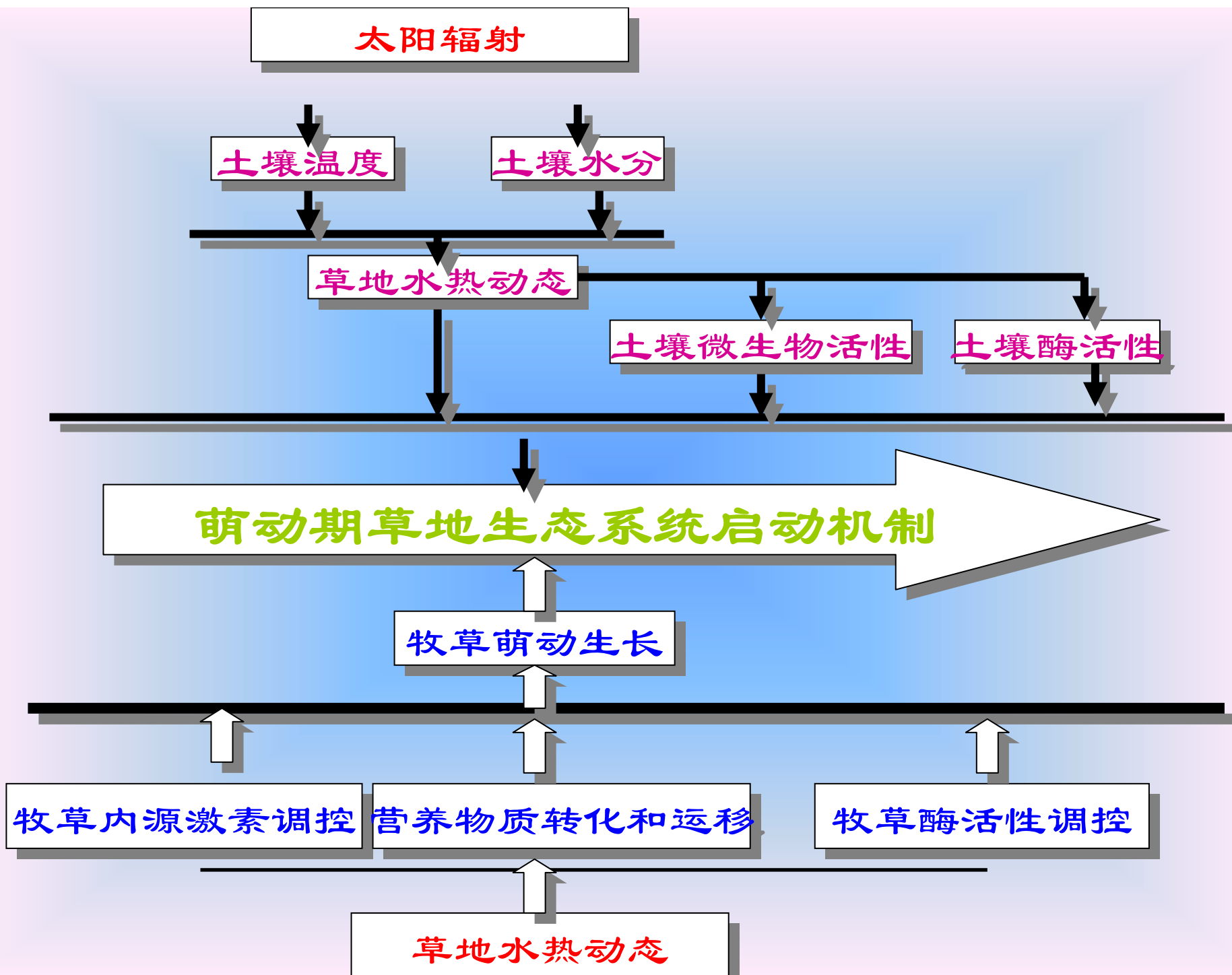
牧草萌动生长

牧草内源激素调控

营养物质转化和运移

牧草酶活性调控

草地水热动态



三、研究结果与讨论

(一) 土壤水分和温度变化

- 土壤温度和水分是重要土壤环境因子，土壤温度和水分动态变化直接影响土壤能量流动和物质运移，一方面影响土壤微环境，对土壤微生物区系动态和土壤酶活性有重要作用，另一方面土壤温度和水分又直接影响典型草原返青期多年生牧草萌动生长。而返青期典型草原土壤温度和土壤水分变化最为剧烈，该阶段土壤环境因子的对整个草地生态系统具有重要作用。

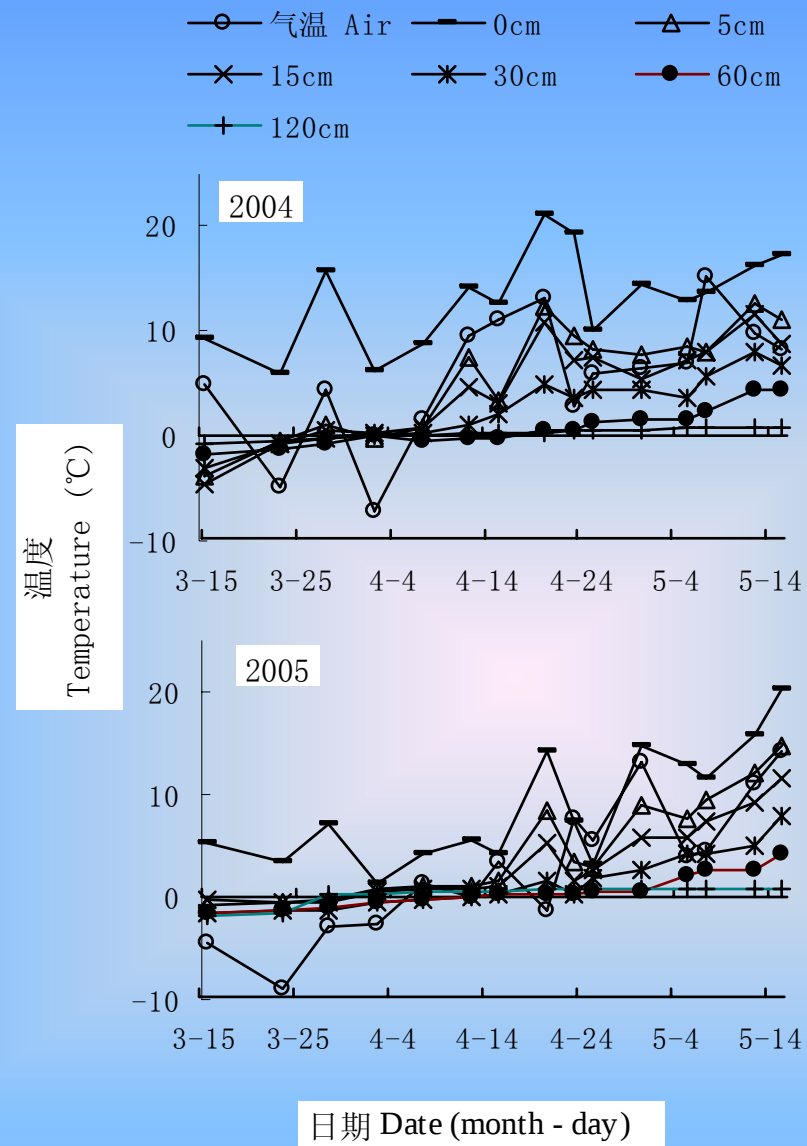


图 3—1返青期典型草原气温和0cm, 5cm, 15cm, 30cm, 60cm 和120 cm地温动态变化 (n = 24)

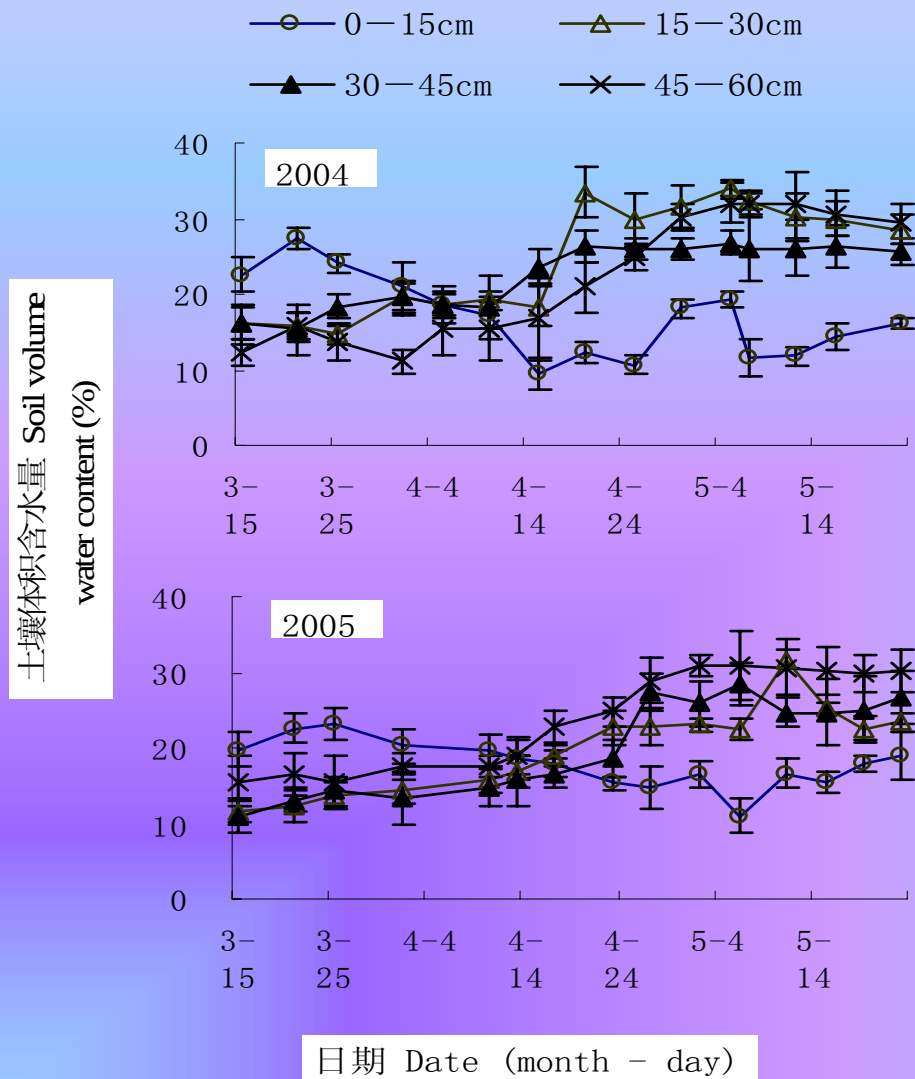


图 3—2典型草原返青期0—15cm, 15-30cm 30-45 和45-60cm 土壤水分动态(平均值± S. E., n = 24))

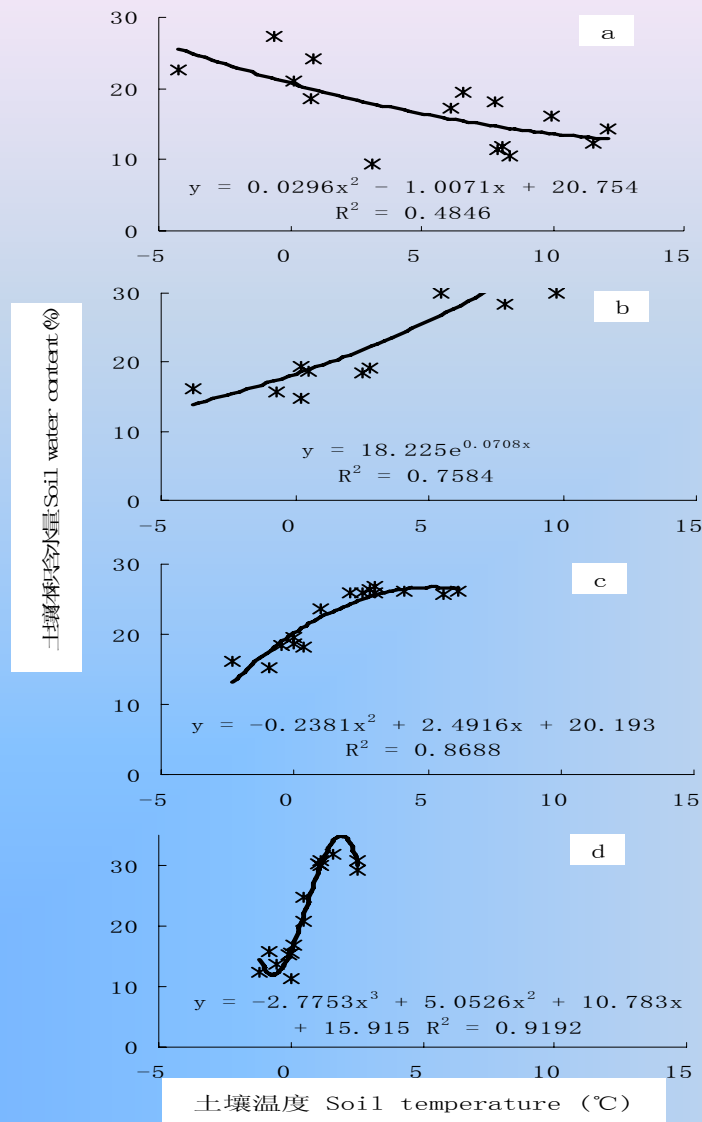


图 3—3典型草原返青期土壤水分和温度相关性动态，其中a, b, c, d 分别为0—15cm, 15—30cm, 30—45cm, 45—60cm土层（2004）。

（二）土壤微生物数量动态变化

- 土壤微生物是土壤中物质的循环的调节者，同时也是有机物质库和速效养分的一部分，其主要生物类群为细菌、酵母菌、放线菌和真菌以及其它小于 $5 \times 10^3 \mu m^3$ 的原生动物，其类群大小以及区系组成是综合反映土壤生物活性强度及有机质分解过程的重要指标（祝廷成，1985；廖仰南，1988）。本研究仅对典型草原返青期土壤细菌、酵母菌、放线菌和真菌区系组成动态变化进行了深入探讨。

表3—1 典型草原返青期土壤细菌数($\times 10^8$ /克.鲜土)动态变化

日期		土壤深度 Soil depth (cm)			
Date		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60cm
2004 年	4 月 5 日	1.33d	1.20f	3.80g	1.41e
	4 月 10 日	1.83c	2.68e	4.39f	2.48d
	4 月 15 日	2.06b	3.27d	6.98e	2.91d
	4 月 20 日	2.74a	4.19c	9.65a	4.98a
	4 月 25 日	2.65a	4.41c	9.14b	4.31b
	4 月 30 日	1.21d	5.11b	8.76c	3.94c
	5 月 5 日	1.59c	5.42a	8.07d	4.07c
	5 月 10 日	1.78c	5.89a	7.93e	4.38b
2005 年	4 月 5 日	0.14d	0.83e	1.80f	2.41e
	4 月 10 日	0.69c	0.46f	3.33e	3.48d
	4 月 15 日	1.46b	1.82d	5.17d	3.91c
	4 月 20 日	2.50b	4.25b	8.79b	4.34b
	4 月 25 日	3.05a	4.05b	9.36a	5.11a
	4 月 30 日	2.75a	3.75c	9.24a	3.56d
	5 月 5 日	2.91a	5.35a	8.07c	4.07b
	5 月 10 日	2.83a	5.37a	8.21c	4.32b

注：同列中标有不同字母表示差异显著（ $P \leq 0.05$, $n = 4$ ），显著性比较仅限于同层土壤。

表3—2 典型草原返青期土壤酵母菌数($\times 10^4$ /克.鲜土)动态变化

日期 Date		土壤深度 Soil depth (cm)			
		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60cm
2004 年	4 月 5 日	1.62d	1.42e	0.09c	0.19f
	4 月 10 日	8.76c	10.21d	6.42b	1.78e
	4 月 15 日	26.42a	20.32c	7.57b	2.00e
	4 月 20 日	25.00a	28.60a	13.75a	2.99d
	4 月 25 日	23.97a	24.13b	13.98a	3.12c
	4 月 30 日	20.19b	24.58b	10.91a	3.67b
	5 月 5 日	21.80b	29.55a	11.95a	4.98a
	5 月 10 日	23.14a	33.62a	12.83a	4.11a
2005 年	4 月 5 日	2.14e	1.24e	0.04e	0.03e
	4 月 10 日	4.33d	11.35d	5.23d	1.17d
	4 月 15 日	26.57a	15.34c	7.19c	1.92c
	4 月 20 日	28.00a	16.85bc	15.23a	2.23c
	4 月 25 日	18.93bc	27.31a	13.06ab	2.65b
	4 月 30 日	16.41c	18.24b	8.13b	3.11ab
	5 月 5 日	21.22b	19.72b	9.48b	3.78a
	5 月 10 日	20.92b	22.67b	13.41ab	3.96a

注：同列中标有不同字母表示差异显著（ $P \leq 0.05$, $n = 4$ ），显著性比较仅限于同层土壤。

表3—3 典型草原返青期土壤放线菌数($\times 10^4$ /克.鲜土)动态变化

日期		土壤深度 Soil depth (cm)			
Date		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60cm
2004 年	4 月 5 日	4.9e	3.53c	1.67e	1.59f
	4 月 10 日	5.43d	3.68c	1.99d	2.56e
	4 月 15 日	5.99dc	4.09b	2.38d	3.23d
	4 月 20 日	6.97c	4.26b	2.92c	4.60c
	4 月 25 日	8.12b	4.13b	3.33b	6.12a
	4 月 30 日	8.67b	4.67ab	3.54bc	6.03a
	5 月 5 日	10.59a	4.97a	4.10a	8.45ab
	5 月 10 日	11.36a	5.22a	4.36a	8.09b
2005 年	4 月 5 日	1.67d	2.13d	2.06c	1.24d
	4 月 10 日	4.38c	4.17c	1.86c	1.87d
	4 月 15 日	5.11c	5.33c	2.41b	3.09c
	4 月 20 日	7.12b	6.11b	2.79b	4.14c
	4 月 25 日	7.77b	6.84b	4.12a	5.48b
	4 月 30 日	9.10a	7.35ab	3.89a	6.23ab
	5 月 5 日	10.30a	8.15a	4.08a	6.69ab
	5 月 10 日	9.71a	9.35a	4.63a	7.22a

注：同列中标有不同字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$, $n = 4$)，显著性比较仅限于同层土壤。

表3—4 典型草原返青期土壤真菌数($\times 10^3$ /克.鲜土)动态变化

	日期	土壤深度 Soil depth (cm)			
	Date	0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60cm
2004 年	4 月 5 日	2.30c	0.60d	0.30c	0.12c
	4 月 10 日	3.12b	1.35c	0.47b	0.06c
	4 月 15 日	3.68b	1.41c	0.49b	0.11c
	4 月 20 日	4.05ab	1.55c	0.61a	0.10c
	4 月 25 日	4.12ab	4.14a	0.75a	0.36b
	4 月 30 日	4.81a	3.62b	0.77a	0.52a
	5 月 5 日	5.20a	4.20a	0.80a	0.60a
	5 月 10 日	5.12a	4.19a	0.76a	0.68a
2005 年	4 月 5 日	1.40d	0.10f	0.46	0.03
	4 月 10 日	2.43c	0.92e	0.39	0.11
	4 月 15 日	2.31c	1.42de	0.51	0.07
	4 月 20 日	3.05b	2.84c	0.72	0.14
	4 月 25 日	5.78a	4.28b	0.76	0.13
	4 月 30 日	3.48b	5.88a	0.74	0.38
	5 月 5 日	4.75a	5.28ab	0.89	0.46
	5 月 10 日	4.49a	5.14ab	0.81	0.48

注：同列中标有不同字母表示差异显著（ $P \leq 0.05$, $n = 4$ ），显著性比较仅限于同层土壤。

（三）土壤酶活性

- 土壤酶活性的高低是衡量土壤肥力高低的重要参考指标，土壤酶在土壤生物化学过程中，特别是对有机质的分解和转化过程中具有重要作用。土壤磷酸酶是一类催化土壤有机磷化合物矿化的酶，其活性高低直接影响着土壤中有机磷的转化及其生物有效性。
- 脲酶是一种水解性酶，又是一种专性酶，它能分解有机物，促其水解生成氨和二氧化碳，它的活性可以表示土壤氮素状况，尿酶活性与土壤可利用氮素营养呈显著正相关。

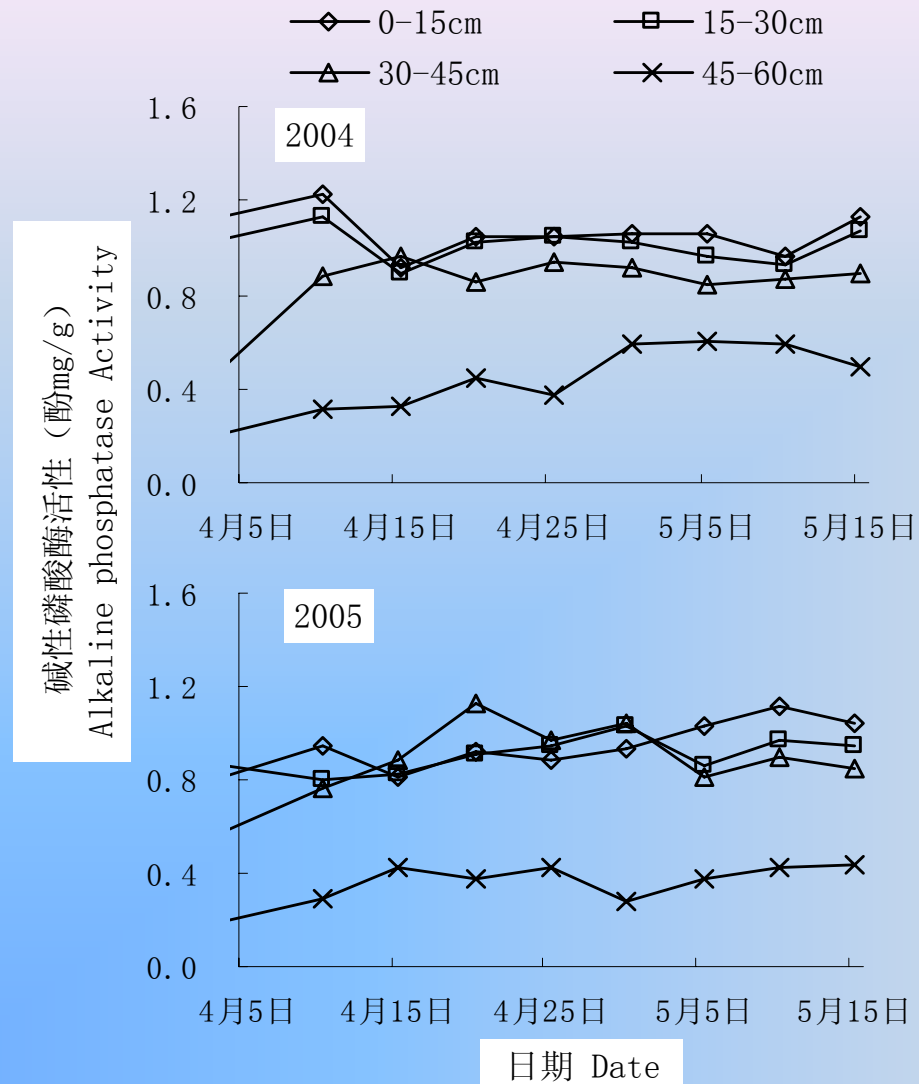


图3—4 典型草原返青期土壤碱性磷酸酶活性动态。

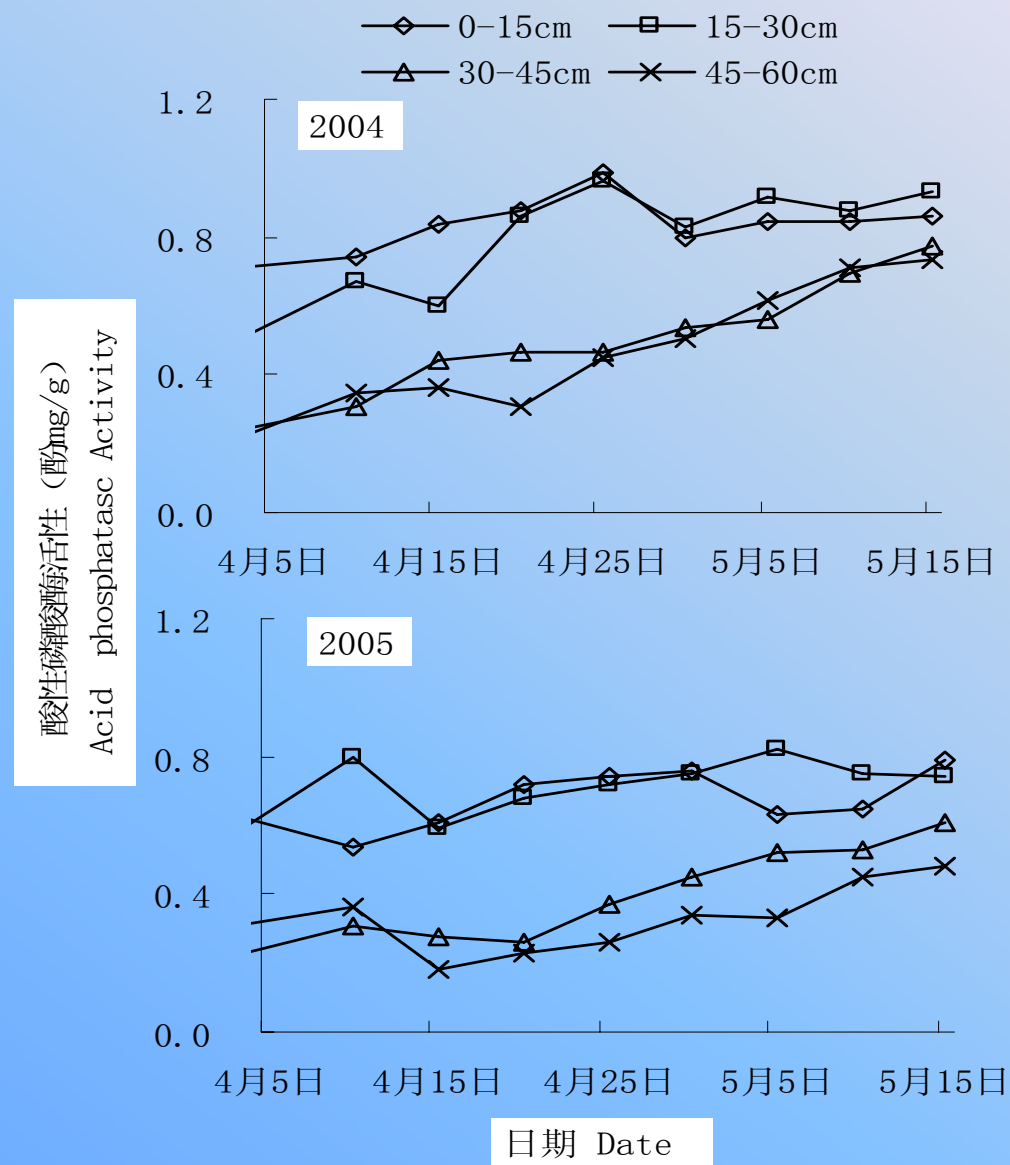


图3—5 典型草原返青期土壤酸性磷酸酶活性动态。

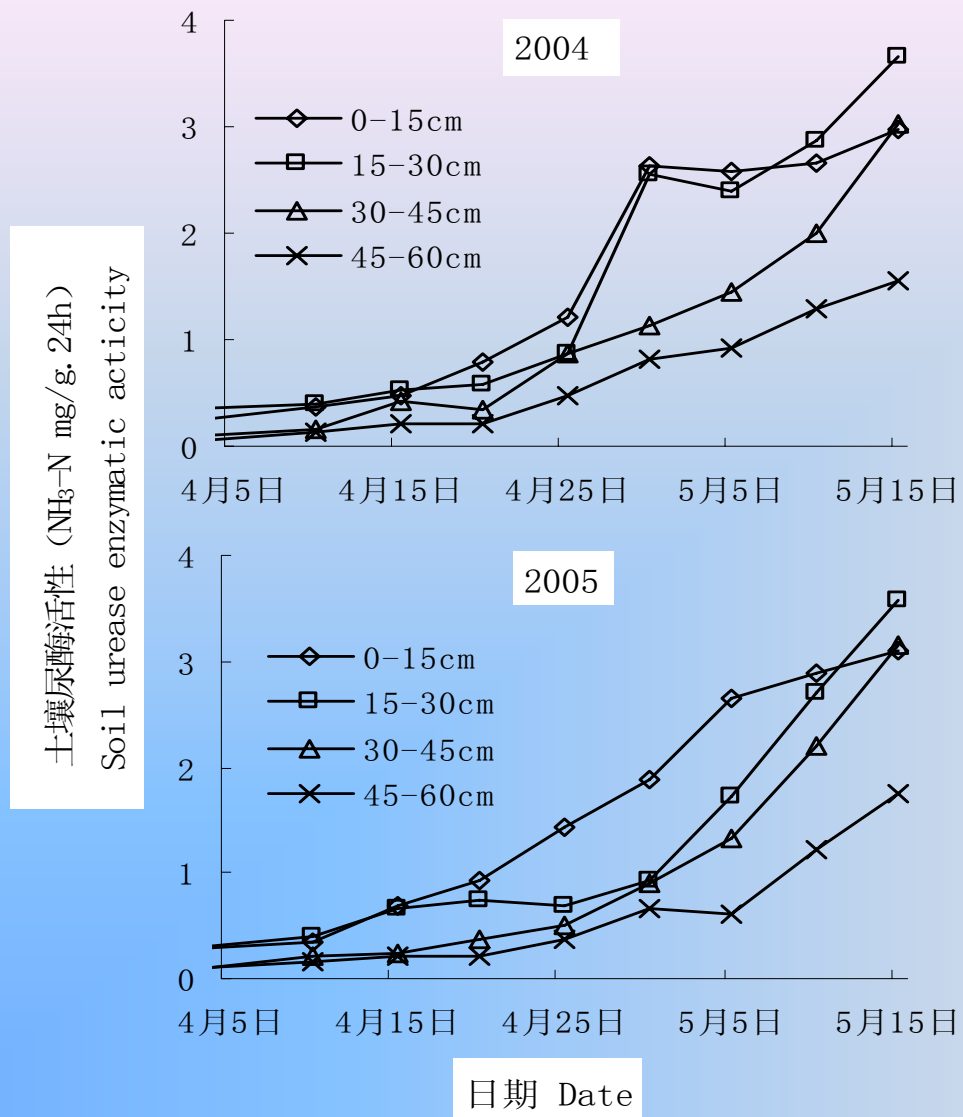


图3—6 典型草原返青期土壤脲酶酶活性动态。

（四）返青期多年生牧草萌动生长:

表3—5 典型草原返青期5种常见牧草最大无性系分株和种子实生幼苗密度 (/m², 平均数± S. E, n = 120)

牧草种 (Species)	无性系分株 (Ramet)	幼苗 (Seedling)
冷蒿 (<i>Artemisia frigida</i>) ⁽¹⁾	131 ±19 c	5 ±2 c
赖草 (<i>Leymus racemosus</i>) ⁽¹⁾	362 ±34 b	4 ±1 c
羊草 (<i>Leymus chinensis</i>) ⁽¹⁾	447 ±37 a	4 ±2 c
克氏针茅 (<i>Stipa krylovii</i>) ⁽¹⁾	102 ±24 c	17 ±4 b
披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>) ⁽¹⁾	94 ±15 c	54 ±6 a
冷蒿 (<i>Artemisia frigida</i>) ⁽²⁾	76 ±12 c	-
赖草 (<i>Leymus racemosus</i>) ⁽²⁾	387 ±20 b	-
羊草 (<i>Leymus chinensis</i>) ⁽²⁾	515 ±23 a	-
克氏针茅 (<i>Stipa krylovii</i>) ⁽²⁾	87 ±9 c	6 ±5 b
披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>) ⁽²⁾	39 ±14 d	17 ±4 a

注: (1), (2) 为分别为测定年限2004和2005; 同列中标有不同字母表示差异显著 ($P \leq 0.05$), 显著性比较仅限于同一测定年限。

表3—6 典型草原返青期5种常见多年生牧草无性系
分株出现率（%）动态变化

牧草种 (Species)	测定日期 (Research date, month-day)			
	3-30	4-10	4-20	4-30
冷蒿 (<i>Artemisia frigida</i>) ⁽¹⁾	-	7.4 c	25.9 d	82.4 a
赖草 (<i>Leymus racemosus</i>) ⁽¹⁾	5.2	32.4 a	78.7 a	92.1 a
羊草 (<i>Leymus chinensis</i>) ⁽¹⁾	-	21.3 b	52.6 b	90.7 a
克氏针茅 (<i>Stipa krylovii</i>) ⁽¹⁾	-	5.1 c	38.7 c	65.3 b
披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>) ⁽¹⁾	-	3.7 c	20.9 d	84.1 a
冷蒿 (<i>Artemisia frigida</i>) ⁽²⁾	-	5.9 b	24.1 d	80.9 a
赖草 (<i>Leymus racemosus</i>) ⁽²⁾	7.2	30.4 a	70.7 a	94.8 a
羊草 (<i>Leymus chinensis</i>) ⁽²⁾	-	25.9 a	55.4 b	91.6 a
克氏针茅 (<i>Stipa krylovii</i>) ⁽²⁾	-	6.7 b	36.5 c	70.4 b
披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>) ⁽²⁾	-	5.3 b	27.8 d	85.7 a

注：(1), (2) 为分别为测定年限2004和2005；同列中标有不同字母表示差异显著（ $P \leq 0.05$ ），显著性比较仅限于同一测定年限。

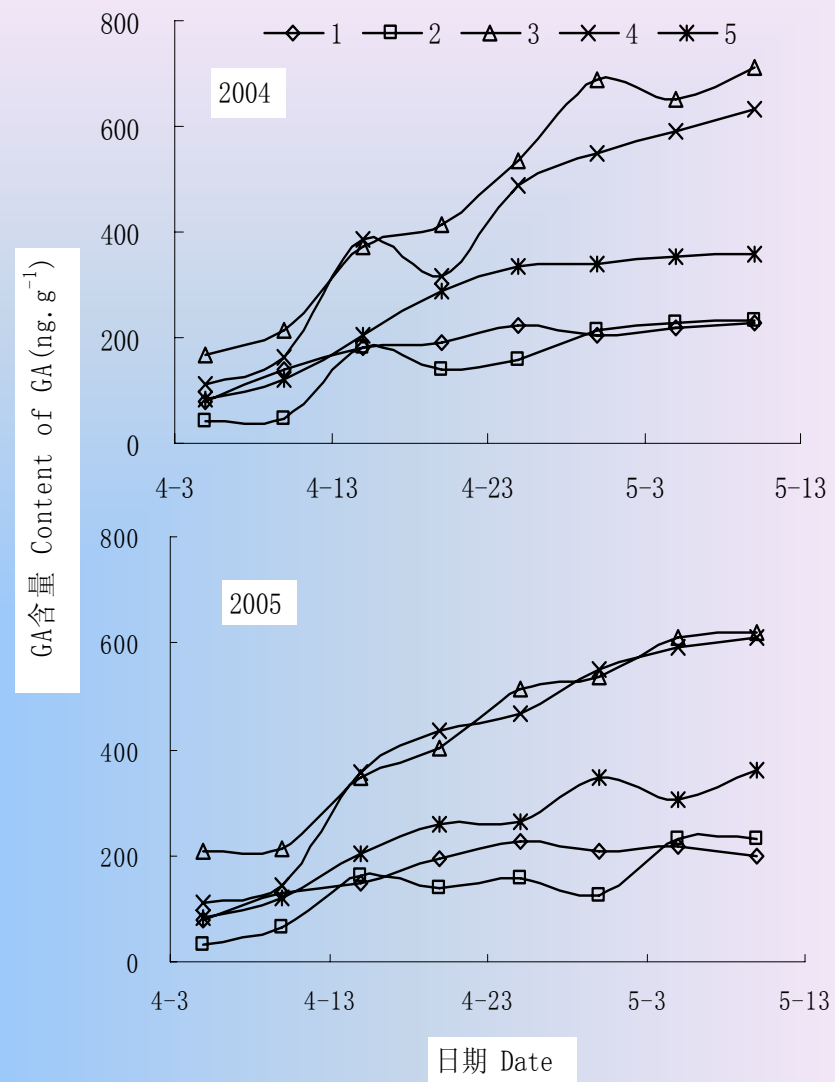
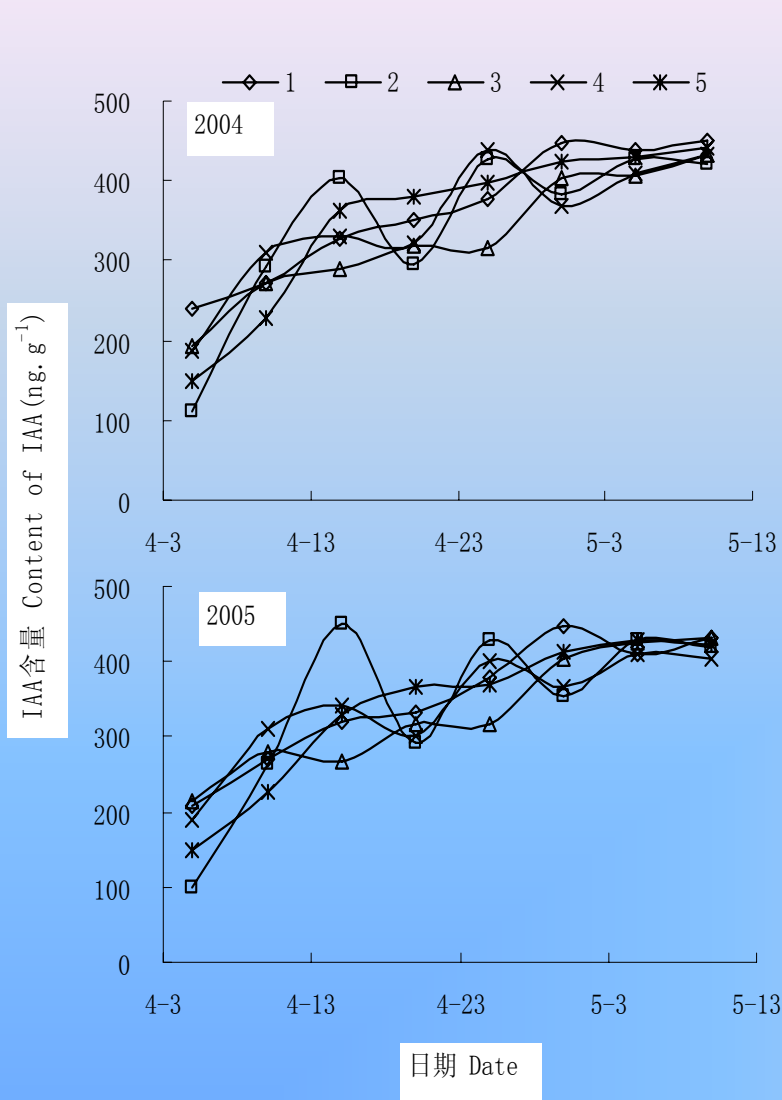
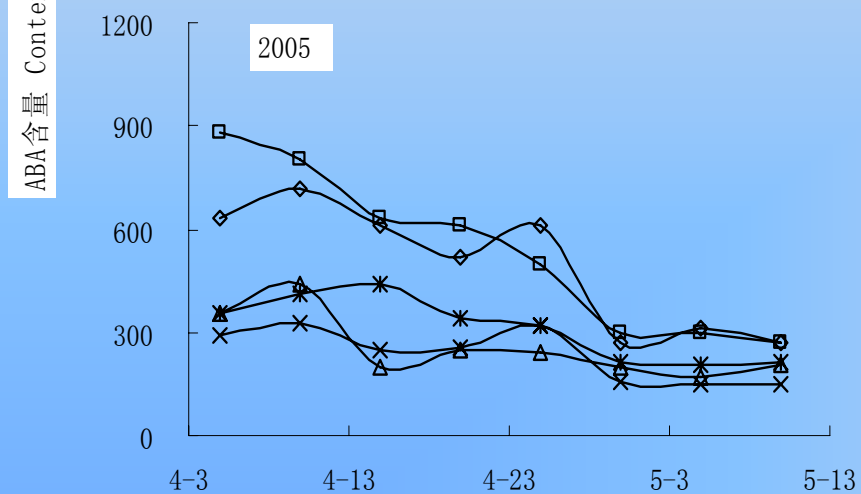
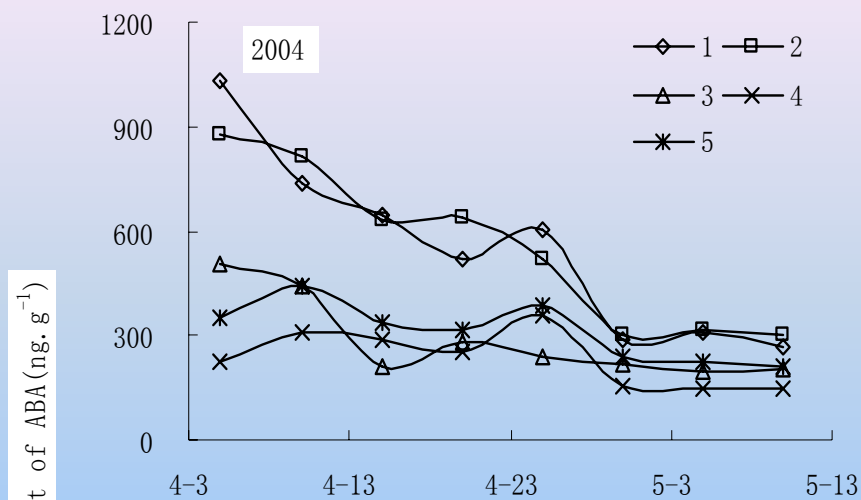
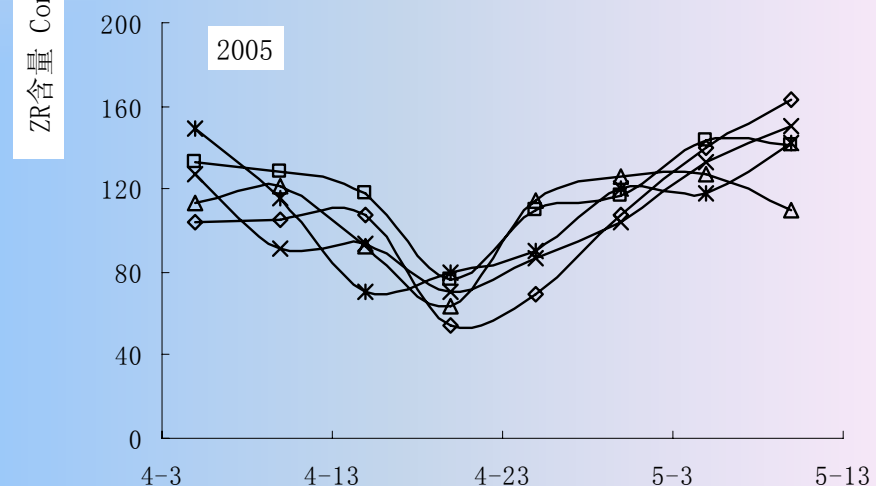
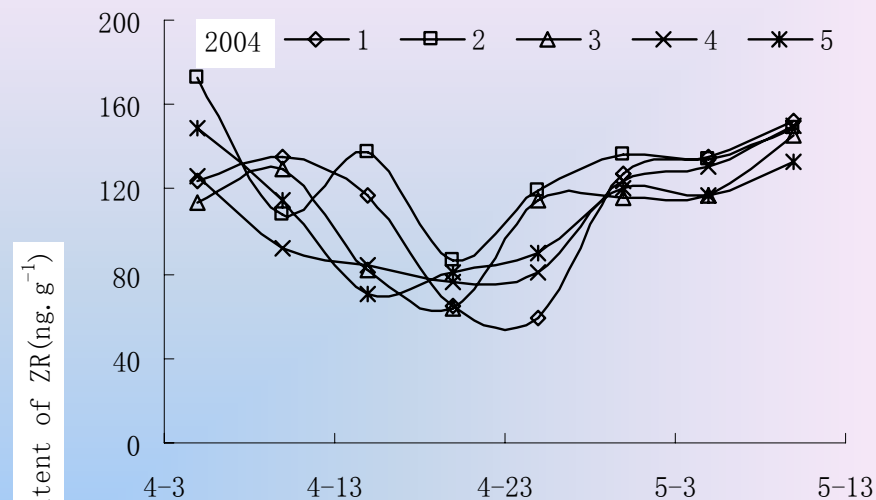


图3—7、8典型草原返青期5种常见多年生牧草芽IAA和GA含量动态变化。
1冷蒿、2披碱草、3赖草、4羊草、5克氏针茅



日期 Date



日期 Date

图3—9、10典型草原返青期5种常见多年生牧草芽ABA和ZR含量动态变化。
1冷蒿、2披碱草、3赖草、4羊草、5克氏针茅

表3—7 牧草春季萌动生长期IAA/ABA和GA/ABA的比值动态变化

草种 Grass species	日期（月-日） Date (month- day)							
	4-5	4-10	4-15	4-20	4-25	4-30	5-5	5-10
冷蒿 ⁽¹⁾ <i>Artemisia frigida</i>	0.23	0.37	0.36	0.68	0.63	1.41	1.42	1.68
披碱草 ⁽¹⁾ <i>Elymus rectisetus</i>	0.13	0.36	0.67	0.46	0.83	1.27	1.48	1.41
赖草 ⁽¹⁾ <i>Leymus racemosus</i>	0.38	0.61	1.35	1.14	1.33	1.85	2.04	2.10
羊草 ⁽¹⁾ <i>Leymus chinensis</i>	0.82	1.00	1.15	1.26	1.22	2.37	2.76	2.88
克氏针茅 ⁽¹⁾ <i>Stipa krylovii</i>	0.43	0.52	1.08	1.19	1.02	1.80	1.89	2.11
冷蒿 ⁽²⁾ <i>Artemisia frigida</i>	0.08	0.19	0.20	0.37	0.37	0.65	0.70	0.84
披碱草 ⁽²⁾ <i>Elymus rectisetus</i>	0.04	0.06	0.29	0.22	0.31	0.71	0.80	0.78
赖草 ⁽²⁾ <i>Leymus racemosus</i>	0.41	0.48	1.74	1.48	2.23	3.15	3.52	3.46
羊草 ⁽²⁾ <i>Leymus chinensis</i>	0.49	0.52	1.34	1.24	1.35	3.55	3.97	4.21
克氏针茅 ⁽²⁾ <i>Stipa krylovii</i>	0.24	0.28	0.61	0.90	0.86	1.47	1.56	1.72

（1）表示IAA/ABA比值；（2）表示GA/ABA比值。

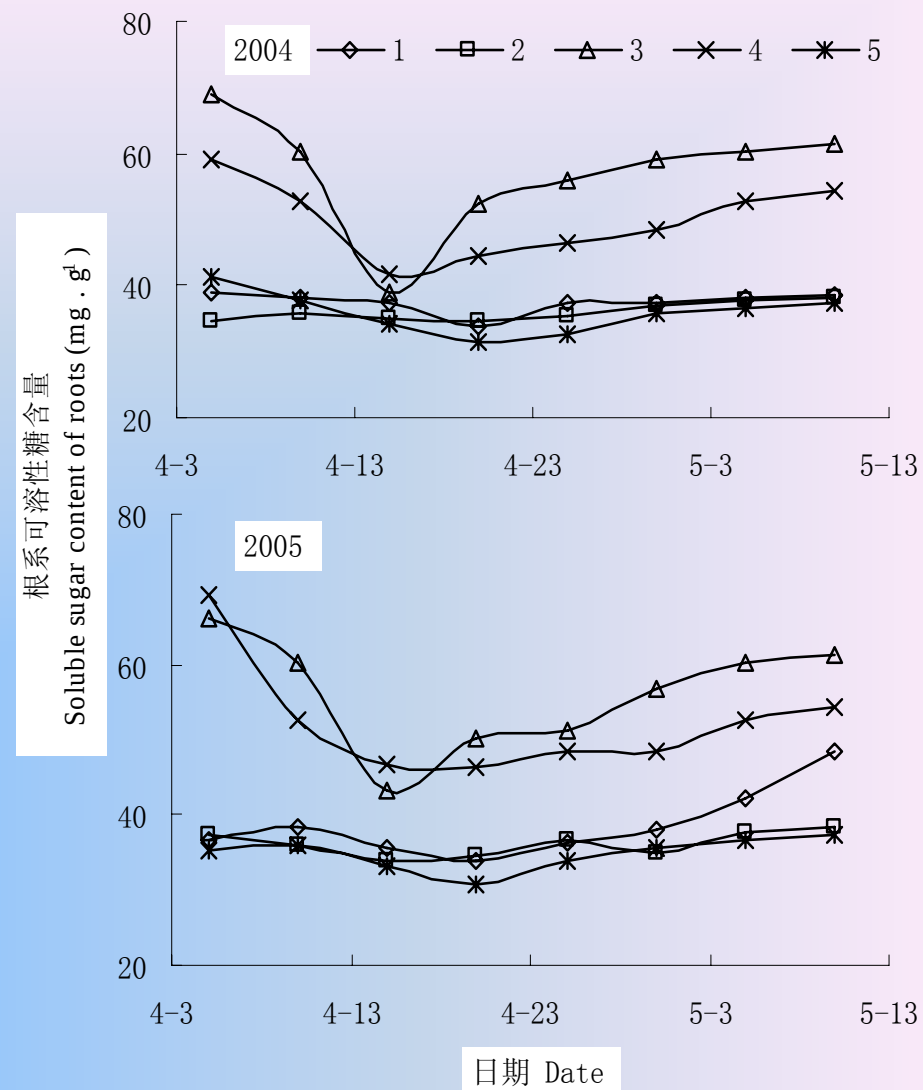
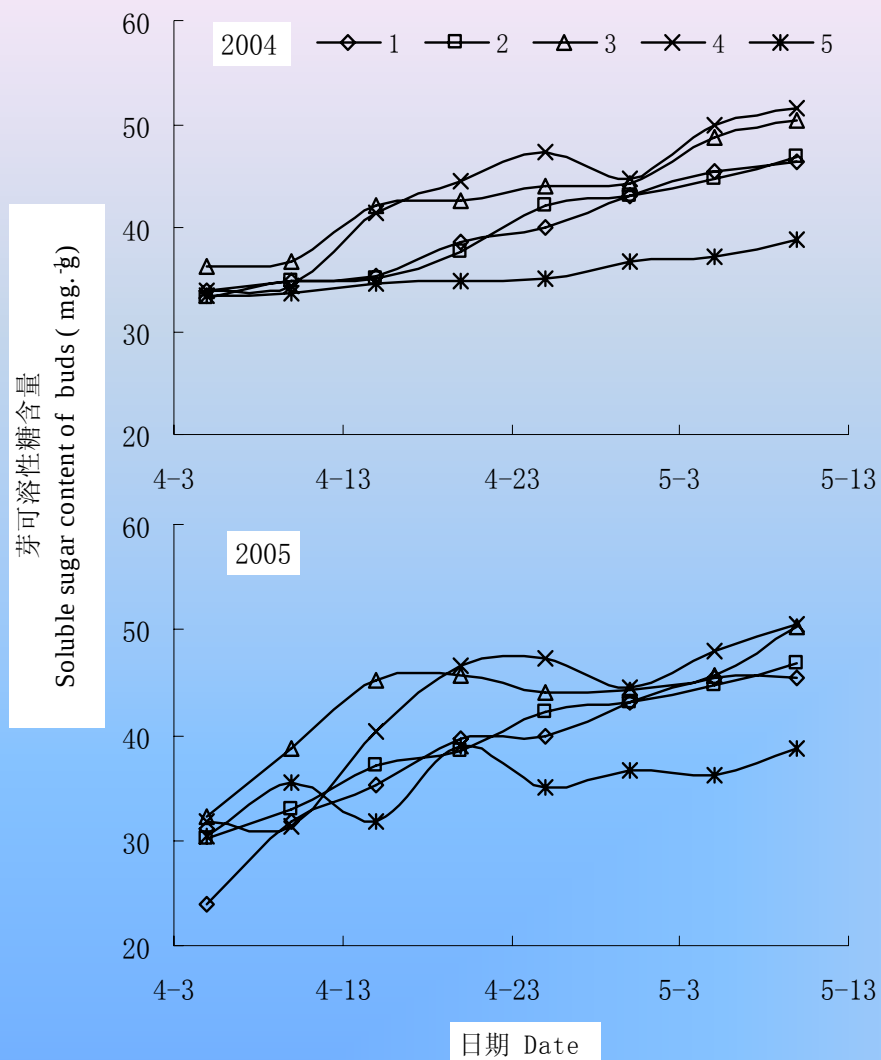


图3—11、12 典型草原返青期5牧草芽和根系可溶性糖含量动态变化. 1冷蒿、2披碱草、3赖草、4羊草、5克氏针茅。

表3—8 牧草春季萌动生长期芽硝酸还原酶活性（ $\mu\text{g/g}\cdot\text{h}$ ）动态变化

牧草 Grass species	日期（月-日） Date (month- day)							
	4-5	4-10	4-15	4-20	4-25	4-30	5-5	5-10
冷蒿 ⁽¹⁾ <i>Artemisia frigida</i>	1.1d	1.2c	1.0d	1.3d	1.4d	1.2c	1.2d	1.3c
披碱草 ⁽¹⁾ <i>Elymus rectisetus</i>	1.3d	1.6bc	1.5c	1.8c	1.7c	2.1b	2.4c	2.2b
赖草 ⁽¹⁾ <i>Leymus racemosus</i>	5.1a	4.7a	3.2a	3.6b	4.0a	4.3a	4.5a	5.3a
羊草 ⁽¹⁾ <i>Leymus chinensis</i>	4.3b	4.1a	3.8a	4.2a	3.6a	3.8a	3.5b	4.6a
克氏针茅 ⁽¹⁾ <i>Stipa krylovii</i>	1.9c	2.4b	2.2b	2.3c	1.9c	2.4b	2.4c	2.11b
冷蒿 ⁽²⁾ <i>Artemisia frigida</i>	1.2d	1.0c	1.1d	1.2d	1.4d	1.1c	1.2d	1.1c
披碱草 ⁽²⁾ <i>Elymus rectisetus</i>	1.3d	1.5bc	1.4c	1.9c	1.7c	2.0b	2.3c	2.0b
赖草 ⁽²⁾ <i>Leymus racemosus</i>	4.8a	4.4a	3.0a	3.4b	4.0a	4.5a	4.3a	5.1a
羊草 ⁽²⁾ <i>Leymus chinensis</i>	4.4b	4.3a	3.9a	4.0a	3.4a	3.9a	3.5b	4.8a
克氏针茅 ⁽²⁾ <i>Stipa krylovii</i>	2.0c	2.6b	2.4b	2.2c	2.0c	2.3b	2.4c	2.0b

注：(1)，(2) 为分别为测定年限2004和2005；同列中标有不同字母表示差异显著（ $P \leq 0.05$ ），显著性比较仅限于同一测定年限。

(五) 土壤温度对土壤微生物数量的影响

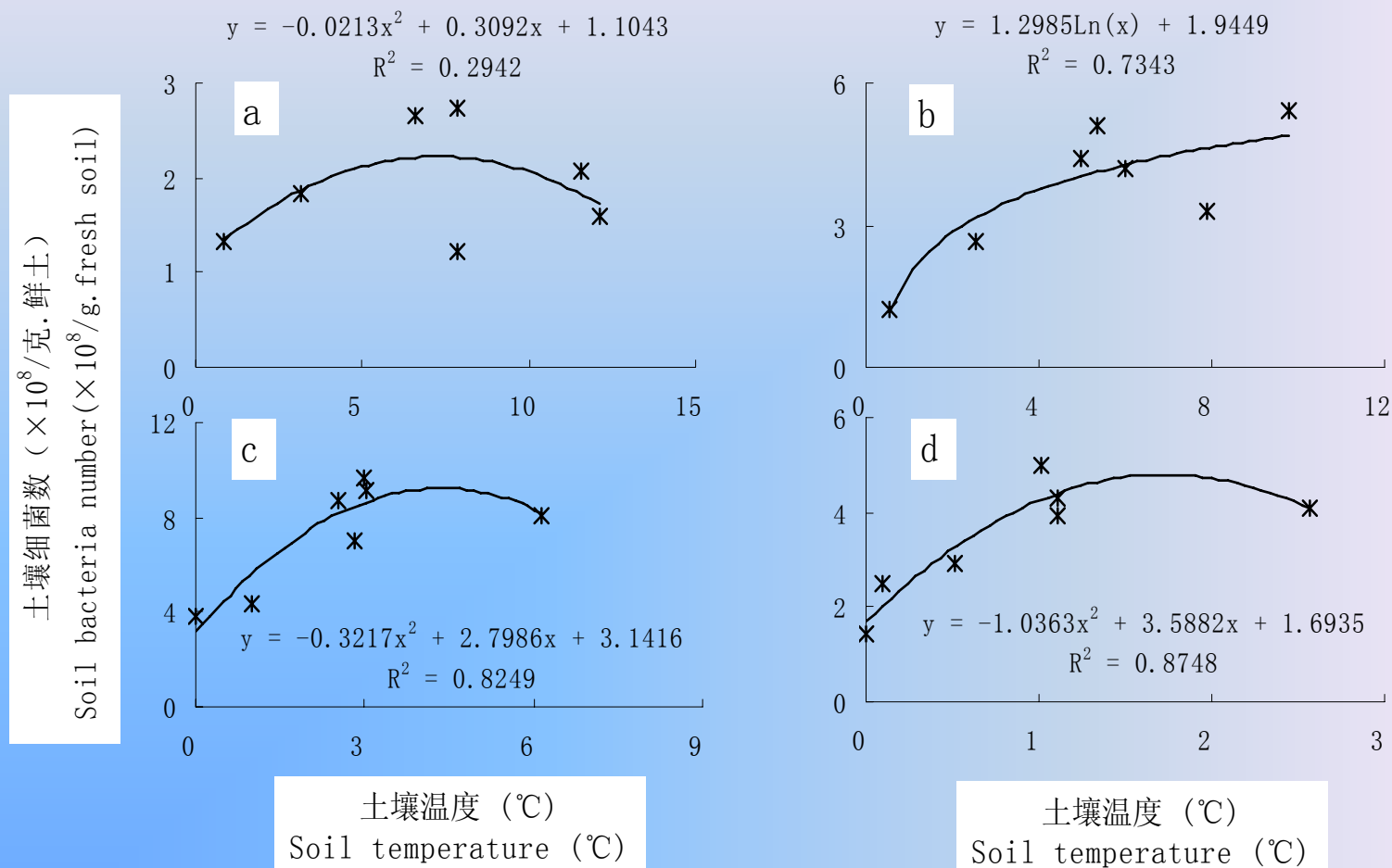


图3—13典型草原返青期土壤温度和土壤细菌数相关性(a, 0—15; b, 15—30; c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层)

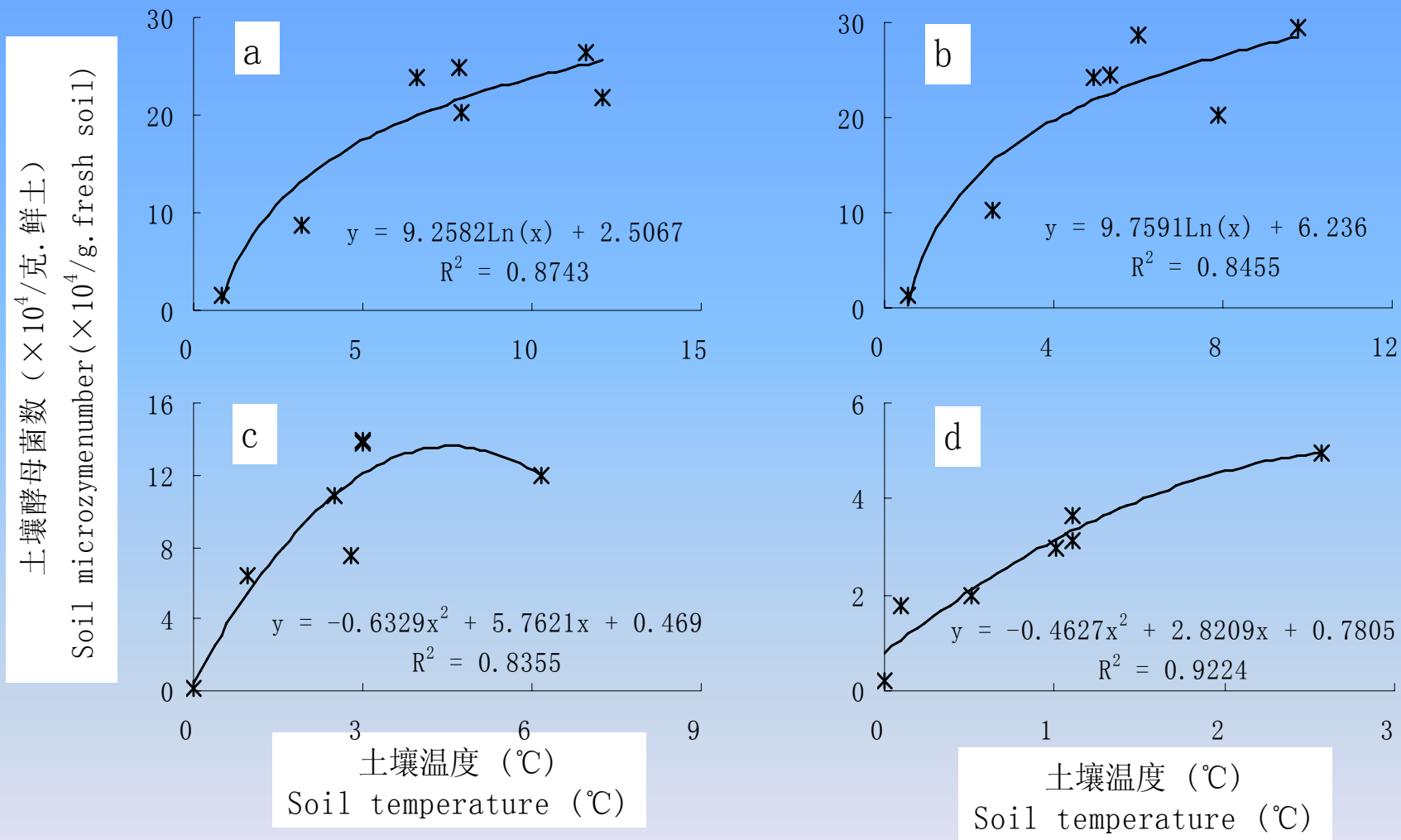
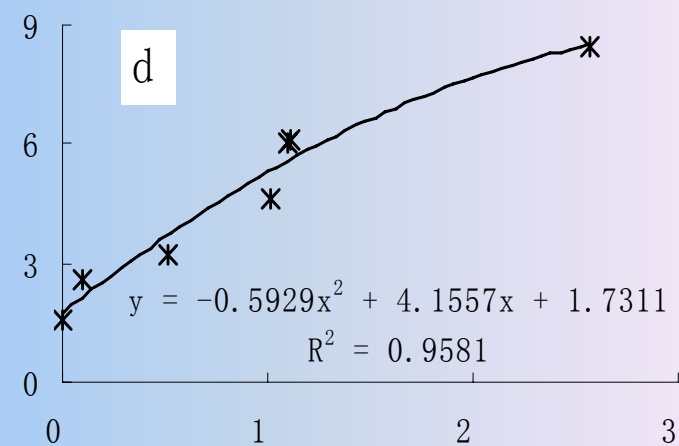
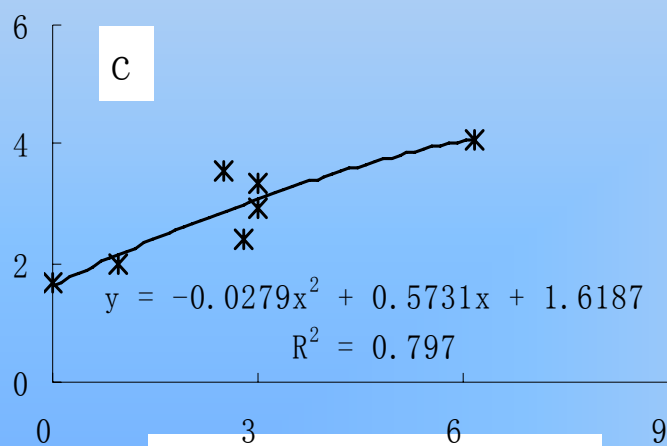
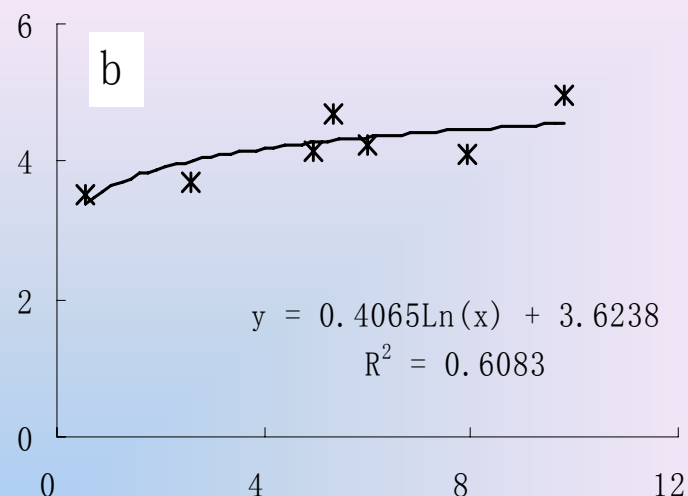
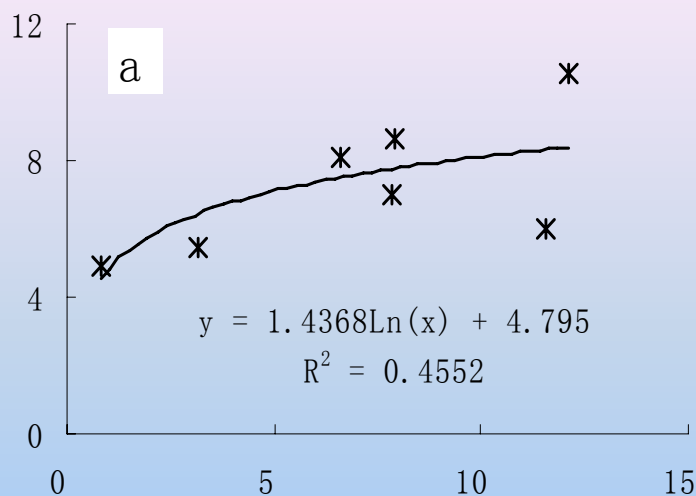


图3—14 典型草原返青期土壤温度和土壤酵母菌数量相关性(a, 0—15; b, 15—30; c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层)

土壤放线菌数 ($\times 10^4$ /克·鲜土)

Soil actinomycetes number ($\times 10^4$ /g. fresh



土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$)
Soil temperature ($^{\circ}\text{C}$)

土壤温度 ($^{\circ}\text{C}$)
Soil temperature ($^{\circ}\text{C}$)

图3—15 典型草原返青期土壤温度和土壤放线菌数量相关性(a, 0—15; b, 15—30; c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层)

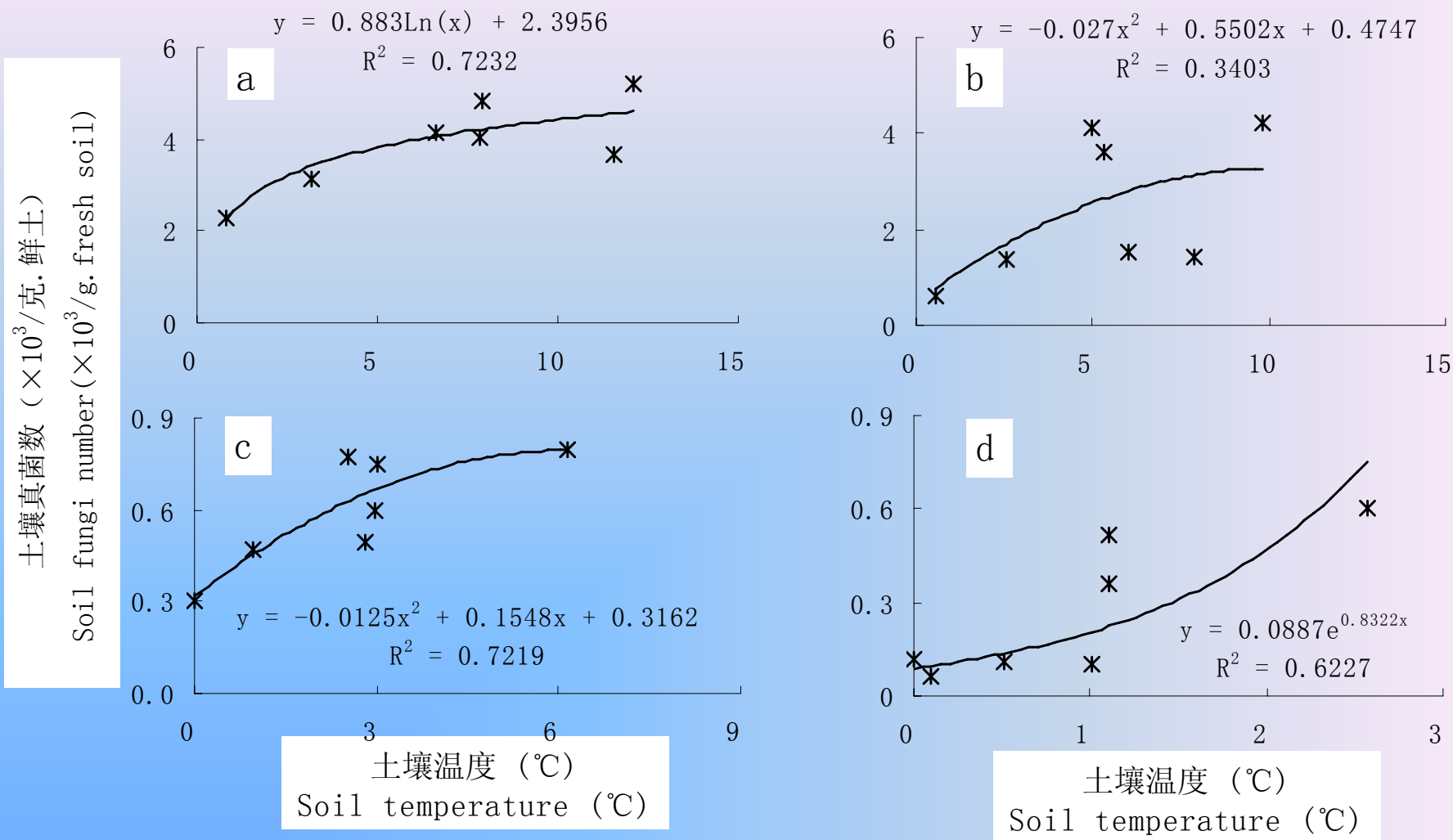


图3—16 典型草原返青期土壤温度和土壤真菌数量相关性(a, 0—15; b, 15—30, c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层);

(六) 土壤温度变化对土壤酶活性的影响

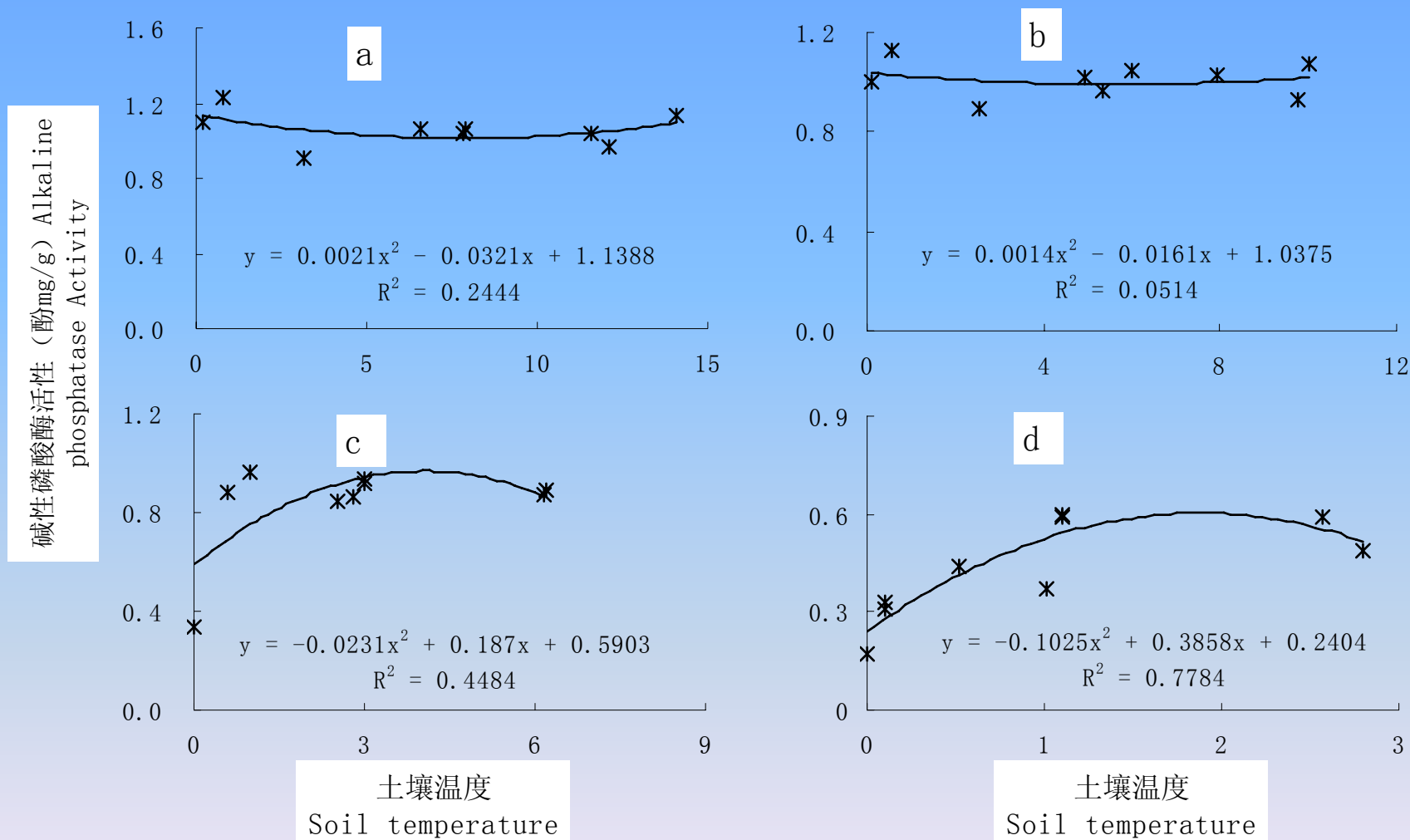


图3—17 典型草原返青期土壤温度和土壤碱性磷酸酶活性相关性(a, 0—15; b, 15—30; c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层)

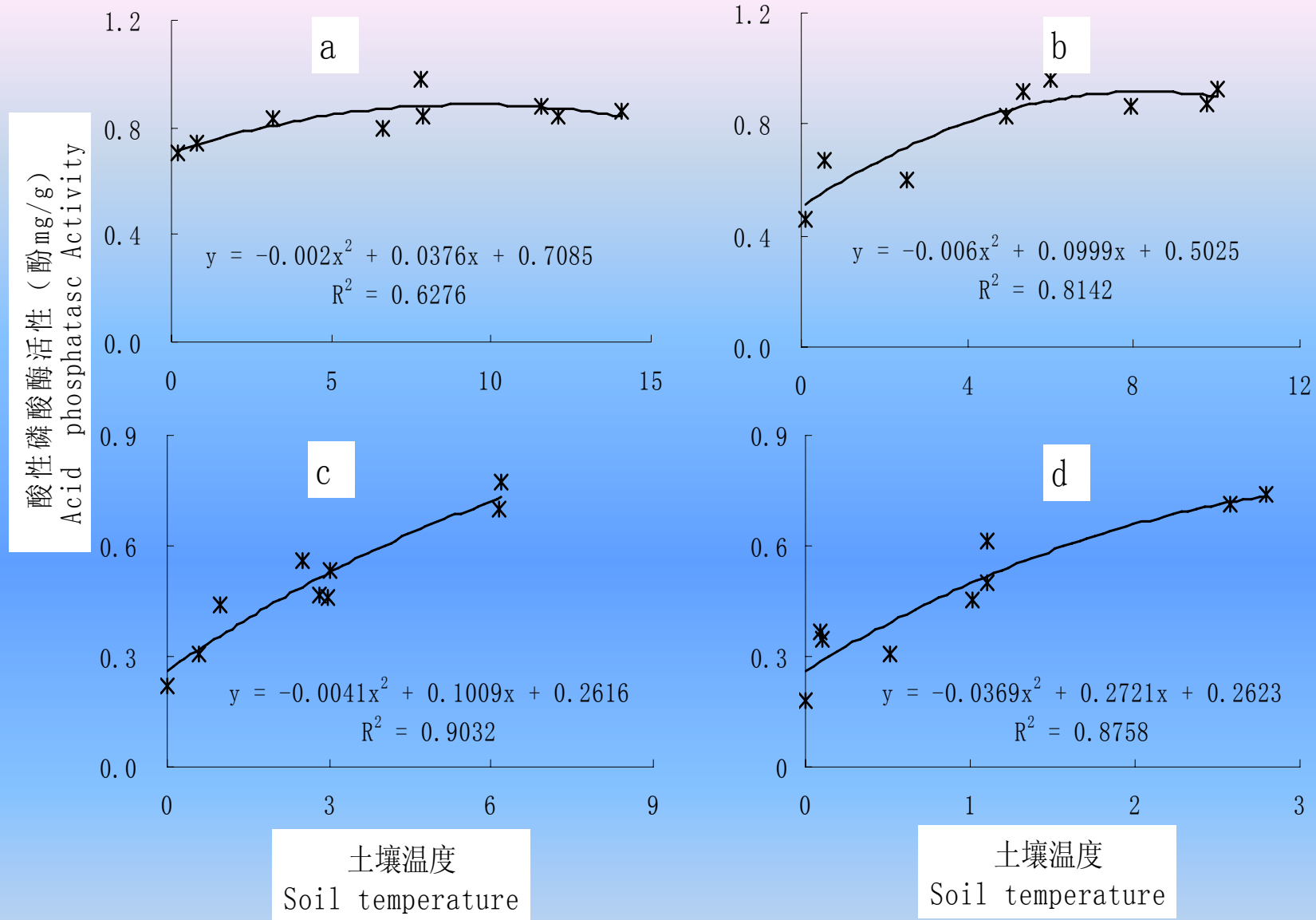


图3—18典型草原返青期土壤温度和土壤酸性磷酸酶活性相关性(a, 0—15; b, 15—30; c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层)

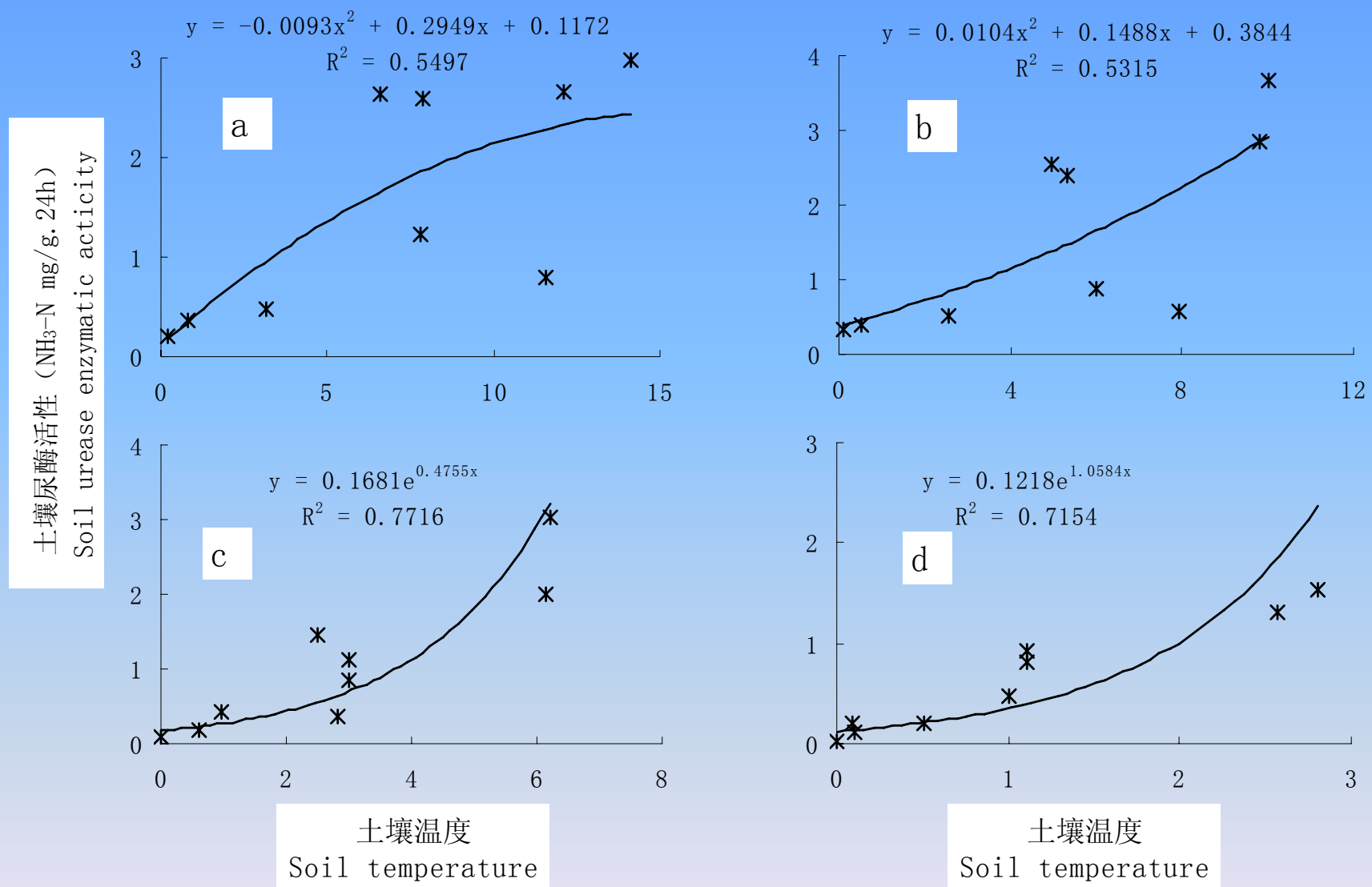


图3—19典型草原返青期土壤温度和尿酶活性相关性(a, 0—15; b, 15—30; c, 30—45; d, 45—60 cm 土壤层)

(七) 土壤温度变化对牧草萌动生长的影响

1、土壤温度对内源激素的影响:

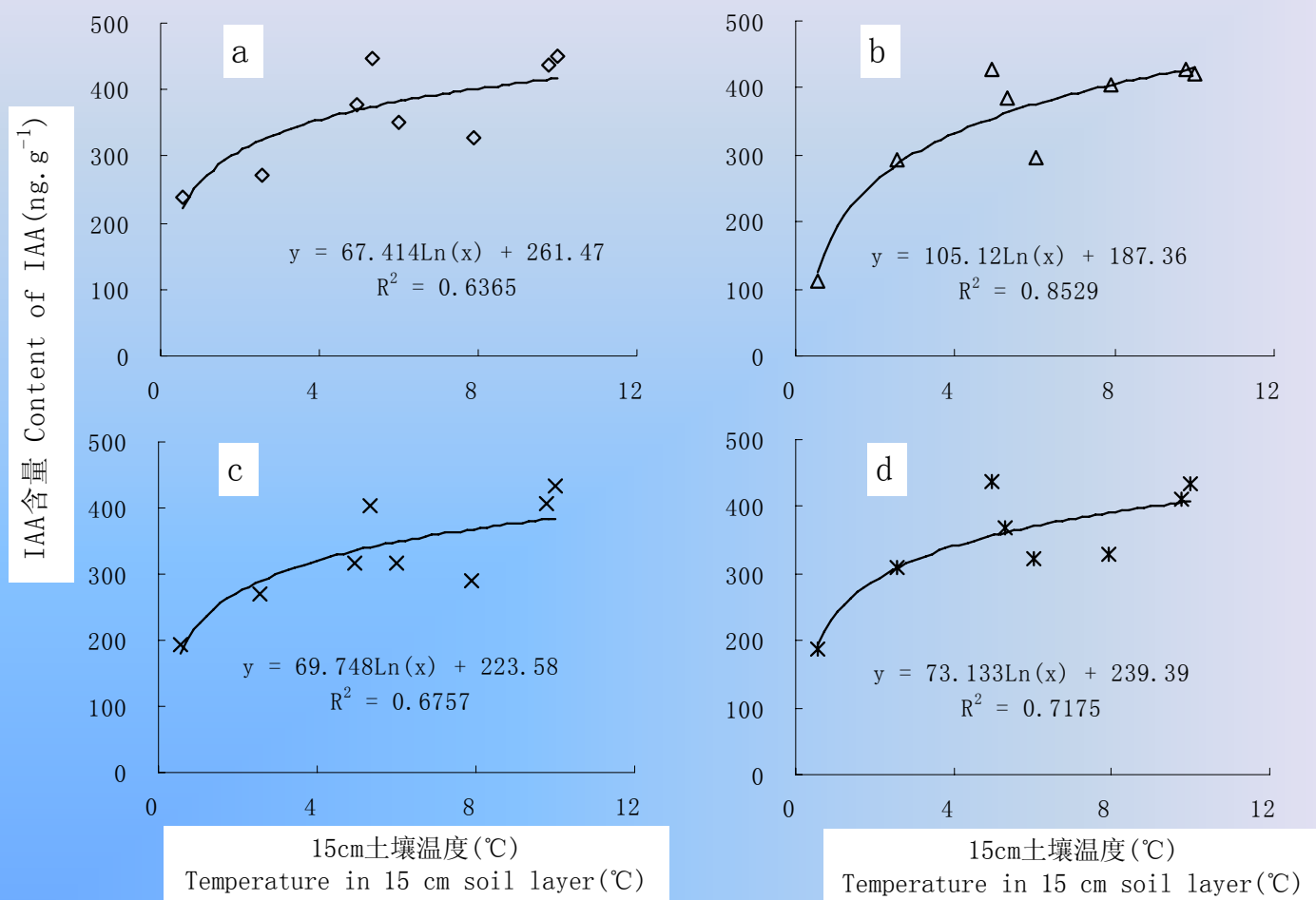


图3—20原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长 IAA水平相关性 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

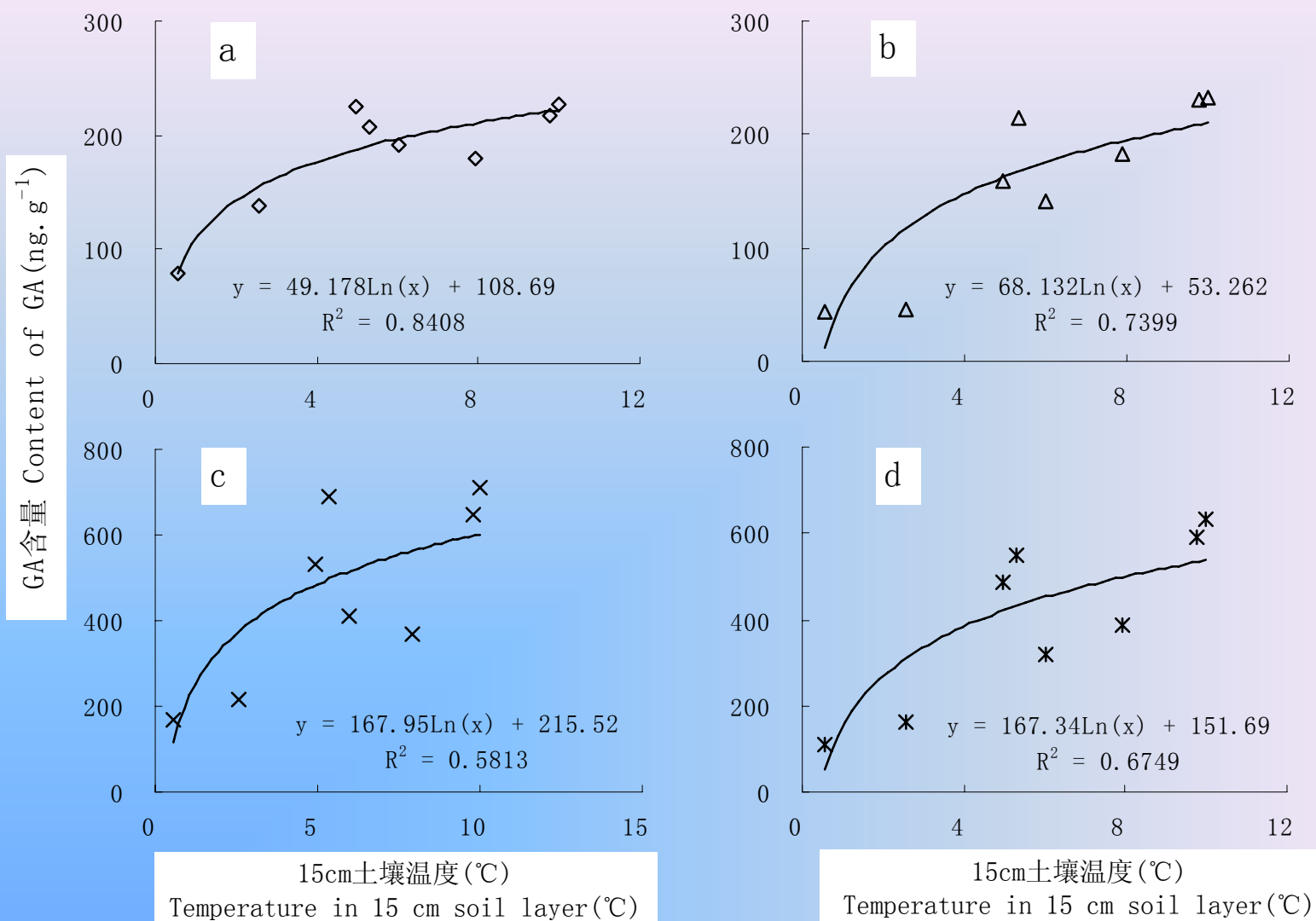


图3—21原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长GA水平相关性 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

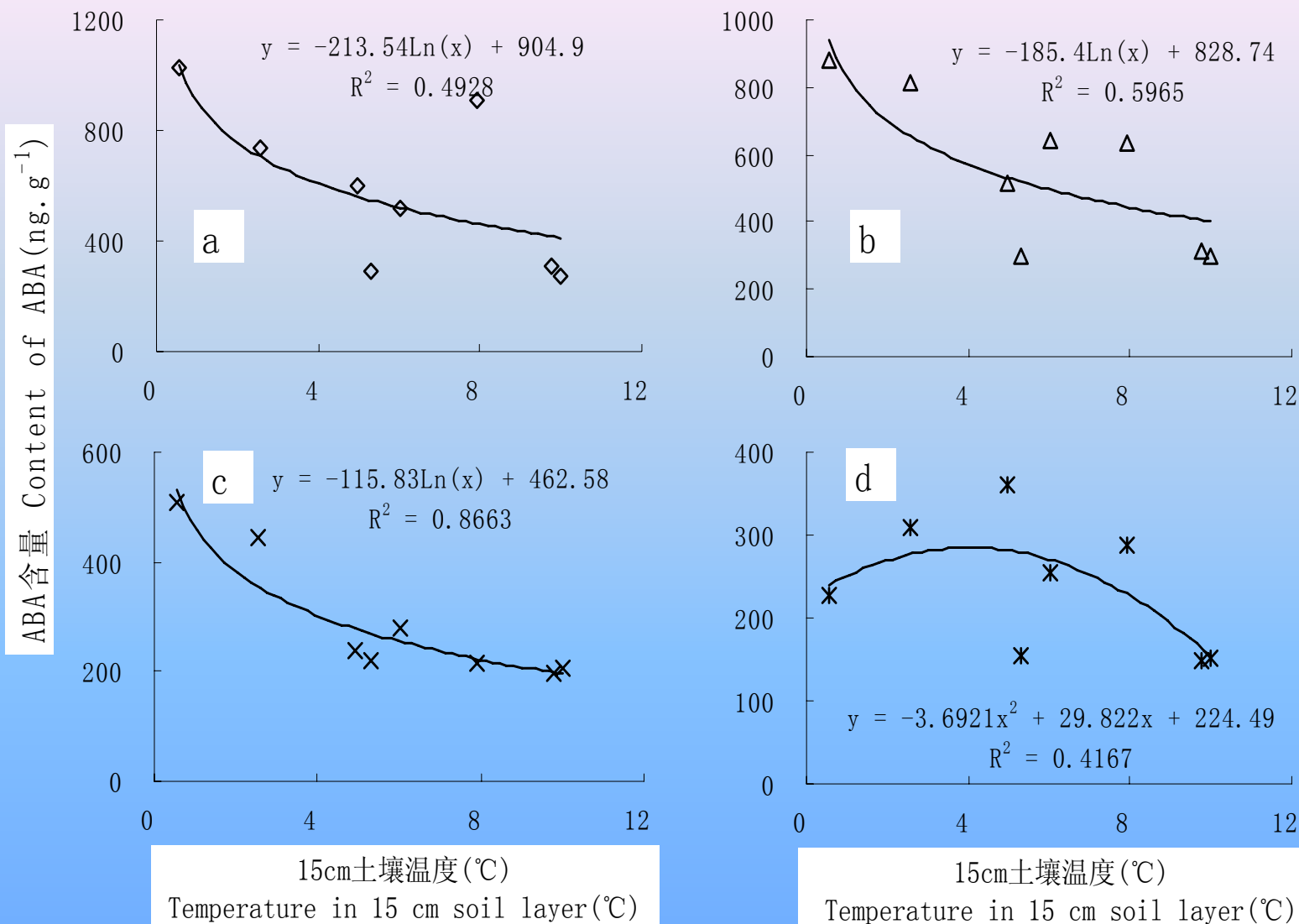


图3—22原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长 ABA水平相关性 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

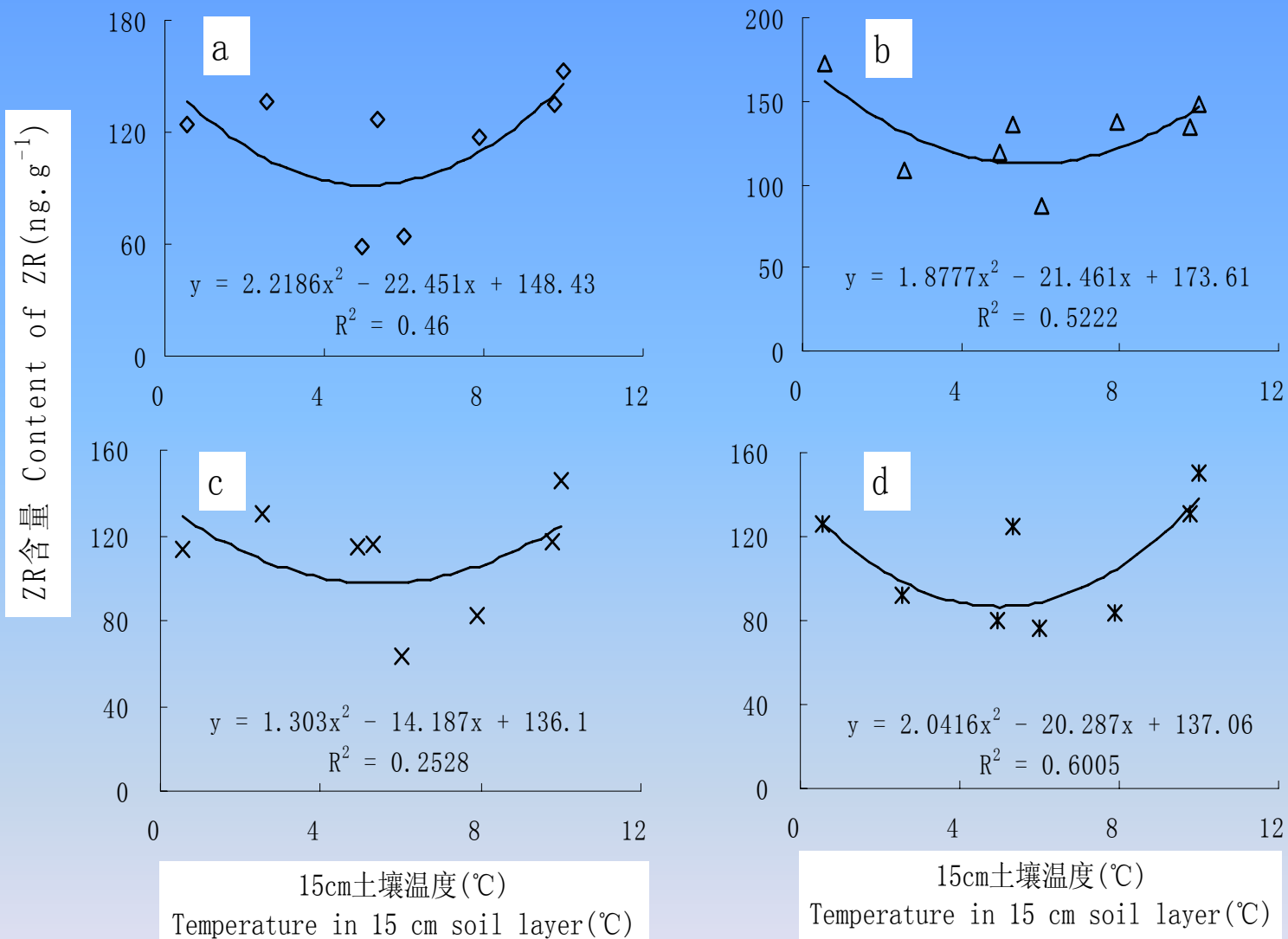


图3—23原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长ZR水平相关性 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

2、土壤温度对芽可溶性糖含量的影响：

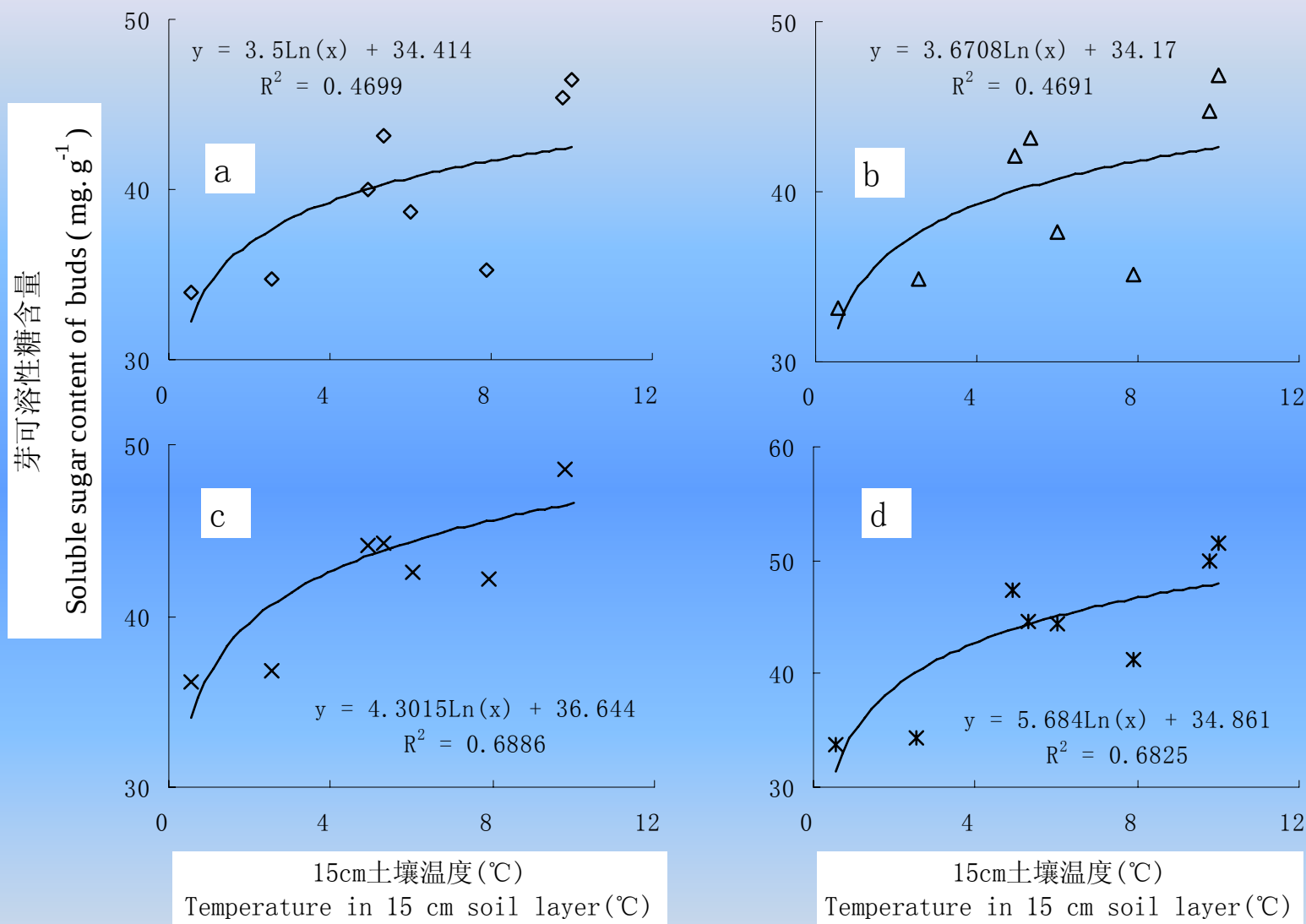


图3—24原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长芽可溶性糖含量的影响 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

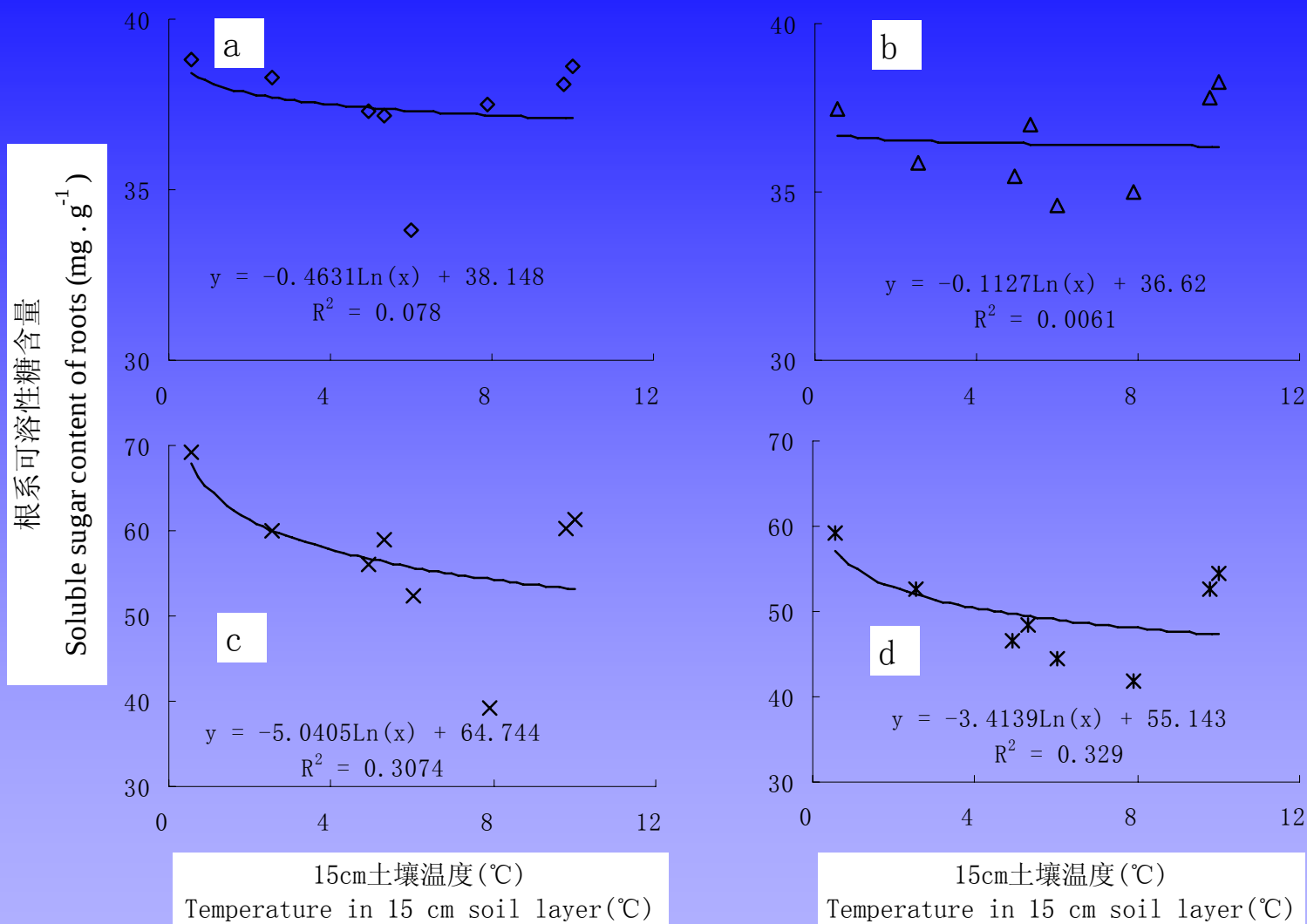


图3—25原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长根系可溶性糖含量的影响 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

3、土壤温度对芽硝酸还原酶活性的影响

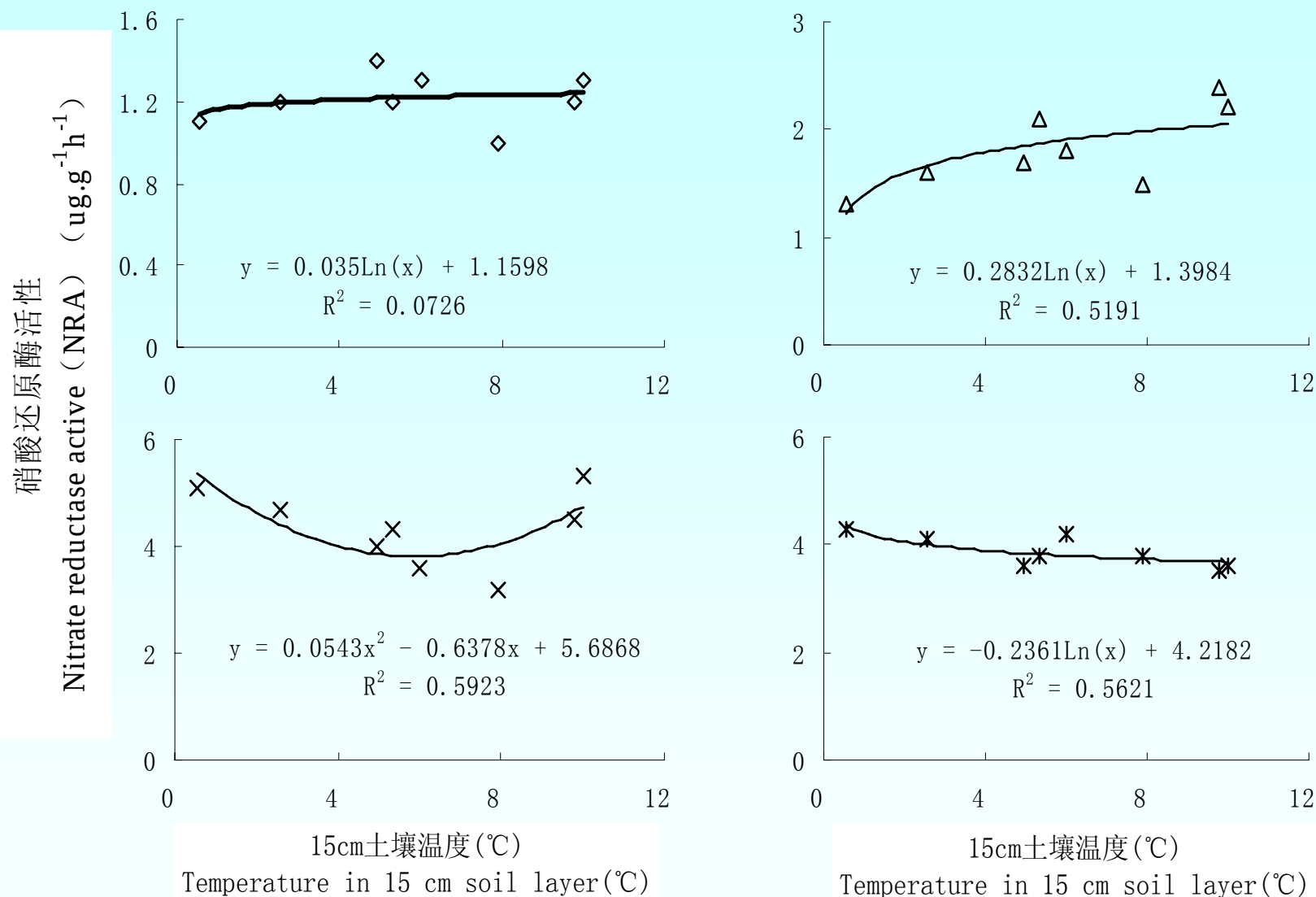


图3—26原返青期土壤温度（15 cm 土壤深度）与牧草芽萌动生长芽硝酸还原酶活性的影响 (a, 冷蒿； b, 披碱草； c, 赖草； d, 羊草)

（八）土壤水分变化对牧草萌动生长的影响

1、土壤水分变化对内源激素影响

牧草 Species		相关方程 Correlation ship equation	相关系数 Correlation coefficient (R ²)
IAA	a	$y = -0.6471x^2 + 43.861x - 340$	0.23
	b	$y = -1.8076x^2 + 101.48x - 994$	0.39
	c	$y = -0.5417x^2 + 37.421x - 260$	0.47
	d	$y = -1.1306x^2 + 68.667x - 655$	0.35
GA	a	$y = -0.6836x^2 + 40.922x - 394$	0.17
	b	$y = 0.1863x^2 - 2.0411x + 65.58$	0.30
	c	$y = -2.1362x^2 + 134.7x - 1520$	0.42
	d	$y = -1.7235x^2 + 109.6x - 1225$	0.59
ABA	a	$y = 0.9068x^2 - 83.724x + 2148$	0.31
	b	$y = 1.4042x^2 - 98.04x + 2114.8$	0.34
	c	$y = 0.2833x^2 - 25.864x + 769$	0.45
	d	$y = -2.2357x^2 + 109.73x - 995$	0.40
ZR	a	$y = 0.623x^2 - 33.048x + 525$	0.12
	b	$y = -0.0277x^2 + 0.2536x + 145$	0.10
	c	$y = -0.6424x^2 + 33.168x - 288$	0.15
	d	$y = 0.2606x^2 - 12.446x + 242$	0.08

注：y= 内源激素含量；x=土壤含水量；a, b, c, d 分别为冷蒿、披碱草、赖草、羊草.

2、土壤水分变化对牧草可溶性糖含量影响

牧草种 Species	相关方程 Correlation ship equation	相关系数 Correlation coefficient (R^2)
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	$y = 14.952\ln(x) - 9.1894$	0.748
披碱草 ¹ <i>Elymus rectisetus</i>	$y = 15.264\ln(x) - 10.195$	0.708
赖草 <i>Leymus racemosus</i>	$y = 13.938\ln(x) - 2.4386$	0.63
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	$y = 19.982\ln(x) - 21.894$	0.736

注：y= 芽系可溶性糖含量；x=土壤含水量

牧草种 Species	相关方程 Correlation ship equation	相关系数 Correlation coefficient (R^2)
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	$y = -0.0181x^2 + 0.837x + 28.858$	0.021
披碱草 ¹ <i>Elymus rectisetus</i>	$y = -0.0011x^2 + 0.1692x + 32.302$	0.106
赖草 <i>Leymus racemosus</i>	$y = -0.0596x^2 + 3.2083x + 16.634$	0.024
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	$y = 0.0304x^2 - 1.6748x + 71.737$	0.026

注：y= 根系可溶性糖含量；x=土壤含水量

3、土壤水分变化对牧草芽硝酸还原酶活性的影响

牧草种 Species	相关方程 Correlation ship equation	相关系数 Correlation coefficient (R ²)
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	$y = -0.0039x^2 + 0.2152x - 1.5487$	0.724
披碱草 ¹ <i>Elymus rectisetus</i>	$y = 0.0038x^2 - 0.151x + 2.9583$	0.702
赖草 <i>Leymus racemosus</i>	$y = -0.0037x^2 + 0.191x + 2.0148$	0.007
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	$y = 0.0043x^2 - 0.2422x + 7.0956$	0.034

注：y= 芽硝酸还原酶活性；x=土壤含水量

四、结 论

- 1、典型草原返青期土壤温度和土壤水分发生急剧变化，且波动剧烈。返青早期不同深度土壤温度差异不显著，在0℃上下波动，当环境温度持续大于0℃时，土壤温度急剧上升，土壤温度跃变值为6℃；表层0—15 cm在整个返青期始终表现为干燥化的过程，而15—30 cm，30—45 cm和45—60 cm土壤水分在返青早期变化波动不明显，均保持在15%左右，当环境温度稳定大于0℃时，各土壤层土壤含水量显著上升；土壤水分动态变化与土壤温度呈显著正相关。
- 2、土壤碱性磷酸酶活性仅在返青早期略有增加；各土壤层酸性磷酸酶活性在返青期均呈逐渐增加的趋势；各土层尿酶活性呈急剧增加的趋势。

3、萌动期土壤细菌数量动态呈逐渐增加的趋势；随土壤深度的增加土壤酵母菌数量显著降低；土壤放线菌数量在返青期动态变化趋势不明显；表层真菌数量在整个典型草原返青期呈逐渐增加的趋势，且显著高于较深层土壤层真菌数。

4、典型草原返青期根茎类禾草羊草和赖草无性系分株芽生长促进类激素、可溶性糖含量以及硝酸还原酶活性均处于较高水平，使得其萌动生长早，且具有较强的生长势；内源激素ZR对多年生牧草根系可溶性糖含量动态具有重要的调控作用。

- 5、土壤温度势影响典型草原返青期土壤微生物数量动态和酶活性的重要环境因子，细菌、酵母菌、放线菌和真菌数量均随土壤温度的升高而呈增加的趋势；土壤磷酸酶活性随土壤温度的变化趋势不明显，土壤尿酶活性均随土壤温度的升高而增加。
- 6、不同牧草芽IAA和GA含量均随土壤温度的升高而呈增加的趋势，而土壤温度与ABA含量呈显著负相关；土壤温度的升高促进牧草芽可溶性糖含量的增加，而对不同牧草根系可溶性糖含量作用效果不同；土壤温度的变化对牧草芽硝酸还原酶活性影响不显著。

7、土壤水分含量对表层土壤土壤微生物数量动态影响效果不显著，而显著促进较深层土壤微生物数量的增加；磷酸酶活性均随土壤含水量的增加而增加，土壤水分显著促进较深层土壤尿酶活性的增加，且随土壤深度的增加其作用效果越显著。

8、土壤水分变化对牧草芽内源激素影响效果不显著；牧草芽可溶性糖含量均随土壤含水量的增加而增加，而对根系可溶性糖含量影响均不显著。

谢谢各位
欢迎大家莅临我站指导！

